

## ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627:699.8

С.Н. Левачев, Т.С. Федорова\*

ФГБОУ ВПО «МГСУ», \*ФГУП «Канал имени Москвы»

### РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛА ИМЕНИ МОСКВЫ

Дана ретроспектива развития системы мониторинга гидротехнических сооружений (ГТС) канала имени Москвы с момента его строительства до настоящего времени. Проведен анализ наблюдений за состоянием стен камер шлюзов канала, в т.ч. шлюза № 2, на котором впервые были обнаружены деструктивные процессы в работе стен и были применены различные методы ликвидации их развития. На основании анализа наблюдений обозначены основные проблемы в сфере мониторинга ГТС канала.

**Ключевые слова:** канал имени Москвы, мониторинг безопасности, шлюз, наблюдения, перемещения.

Основу предприятия ФГУП «Канал имени Москвы» в его современном виде составляет Канал Москва — Волга, построенный в 1937 г. Строительство канала продолжалось всего 4 года и 8 месяцев. На искусственной трассе, протяженностью 128 км было построено более 200 различных гидротехнических сооружений (ГТС), в т.ч. 11 шлюзов, 5 насосных станций, 8 гидроэлектростанций, 11 бетонных и земляных плотин, создано 8 водохранилищ.

В период с 1945 по 1950 гг. в состав предприятия вошли Вышневолоцкий техучасток, шлюзы Угличского и Рыбинского гидроузлов.

Передача предприятию водных путей и гидросооружений на р. Оке в 1958 г. завершила формирование зоны деятельности ФГУП «Канал имени Москвы» в его современном виде.

Сегодня ФГУП «Канал имени Москвы» является крупнейшим водотранспортным и водохозяйственным комплексом, включает 10 филиалов и решает целый комплекс задач:

содержание внутренних водных путей и судоходных ГТС;

обеспечение безопасности судоходства;

водоснабжение г. Москвы;

санитарное обводнение р. Москвы и ее притоков;

выработка электроэнергии;

электроснабжение абонентов и услуги по передаче электроэнергии для территориальных сетевых организаций;

обеспечение развития рекреации и всех видов отдыха на воде.

Одной из основных задач предприятия является эксплуатация ГТС — в данном сегменте канал является лидером отрасли. В состав предприятия входят 248 ГТС, 104 из которых являются напорными.

Немаловажной составляющей эксплуатации ГТС является наблюдение за ними или мониторинг безопасности ГТС, дающий своевременную и обоснованную картину их «жизнедеятельности», позволяющий прогнозировать и предупреждать возникновение аварийных ситуаций.

Система мониторинга канала включает три функциональных уровня.

Первый уровень — гидроузел — включает проведение на постоянной основе визуальных и инструментальных наблюдений, выполняемых специалистами гидроузла. Задача данного уровня: постоянный сбор простой информации о техническом состоянии сооружения и передача ее на следующий уровень.

Второй уровень — район гидросооружений (РГС) — предусматривает выполнение более сложных наблюдений, анализ полученных данных и первичную оценку технического состояния сооружений, выполняемую специалистами групп наблюдений.

Третий уровень — управление канала — включает выполнение итогового анализа наблюдений, формирование итоговой оценки технического состояния сооружений, выявление причин снижения безопасности сооружений, развитие систем контроля состояния ГТС, прогнозирование, своевременное выявление и предупреждение кризисных ситуаций.

За многолетнюю историю канала имени Москвы система наблюдений видоизменялась. Долгое время основной действующей на канале системой наблюдений или мониторинга безопасности ГТС являлись разработки инженеров — пионеров технической эксплуатации канала, работавших здесь в 1930—1940-е гг.

Сведений об истории наблюдений на канале сохранилось мало. В настоящее время мы располагаем «Общей инструкцией по исследованиям и наблюдениям за сооружениями канала Москва — Волга», выпущенной в 1943 г., разработанной инженерами УКиМ П.А. Шанкиным, А.М. Румянцевым [1]. Уже в то время были сформированы и описаны все основные объекты наблюдений и исследований, заложены основы методики наблюдений.

В 1870—1980-е гг. в Управлении канала имени Москвы наблюдениями за ГТС занимались отдел наблюдений и изыскательская партия, выполнявшие сложные наблюдения, а также специальные наблюдения с привлечением научных организаций. Это были многочисленные исследования прочности бетона, фильтрационного режима и прочие расчетные исследования. В те годы наблюдениями и исследованиями занимались такие известные гидротехники канала имени Москвы, как В.Е. Ни [2—8].

В 1990-е гг. наблюдениям за ГТС не уделялось должного внимания, был сокращен отдел по наблюдениям и изыскательская партия. Ответственность за выполнение работ по наблюдениям была передана районам ГТС, утрачена роль правления как аналитического центра. Итоговая информация по наблюдениям стала направляться в отдел гидросооружений, более ориентированный на эксплуатацию ГТС, а не на ведение мониторинга. Хотя безопасная эксплуатация и является итоговой составляющей работы по мониторингу безопасности, но она должна основываться на надежных наблюдениях и анализе технического состояния [9].

