

ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ

УДК 127.33

Г. Г. Рябов,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. Н. Ушакевич,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

AUTOMATION OF HYDRAULIC STRUCTURES DEFORMATIONS MONITORING

Рассмотрены применяемые методы мониторинга состояния гидротехнических сооружений водного транспорта и предложены пути оптимизации состава работ при оценке их технического состояния. В качестве основных методов контроля в допредельном состоянии сооружения предлагаются визуальное обследование и наблюдение за смещениями его элементов. В статье также отмечены недостатки применяемых способов измерения смещений элементов, основным из которых является дискретность, не позволяющая своевременно определить момент наступления предельного состояния на сооружениях с резкоизменяющимися условиями работы, такими как, например, причалы. Такого недостатка лишены автоматизированные системы мониторинга деформаций, которым и посвящены материалы статьи.

The methods used for monitoring the state of hydraulic structures on waterways are examined and ways of optimization of work in the evaluation of their technical condition are offered. The main methods of control in the prelimit condition of the facilities include a visual inspection and monitoring of the displacements of their elements. The article gives also shortcomings of methods for measuring the displacement of elements, the most important of which is discreteness, not allowing to determine the time of the ultimate state of structures with rapidly changing working conditions, such as, for example, the port facilities. This deficiency is absent in automated systems of deformations monitoring which are considered in the article.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, мониторинг, техническое состояние, автоматизация.
Key words: hydraulic structures, monitoring, maintenance, automation.

3

А последние несколько лет нормативная документация в области наблюдений и исследований гидротехнических сооружений (ГТС) в значительной мере обновилась [1; 2] и по-прежнему предъявляет высокие требования к мониторингу технического состояния рассматриваемых объектов.

При оценке технического состояния сооружения согласно указанным документам требуется выполнение множества операций, основными из которых являются визуальный контроль, оценка прочностных характеристик элементов конструкций, измерения остаточной толщины металлоконструкций, определение физико-механических свойств грунтов основания и обратной засыпки, наблюдения за деформациями несущих элементов.

Такой состав работ часто не является оправданным и может быть ограничен операциями, позволяющими оценить состояние сооружения по некоторым интегральным характеристикам. Выявление таких интегральных параметров сооружения возможно только с использованием системного анализа работы сооружения и методов оценки его технического состояния.

В табл. 1 с целью выявления интегральных характеристик рассмотрено в качестве примера причальное сооружение типа больверк. В таблице отражены дефекты сооружения, возможные последствия от возникновения данных дефектов и применяемые на данный момент способы контроля [1]. Также в таблице предложены способы выявления указанных дефектов в допредельном состоянии, которое характерно для большинства эксплуатирующихся в настоящее время ГТС.

Под допределным состоянием понимается работоспособное или частично неработоспособное состояние сооружения, при котором значения контролируемых показателей не превышают значений первой или второй группы предельного состояния.

Из табл. 1 видно, что каждый рассмотренный дефект проявляется в виде деформации элементов конструкции или явных дефектов. Это может являться основанием для принятия в качестве контролируемой интегральной характеристики величины деформации сооружения, а вместе с визуальным контролем будет представлять упрощенную систему оценок технического состояния сооружения.

Таблица 1

Основные дефекты и способы контроля сооружения типа больверк

Дефект	Возможные последствия	Применяемый способ контроля	Предлагаемый способ контроля в допределном состоянии
Коррозия шпунтовой стенки	Предельные деформации. Нарушение целостности. Разрушение	Геодезический контроль. Визуальный контроль. Измерение остаточной толщины	Геодезический контроль. Визуальный контроль
Коррозия анкерной тяги	Предельные деформации. Разрушение. Ослабление гаек	Геодезический контроль. Измерение остаточной толщины. Визуальный контроль	Геодезический контроль. Визуальный контроль
Анкерная плита	Предельные деформации. Снижение прочности. Разрушение	Геодезический контроль. Измерение прочности бетона. Визуальный контроль	Геодезический контроль. Визуальный контроль
Снижение физико-механических характеристик грунта обратной засыпки	Предельные деформации. Разрушение	Геодезический контроль. Измерение свойств грунта	Геодезический контроль
Повышение уровня грунтовых вод	Предельные деформации. Разрушение	Наблюдения за УГВ в пьезометрах. Контроль состояния пьезометров. Геодезический контроль	Геодезический контроль
Деформации сооружения вследствие недопустимых эксплуатационных нагрузок	Предельные деформации. Разрушение	Геодезический контроль. Визуальный контроль	Геодезический контроль. Визуальный контроль

Традиционным методом наблюдения за деформациями сооружения является геодезический контроль плано-высотного положения элементов конструкции по деформационным маркам. Геодезический контроль, выполняемый согласно действующему законодательству специализированными организациями, осуществляется с интервалом от одного месяца до года в зависимости от типа сооружения и грунтов основания [5]. С такой частотой измерения возможен мониторинг лишь медленно протекающих процессов и невозможно своевременное выявление предельных деформаций вследствие относительно резкого изменения состояния сооружения, например при недопустимо высоких эксплуатационных нагрузках [4].