В 1997 г. был принят Федеральный закон № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [10], который, казалось бы, должен был дать толчок развитию системы мониторинга. Были созданы надзорные органы, началось активное декларирование безопасности ГТС, но развитие системы мониторинга так и не произошло.

Начало 2000-х гг. внесло положительные составляющие в развитие мониторинга. Была разработана необходимая нормативная документация в сфере ведения мониторинга. Большая часть работ по сбору, обработке и хранению информации, предварительному анализу и диагностике состояния сооружений легла на группы наблюдений РГС [11].

В 2011 г. были утверждены «Методические рекомендации по контролю технического состояния и оценке безопасности судоходных гидротехнических сооружений» [12], регламентирующие процесс оценки технического состояния судоходных ГТС и определения их уровня безопасности [13].

В 2012 г. в Управлении канала имени Москвы был вновь создан отдел мониторинга безопасности ГТС, занимающийся информационной поддержкой разработки и реализации мер по своевременному прогнозированию, выявлению и предупреждению угроз и кризисных ситуаций в отношении гидротехнической части ГТС, развитием систем контроля их состояния.

Мониторинг безопасности ГТС канала разделен на три направления: гидротехническая часть, механическое и электротехническое оборудование.

В данной статье более подробно раскрываются проблемы и задачи мониторинга безопасности в отношении гидротехнической части сооружений. В настоящее время мониторинг безопасности ГТС ведется на основании устаревшей, но действующей инструкции по наблюдениям и исследованиям на судоходных ГТС 1981 г. [14]. Мониторинг выполняется в соответствии с графиками осмотров и наблюдений за гидротехнической частью и графиками осмотров подводных элементов сооружений канала имени Москвы, результаты которых направляются в ФАУ «Российский Речной Регистр».

При реконструкции или строительстве новых сооружений мониторинг регламентируется СП 58.13330.2012 [15], предусмотрено применение современных средств измерений и программных комплексов.

В настоящее время на предприятии автоматические средства измерений применяются только для наблюдений за уровнями воды в бьефах, необходимых в работе энергодиспетчерской.

Для повышения качества мониторинга технического состояния ГТС в группах наблюдений РГС и управлении внедрена информационно-диагностическая система мониторинга технического состояния БИНГ-3, позволяющая выполнять сбор, анализ и хранение информации о состоянии ГТС, осуществлять оперативный контроль сооружений с применением современных методов [16].

В соответствии с [14] в целях мониторинга технического состояния гидротехнической и строительной части судоходных ГТС выполняются следующие наблюдения:

1. Визуальные осмотры грунтовых и бетонных сооружений, результаты которых записываются в журнал, здесь же выполняются зарисовки основных

дефектов. Результаты перепечатаывают и перерисовывают в БИНГ-3 (в настоящее время сторонней организацией разработан и испытан программно-аппаратный модуль, с помощью которого гидротехник вносит данные в планшетный компьютер при обходе, а позже сохраняет в БИНГ-3).

2. Контроль уровней воды осуществляется в автоматическом режиме, а также измеряется вручную один раз в месяц (при реализации современных методов измерения ведутся постоянно, сразу поступают в программный комплекс БИНГ-3, выполняющий оценку технического состояния).

3. Контроль высотного положения грунтовых и бетонных сооружений выполняется нивелировкой один раз в 3—5 лет. Результаты нивелировок заносятся в БИНГ-3. При реализации современных методов измерений наблюдения выполняются роботизированным тахеометром, автоматически несколько раз в сутки, определяющим пространственное положение визирных целей, расположенных в контрольных точках. Данные сразу поступают в БИНГ-3, оценивающий техническое состояние наблюдаемого объекта. При таком методе точность измерений снижается с 0,1 до 2 мм, но повышение оперативности делает более вероятным своевременное выявление деструктивных процессов, которые характеризуют перемещения более чем на 10 мм.

4. Контроль плановых перемещений (перемещение верха секции шлюза в поперечном направлении) осуществляется вручную штангенциркулем по щелемерам. Измерение выполняется в каждом шве между соседними секциями, т.е. носит относительный характер, что вызывает затруднения при интерпретации полученных результатов. Наблюдения выполняют один раз в месяц, результаты записывают в журнал и потом заносят в БИНГ-3. При реализации современных методов комплекс, использующийся для мониторинга высотных перемещений, одновременно используется и для наблюдений перемещений в плане. Все сказанное в отношении наблюдений за высотными перемещениями применимо и к плановым, но добавляется однозначность трактовки полученных результатов вследствие определения абсолютных перемещений для каждой визирной цели, а не относительных перемещений в швах между соседними секциями, как сейчас.

5. Контроль фильтрации осуществляют по пьезометрам, показывающим уровень грунтовых вод, измерения выполняют рулеткой один раз в 3 недели, результат записывают в журнал и потом заносят в БИНГ-3. При реализации современных методов крышка пьезометра оборудуется устройством, от которого вниз в трубу опускается датчик измерения уровня воды, передача информации от устройства осуществляется по проводу к серверу и потом по сети предприятия или через модем по сети мобильной связи, далее она поступает в БИНГ-3, выполняющий оценку технического состояния.

6. Контроль глубин для предотвращения потери устойчивости сооружения при размыве дна рядом с ним выполняется один раз в 3 года. Промеры выполняются наметкой с лодки по створам, результаты записываются в журнал и заносятся в БИНГ-3. В настоящее время осуществляется переход к использованию эхолотов с модулем спутникового позиционирования.

7. Осмотры подводных элементов выполняются водолазами в присутствии гидротехника; по результатам составляется акт, представляемый в управление.



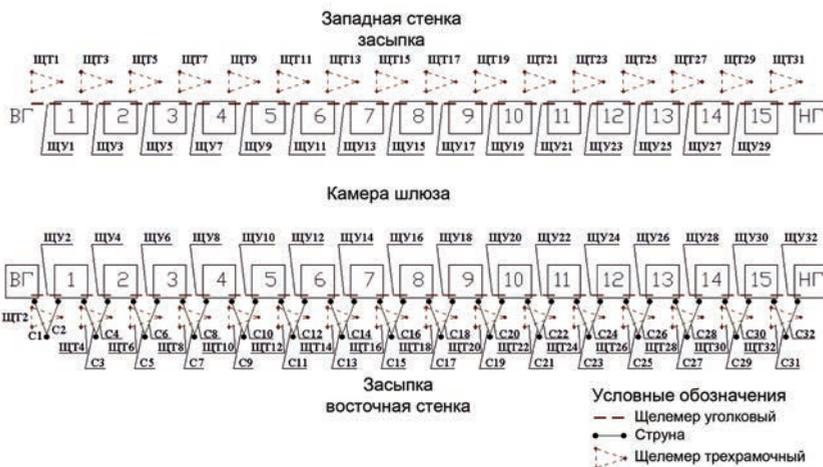


Рис. 2. Схема расположения струн, угловых и трехмарочных щелемеров камеры шлюза № 2

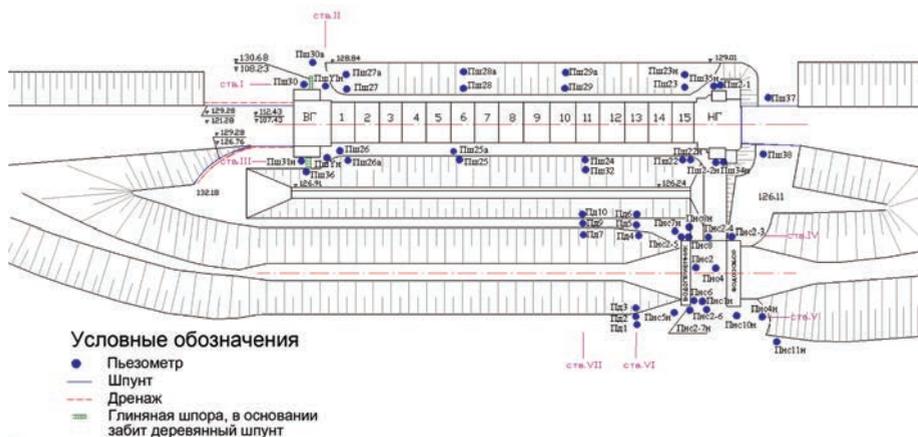


Рис. 3. Схема расположения пьезометров на гидроузле № 2

наблюдения за уровнями воды в бьефах выполняются в автоматическом режиме и еженедельно контролируются по гидрометрическим рейкам.

Выполняется весь комплекс наблюдений в соответствии с [14].

В результате многолетних наблюдений и на основании визуальных осмотров специалистами канала было выявлено развитие деструктивных процессов в бетоне наружных (лицевых) зон шлюза и образование магистральных горизонтальных трещин, переходящих в сжатых зонах в наклонные. На основании показаний КИА, а именно наблюдений за плановым перемещением верха стен камеры шлюза, был зафиксирован рост необратимых деформации стен в сторону камеры [2].

На основании полученных данных было принято решение о выполнении работ по усилению стен камер шлюзов, а именно: закрепление стен преднапряженными армопучками, стальными нагелями, анкерными тягами; ремонт лицевого бетона стен методом колонн [19]. Тем самым на время было приостановлено развитие деструктивных процессов в стенах (рис. 4, 5).