Предлагаемый способ наблюдения за деформациями ГТС водного транспорта предполагает автоматизацию данного процесса благодаря использованию электронных устройств непрерывного действия — автоматизированной системы измерения, состоящей в общем случае из регистри-

рующих устройств (чувствительных элементов), блока обработки и регистрации информации, а также устройства оповещения (рис. 1).

Задачей Блока регистрации является в соответствии с его наименованием фиксация в заданные моменты времени параметров чувствительного элемента. В качестве чувствительного элемента системы при измерении деформаций могут быть тензодатчики (при незначительных деформациях), ампула пузырькового уровня, маятник уклономера, метка лазера и т. п.

На рис. 2 представлена схема чувствительного элемента уклономера разработки СПГУВК [3], принцип работы которого состоит в фиксации положений пузырька в ампуле уровня в различные моменты времени. При использовании высокочувствительных ампул уровня и современных микрокамер с использованием такого прибора может быть обеспечена точность до 10 угловых секунд с частой измерения не реже 0,1 с.



Рис. 1. Структурная схема системы автоматизированного контроля деформаций ГТС

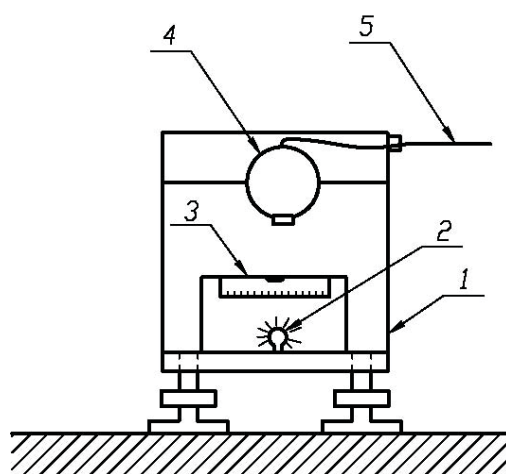


Рис. 2. Схема чувствительного элемента электронного уклономера ГУМРФ:

1 — корпус; 2 — лампочка подсветки; 3 — пузырьковый уровень;

4 — камера; 5 — интерфейс

Компактность и легкость прибора размерами и массой не более 150×150×50 мм и 0,5 кг соответственно позволяет без особых сложностей разместить его на сооружении. Этому также способствует тот факт, что прибор совсем неприхотлив к погодным условиям, поскольку основные его комплектующие промышленного изготовления и рассчитаны на работу при отрицательных температурах и в условиях повышенной влажности.

Наилучшим образом размещение уклономеров представляется в потерне (кабель-канале) причального сооружения, где прокладываются силовые кабели, обеспечивающие питание перегрузочных механизмов, как это представлено на рис. 3. Регистрирующее устройство может быть размещено как на стенке кабель-канала, так и на его дне, при этом к самому кабель-каналу предъявляется всего одно требование — его конструкция должна быть жестко связана с оголовком (ростверком) сооружения.

В качестве другого варианта блока регистрации может быть представлена установка, состоящая из источника лазера, закрепленного в неподвижной части сооружения, и экрана с камерой, помещенных в подвижной части конструкции (рис. 4). В предлагаемом варианте используется принцип видеофиксации положения лазера на плоскости экрана в любой момент времени. Такая установка позволяет измерять смещения ростверка при условии обеспечения неподвижности источника лазера.