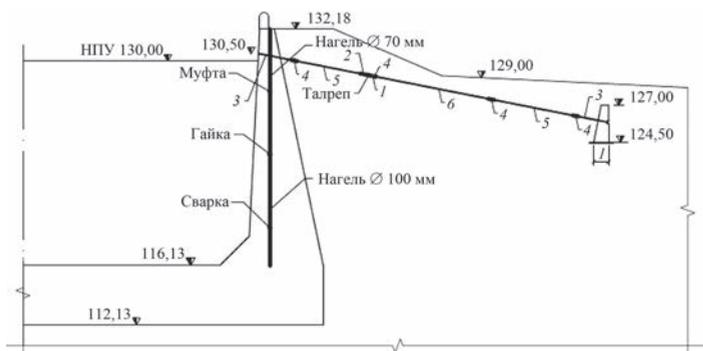


Рис. 4. Схема проведенных работ по закреплению западной стены камеры шлюза № 2

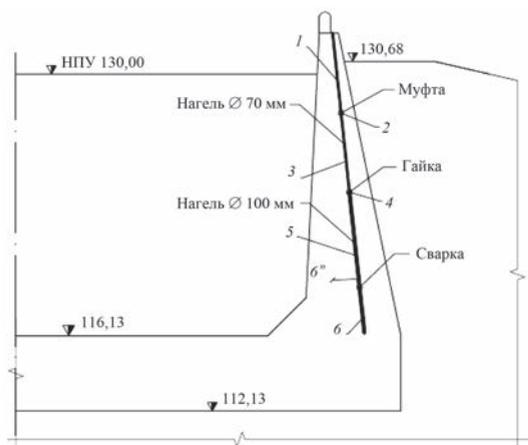


Рис. 5. Схема проведенных работ по закреплению восточной стены камеры шлюза № 2

Усиление западной стены выполнено в 1959—1978 гг. На восточной стене к работам по ее укреплению еще не приступали.

По материалам наблюдений за последние годы вновь начинает прослеживаться тенденция смещения стен, особенно восточной, что дает основание сделать вывод об их неудовлетворительном состоянии (рис. 6).

На основании материалов наблюдений за фильтрационным режимом можно предположить, что в обратной засыпке шлюза отсутствует единый водоносный горизонт или выраженная кривая депрессии. Разброс результатов наблюдений обусловлен разнородностью обратной засыпки, разной глубиной установки пьезометрических скважин и большой вероятностью водонасыщения засыпки из камеры шлюза — через швы между секциями и трещины в бетоне.

В настоящее время, несмотря на наличие более чем достаточного количества КИА, оценка состояния сооружения не может быть окончательно достоверной и обоснованной из-за того, что вся установленная на шлюзе КИА имеет значительный срок эксплуатации, и ее показания носят неоднозначный характер. Для уменьшения вероятности ошибки в наблюдениях и повышения качества ведения мониторинга высотного положения шлюза на территории гидроузла были установлены новые кусты глубинных высотных реперов и произведена их привязка к высотной государственной геодезической сети. Это позволит свести ошибки в контроле высотного положения шлюза к минимуму.

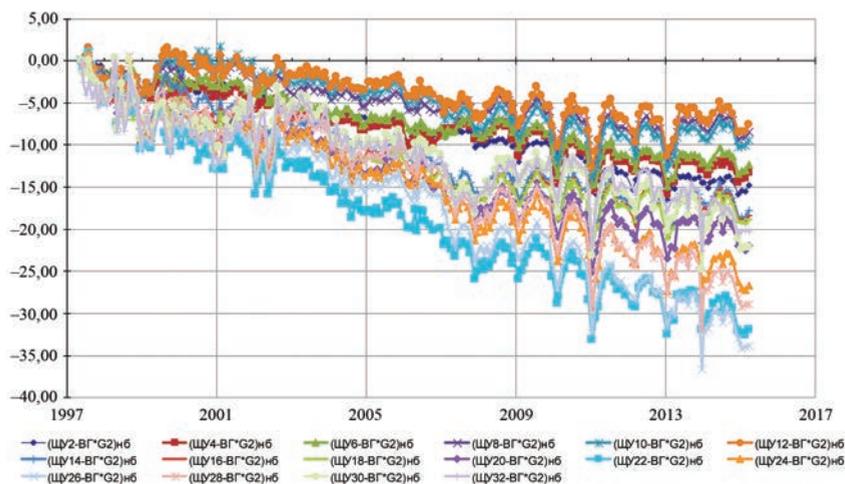


Рис. 6. График перемещения восточной стены камеры шлюза № 2 по уголкавым щелемерам

Кроме того, установка новых глубинных реперов стала предпосылкой для возобновления работ по переводу отметок сооружений канала имени Москвы в Балтийскую систему высот 1977 г.

Если говорить о реализации современных автоматизированных комплексов мониторинга безопасности ГТС применительно к сооружениям канала имени Москвы, то первым сооружением, на котором это будет реализовано, является гидроузел Кузьминск, окончание строительства которого намечено на 2015 г.

В рамках реализации второго этапа Федеральной целевой программы комплексной реконструкции объектов инфраструктуры канала имени Москвы в настоящее время ведутся работы по реализации проекта реконструкции КИА гидроузла Кузьминск (рис. 7).

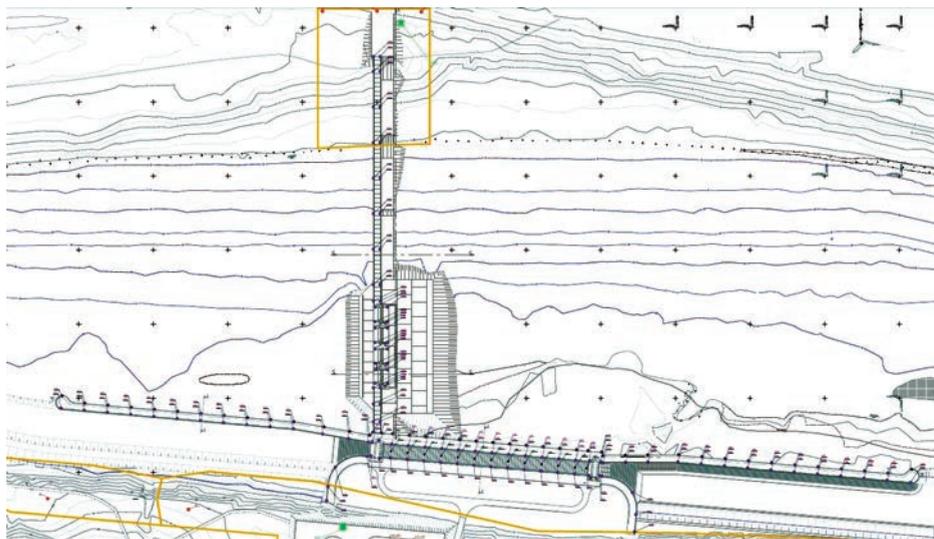


Рис. 7. Схема расположения визирных целей на гидроузле Кузьминск

На этом гидроузле будет применена новая для канала система мониторинга, отвечающая современным требованиям и включающая:

компьютерные средства представлены автоматизированным рабочим местом диспетчера под управлением программы SODIS Building;

компьютерные программные средства, включающие автоматизированный ввод данных измерений, обработку данных измерений, формирование отчетных материалов и графического оформления результатов измерений и анализа данных наблюдений;

программное обеспечение базы данных включая информацию о сооружениях гидроузла, инструкцию о составе наблюдений установленной КИА и системе мониторинга ГТС, данные диагностики и прогноза состояния сооружений, результаты анализа риска аварии;

интерфейс пользователя информации с обеспечением ввода, редактирования, корректировки информации базы данных, просмотра результатов измерений;

программные средства диагностирования, включающие регрессионный анализ результатов наблюдений, детерминистические модели работы сооружений, оценку риска аварии.

КИА представлена автоматизированными средствами геодезического контроля, автоматическими пьезометрами, датчиками порового давления, ручными рамочными щелемерами, гидрометрическими рейками. Выполнение мониторинга по данной схеме повышает качество и оперативность получаемых данных, снижает влияние человеческого фактора.

*Выводы.* 1. Действующая в настоящее время Инструкция по наблюдениям и исследованиям на судоходных ГТС [14] требует актуализации и дополнения в связи с обновлением средств измерений, а также дополнения состава наблюдений сбором данных, используемых при оценке технического состояния согласно критериям, утверждаемым в составе декларации безопасности.

2. Необходим комплексный подход к формированию новых нормативных документов в сфере мониторинга, учитывающий критериальные параметры оценки технического состояния гидротехнической части ГТС.

3. Несмотря на большое количество КИА, установленной на сооружениях, и достаточности выполняемых наблюдений, все же встает вопрос о достоверности получаемых данных по причине морального устаревания применяемой КИА.

4. Для качественного контроля горизонтальных перемещений элементов сооружений одних щелемерных наблюдений недостаточно. На шлюзах необходимо организовывать створные наблюдения за абсолютными перемещениями стен камер шлюзов.

5. Необходимо обратить внимание на выполнение комплексного анализа достоверности оценки деформаций сооружений, т.е. рассматривать данные нивелировок, горизонтальных перемещений стен, а также параметры, характеризующие величины нагрузок и воздействий на сооружения (уровни бьефов, температуру воздуха, уровни воды в пьезометрах) в комплексе.

6. Особое внимание необходимо уделить регламенту численности персонала, выполняющего мониторинг безопасности ГТС.

7. Старение сооружений и несоблюдение интервалов между ремонтами повышает риск развития деструктивных процессов [20—22].