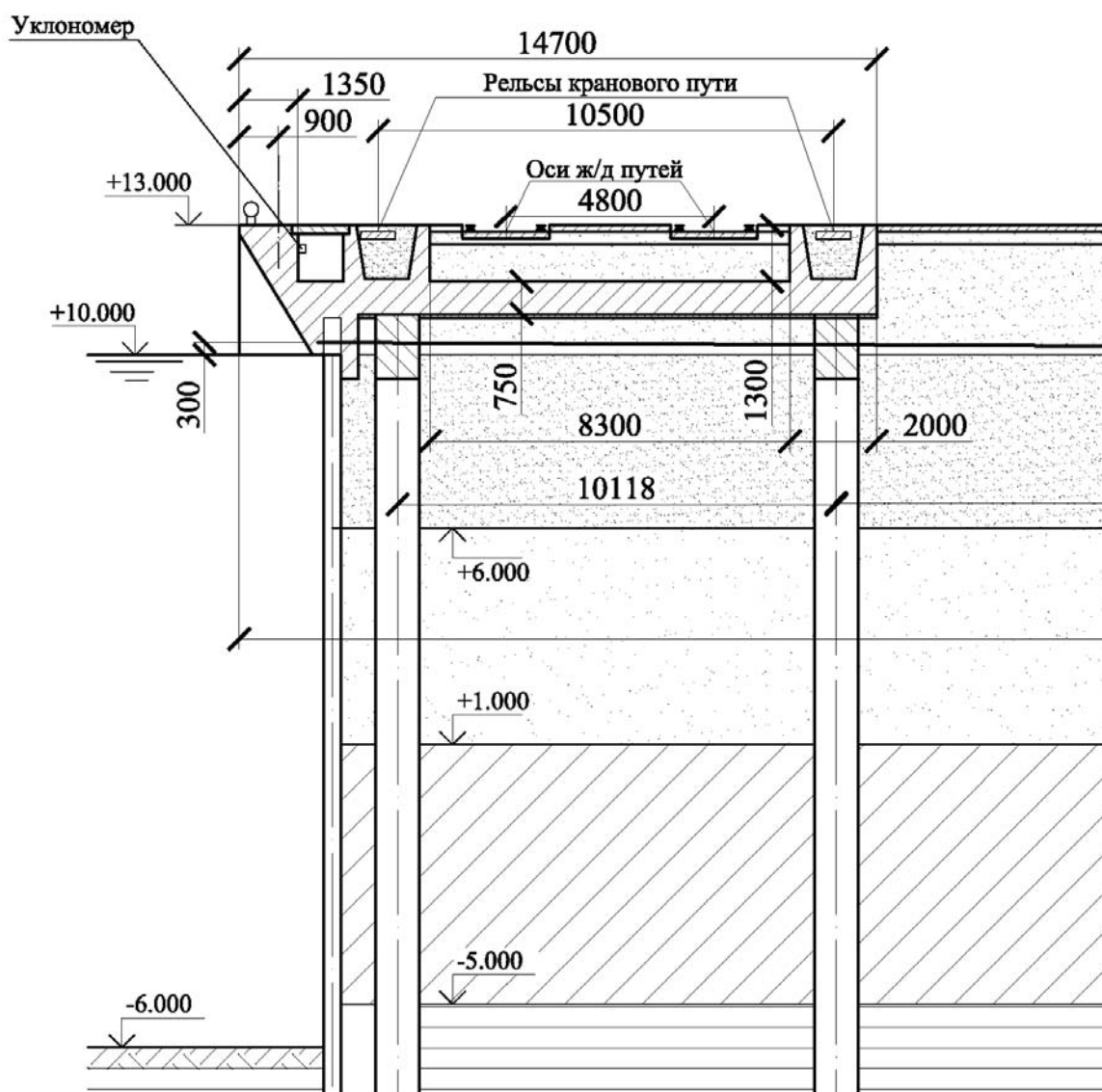


Рис. 3. Схема размещения уклономера на причале

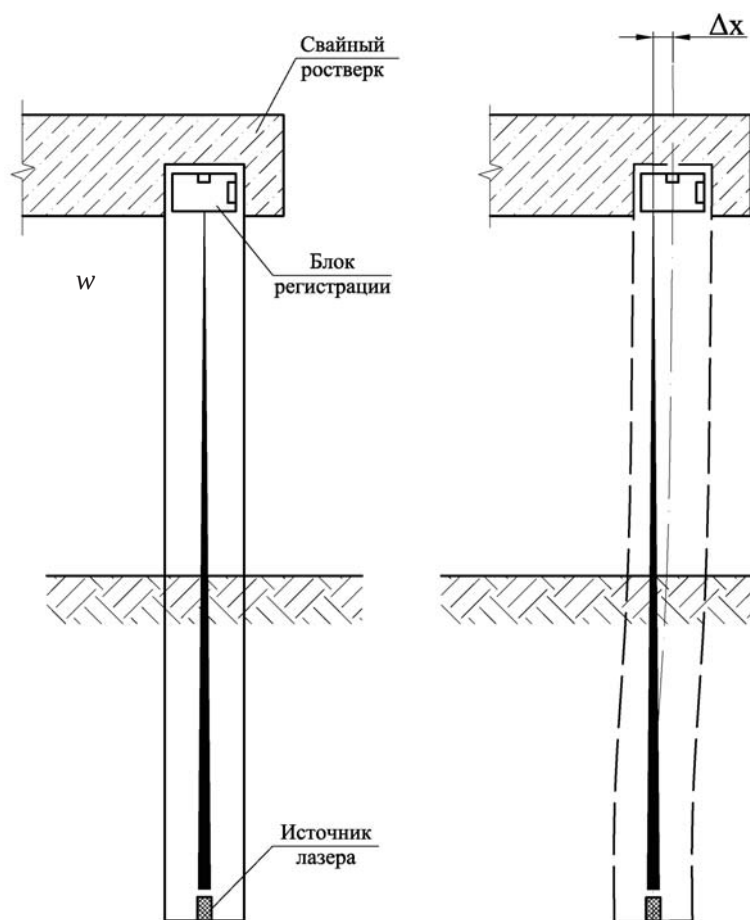


Рис. 4. Схема измерения смещений ростверка причального сооружения с использованием лазера