Повышение рисков требует изменения методики мониторинга состояния ГТС. Развитие деструктивных процессов (потеря прочности бетона приводит к разрушению элемента; вынос частиц грунта из основания — к потере несущей способности грунта и осадке сооружения; повышение уровня грунтовых вод — к оползанию откоса; подъем уровня воды в бьефе — к переливу через грунтовое сооружение и его разрушению; размыв дна — к потере устойчивости сооружения) характеризуется их нелинейностью во времени. Вялотекущий процесс, длящийся десятилетиями, при переходе на следующий качественный уровень может получить катастрофическое развитие в течение нескольких часов. Для надежного прогнозирования необходим более короткий интервал некоторых наблюдений, реализация которого возможна при выполнении измерений и их обработки в автоматическом режиме с применением современных программных комплексов.

### Библиографический список

1. Шанкин П.А., Румянцев А.М. Общая инструкция по исследованиям и наблюдениям за гидротехническими сооружениями канала Москва-Волга. М. ; Л : Гос. энергетич. изд-во, 1943. 60 с.
2. Ни В.Е. Результаты наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений канала имени Москвы // Гидротехническое строительство. 1977. № 12. С. 28—33.
3. Бочаров В.В., Ни В.Е. Повышение надежности шлюзов // Речной транспорт. 1982. № 3. С. 35—36.
4. Ни В.Е. О прочности стен камер шлюзов // Гидротехническое строительство. 1982. № 9. С. 35—38.
5. Ни В.Е. Надзор за надежностью и безопасностью гидротехнических сооружений канала имени Москвы // Гидротехническое строительство. 1987. № 6. С. 11—17.
6. Пухов И.Е. Физико-механические свойства бетона шлюзов канала имени Москвы // Гидротехническое строительство. 1988. № 8. С. 44—46.
7. Рубин О.Д., Умнова Р.В., Ни В.Е. Анализ работы и усиление стен доковых шлюзов // Гидротехническое строительство. 1988. № 8. С. 47—79.
8. Рубин О.Д., Умнова Р.В., Ни В.Е. Усиление эксплуатируемых подпорных сооружений // Гидротехническое строительство. 1989. № 12. С. 42—45.
9. Волков В.И., Каганов Г.М. О терминологии нормативно-правовых документов, связанных с обеспечением безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2010. № 3. С. 44—48.
10. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ. О безопасности гидротехнических сооружений (с изменениями и дополнениями) // Портал ГАРАНТ.РУ. Режим доступа: <http://base.garant.ru/12100061/#help#ixzz3YUsxcr7F/>. Дата обращения: 25.03.2015.
11. Василевский А.Г., Серков В.С. О некоторых результатах применения Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» // Гидротехническое строительство. 2009. № 9. С. 34—38.
12. Методические рекомендации по контролю технического состояния и оценке безопасности судоходных гидротехнических сооружений / Утв. зам. рук. Фед. агент. мор. и реч. транс. В.Н. Вовк 15.04.2011 г. М. : РОСМОРРЕЧФЛОТ, 2011. 136 с.
13. Волосухин В.А., Волосухин Я.В. О проблемных вопросах в области безопасности гидротехнических сооружений / Опыт проектирования и эксплуатации объектовых

систем мониторинга. Нормативно-методическое обеспечение: состояние и перспективы развития : науч.-практ. конф. (ФГБУ ВНИИ ГОЧС 26 октября 2011 г.) // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. Специальный выпуск. С. 84—97.

14. Инструкция по наблюдениям и исследованиям на судоходных гидротехнических сооружениях. Часть I. Гидротехническая. М. : Транспорт, 1981. 95 с.

15. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01—2003. М. : Минрегион России, 2012. 52 с.

16. Мельников Е., Морозов В., Краснощеков И. Разработка системы контроля состояния гидротехнических сооружений судоходного шлюза // СТА: Современные технологии автоматизации. 2012. № 4. С. 80—84.

17. Левачев С.Н., Мельник Г.В., Даревский В.Э., Федорова Т.С. Напряженно-деформированное состояние стен камеры шлюза № 2 Канала имени Москвы // Гидротехника. 2012. № 4 (29). С. 85—90.

18. Левачев С.Н., Федорова Т.С. Напряженно-деформированное состояние бетона стен камер шлюзов канала имени Москвы // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 137—149.

19. Закрепление стен камер шлюзов № 1—9 методом колонн / ООО «Гидростройремонт». М., 2005. 25 с.

20. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Базанов В.Е., Борисов Т.Ю., Шурухин Л.А. Коррозионное состояние бетонных и железобетонных конструкций шлюзов Рыбинского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2010. № 5. С. 4—15.

21. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Базанов В.Е., Борисов Т.Ю., Шурухин Л.А. Коррозионное состояние железобетонных и каменных конструкций зданий Рыбинского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2010. № 6. С. 19—29.

22. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Базанов В.Е., Борисов Т.Ю., Шурухин Л.А. Состояние бетона гидротехнических сооружений Рыбинского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2010. № 7. С. 22—31.

*Поступила в редакцию в апреле 2015 г.*

Об авторах: **Левачев Станислав Николаевич** — кандидат технических наук, профессор кафедры гидротехнического строительства, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (495) 287-49-14, levachev@inbox.ru;

**Федорова Татьяна Сергеевна** — начальник отдела мониторинга безопасности гидротехнических сооружений, **ФГУП «Канал имени Москвы»**, 125362, г. Москва, ул. Водников, д. 1, 8 (499) 638-42-01 вн. 627; аспирант кафедры гидротехнического строительства, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (495) 287-49-14, fedorova\_tanya@rocketmail.com.

Для цитирования: *Левачев С.Н., Федорова Т.С. Развитие системы мониторинга безопасности на гидротехнических сооружениях канала имени Москвы // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 73—85.*

**S.N. Levachev, T.S. Fedorova**

#### **DEVELOPMENT OF THE SAFETY MONITORING SYSTEM OF HYDRAULIC STRUCTURES OF THE MOSCOW CANAL**

The basis of the enterprise “Moscow Canal” in its present state is the canal Moscow — Volga constructed in 1937. Today “Moscow Canal” is the biggest water transport and water industry complex. It has 10 filiations and solves a substantial complex of tasks.

One of the most important part of hydraulic structures operation is their observation or monitoring of their safety, which gives us timely and adequate picture of their work and helps to forecast and prevent emergency situations.

The article is devoted to the development of the monitoring system of the waterworks of the Moscow canal beginning with the moment of its construction to the present time, the observation analysis of the condition of the walls of canal locks chambers, lock no. 2 where destructive processes in the operation of the walls were first discovered and different methods of liquidation of their development were made. The main problems in the field of monitoring of hydrotechnical structures of the Moscow canal are identified basing on the analysis of the observations.

**Key words:** Moscow Canal, safety monitoring, lock, observations, shifting.

### References

1. Shankin P.A., Rumyantsev A.M. *Obshchaya instruktsiya po issledovaniyam i nablyudeniyam za gidrotekhnicheskimi sooruzheniyami kanala Moskva-Volga* [General Instructions for Research and Observations of the Hydraulic Structures of the Canal Moscow-Volga]. Moscow, Leningrad, Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatel'stvo, 1943, 60 p. (In Russian)
2. Ni V.E. Rezul'taty nablyudeniy za sostoyaniem gidrotekhnicheskikh sooruzheniy kanala imeni Moskvyy [The Results of Observations of the Hydraulic Structures State of the Moscow Canal]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1977, no. 12, pp. 28—33. (In Russian)
3. Bocharov V.V., Ni V.E. Povyshenie nadezhnosti shlyuzov [Improving the Reliability Gateways]. *Rechnoy transport* [River Transport]. 1982, no. 3, pp. 35—36. (In Russian)
4. Ni V.E. O prochnosti sten kamer shlyuzov [On the Strength of the Walls of the Chambers Gateways]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1982, no. 9, pp. 35—38. (In Russian)
5. Ni V.E. Nadzor za nadezhnost'yu i bezopasnost'yu gidrotekhnicheskikh sooruzheniy kanala imeni Moskvyy [Oversight of the Reliability and Safety of Hydraulic Structures of the Moscow Canal]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1987, no. 6, pp. 11—17. (In Russian)
6. Pukhov I.E. Fiziko-mekhanicheskie svoystva betona shlyuzov kanala imeni Moskvyy [Physical and Mechanical Properties of Concrete Gateway of the Moscow Canal]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1988, no. 8, pp. 44—46. (In Russian)
7. Rubin O.D., Umnova R.V., Ni V.E. Analiz raboty i usilenie sten dokovykh shlyuzov [Work Analysis of and Strengthening the Walls of Dock Gateways]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1988, no. 8, pp. 47—79. (In Russian)
8. Rubin O.D., Umnova R.V., Ni V.E. Usilenie ekspluatiruemykh podpornykh sooruzheniy [Strengthening the Operating Retaining Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1989, no. 12, pp. 42—45. (In Russian)
9. Volkov V.I., Kaganov G.M. O terminologii normativno-pravovykh dokumentov, svyazannykh s obespecheniem bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [On the Terminology of Legal Documents Related to the Safety of Hydraulic Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2010, no. 3, pp. 44—48. (In Russian)
10. Federal'nyy zakon ot 21 iyulya 1997 g. № 117-FZ. O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (s izmeneniyami i dopolneniyami) [Federal Law no. 177-FZ from July 21, 1997 on Safety of Hydraulic Structures]. Internet Portal GARANT.RU. Available at: <http://base.garant.ru/12100061/#help#ixzz3YUsxr7F/>. Date of access: 25.03.2015. (In Russian)
11. Vasilevskiy A.G., Serkov V.S. O nekotorykh rezul'tatakh primeneniya Federal'nogo zakona «O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy» [Some Results of the Application of the Federal Law on Safety of Hydraulic Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2009, no. 9, pp. 34—38. (In Russian)
12. *Metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu tekhnicheskogo sostoyaniya i otsenke bezopasnosti sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Methodical Recommendations on the Control of Technical Condition and Safety Assessment of Shipping Waterworks]. Utverzhdeno zamestitelem rukovoditelya Federal'nogo agentstva morskogo i rechnogo transporta V.N. Vovk 15.04.2011 g. [Approved by the Deputy Director of Federal Agency of Sea and River Transport V.N. Vovk on 25.04.2011]. Moscow, ROSMORREChFLOT Publ., 2011, 136 p. (In Russian)

13. Volosukhin V.A., Volosukhin Ya.V. O problemnykh voprosakh v oblasti bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Opyt proektirovaniya i ekspluatatsii ob'ektovykh sistem monitoringa. Normativno-metodicheskoe obespechenie: sostoyanie i perspektivy razvitiya : nauchno-prakticheskaya konferentsiya (FGBU VNII GOChS 26 oktyabrya 2011 g.) [On Problematic Issues in the Field of Safety of Hydraulic Structures. Design and Operation Experience of Object Monitoring Systems. Normative and Methodological Support: State and Development Prospects : Science and Practice Conference (FGBU VNII GOChS October 26, 2011)]. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'. 2011. Spetsial'nyy vypusk* [Monitoring. Science and Safety. Special Edition]. Pp. 84—97. (In Russian)

14. *Instruktsiya po nablyudeniyam i issledovaniyam na sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh. Chast' I. Gidrotekhnicheskaya* [Manual for Observations and Research on Navigable Hydraulic Structures. Part I. Hydrotechnical]. Moscow, Transport Publ., 1981, 95 p. (In Russian)

15. *SP 58.13330.2012. Gidrotekhnicheskies sooruzheniya. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 33-01—2003* [Requirements SP 58.13330.2012. Hydraulic Engineering Structures. The Main Provisions. Revised Edition of SNIp 33-01-2003]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012, 52 p. (In Russian)

16. Mel'nikov E., Morozov V., Krasnoshchekov I. Razrabotka sistemy kontrolya sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy sudokhodnogo shlyuza [Development of the System for Condition Monitoring of Hydraulic Structures Ship Lock]. *STA: Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii* [CTA (Contemporary Technologies in Automation)]. 2012, no. 4, pp. 80—84. (In Russian)

17. Levachev S.N., Mel'nik G.V., Darevskiy V.E., Fedorova T.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie sten kamery shlyuza № 2 Kanala imeni Moskvyy [The Stress-Strain State of the Walls of the Lock Chamber no. 2 of the Moscow Canal]. *Gidrotekhnika* [Hydrotechnics]. 2012, no. 4 (29), pp. 85—90. (In Russian)

18. Levachev S.N., Fedorova T.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie betona sten kamer shlyuzov kanala imeni Moskvyy [Stress-Strain State of Concrete in the Walls of Lock Chambers of the Moscow Channel]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 8, pp. 137—149. (In Russian)

19. Zakreplenie sten kamer shlyuzov № 1—9 metodom kolonn [Securing the Walls of Locks no. 1—9 by Columns]. LLC «Gidrostroyremont». Moscow, 2005, 25 p. (In Russian)

20. Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Bazanov V.E., Borisov T.Yu., Shurukhin L.A. Korroziyonnoe sostoyanie betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy shlyuzov Rybinskogo gidrouzla [Corrosion State of Concrete and Reinforced Concrete Structures of the Gateways of Rybinsk Hydroelectric Complex]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2010, no. 5, pp. 4—15. (In Russian)

21. Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Bazanov V.E., Borisov T.Yu., Shurukhin L.A. Korroziyonnoe sostoyanie zhelezobetonnykh i kamennykh konstruksiy zdaniy Rybinskogo gidrouzla [Corrosion State of Reinforced Concrete and Stone Constructions of the Structures of Rybinsk Hydroelectric Complex]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2010, no. 6, pp. 19—29. (In Russian)

22. Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Bazanov V.E., Borisov T.Yu., Shurukhin L.A. Sostoyanie betona gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Rybinskogo gidrouzla [The State of Concrete Hydraulic Structures of Rybinsk Hydroelectric Complex]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2010, no. 7, pp. 22—31. (In Russian)

About the authors: **Levachev Stanislav Nikolaevich** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Hydraulic Engineering Construction, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; levachev@inbox.ru; +7 (495) 287-49-14;

**Fedorova Tat'yana Sergeevna** — head, Department of Hydraulic Structures Safety Monitoring, **Federal State Unitary Enterprise "Moscow Canal"**, 1 Vodnikov str., Moscow, 125362, Russian Federation; +7 (499) 638-42-01 (ext. 627); postgraduate student, Department of Hydraulic Engineering Construction, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; fedorova\_tanya@rocketmail.com; +7 (495) 287-49-14.

For citation: Levachev S.N., Fedorova T.S. Razvitie sistemy monitoringa bezopasnosti na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh kanala imeni Moskvyy [Development of the Safety Monitoring System of Hydraulic Structures of the Moscow Canal]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 73—85. (In Russian)