Информация, поступающая от предложенных конструкций блоков регистрации, представляет собой цифровой поток видеокamеры. Этот поток видеоданных содержит последовательность значений интенсивности основных цветов всех пикселей каждого кадра передаваемого изображения. Задача блока обработки данных заключается в извлечении информации о положении характерных точек чувствительного элемента из видеопотока.

Выбор таких характерных точек зависит от типа чувствительного элемента. Так, в случае, когда чувствительным элементом является пузырьковый уровень, характерными точками становятся наиболее темные участки изображения, соответствующие границам пузырька при его подсветке. В случае использования экрана, экспонируемого неподвижным лазерным источником света, характерные точки представляют собой наиболее яркие участки изображения в пределах метки лазерного луча.

Координаты местоположения таких точек могут быть получены в результате выбора отдельных элементов видеопотока с определенной яркостью. Такая процедура фильтрации может быть реализована программно посредством доступа к данным видеопотока через стандартный драйвер видеокamеры или с помощью одной из библиотек компьютерного зрения, например Open CV. Предпочтительнее использовать низкоуровневые программные средства обработки изображения, непосредственно взаимодействующие с драйверами видеоустройств. Этот прием позволит значительно сократить время обработки информации и повысить частоту поступления выходной информации.

Получение координат характерных точек — не единственная операция, необходимая в процессе обработки видеосигнала. Как известно, при формировании изображения оптическими сис-

темами возникают аберрации — различные искажения, вызываемые преломлением лучей света. При определении координат характерных точек особенное значение имеет тип монохроматической аберрации — дисторсия. При возникновении дисторсии нарушается закон подобия между реальным изображением предмета и его изображением, полученным посредством оптической системы. В короткофокусных и широкоугольных объективах, применение которых является наиболее предпочтительным из соображений компактности, обычно возникает так называемая бочкообразная дисторсия, которая проявляется в уменьшении масштаба изображения при удалении от главной оптической оси.

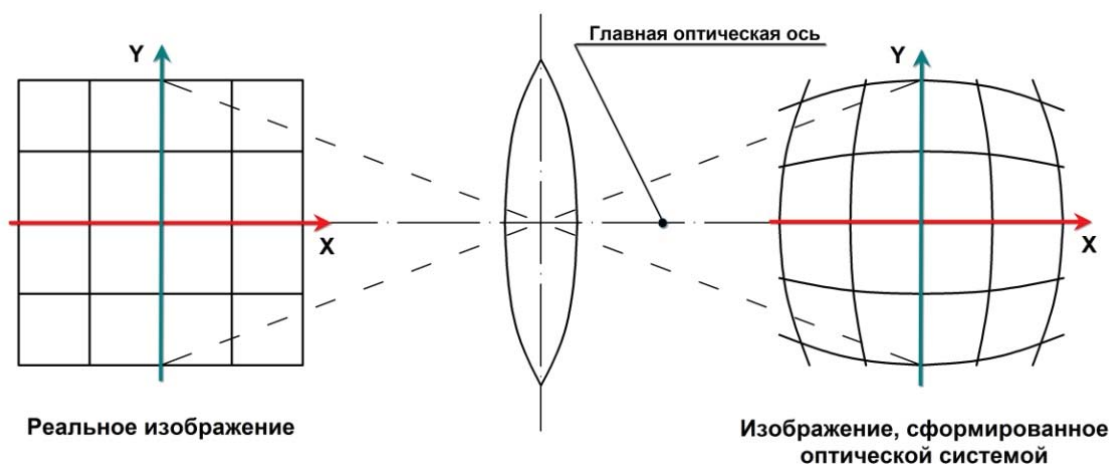


Рис. 5. Бочкообразная дисторсия

Для компенсации искажений, возникающих вследствие дисторсии, необходимо установить зависимость между координатами точек оптического изображения ($x_{\text{опт}}, y_{\text{опт}}$) и соответствующими им координатами (x_p, y_p) на реальном изображении. Интенсивность искажения, вызываемого дисторсией, зависит как от местоположения точки относительно главной оптической оси, так и от величины фокусного расстояния. Но поскольку в рассматриваемых конструкциях блоков регистрации предполагается наблюдение неподвижного относительно камеры чувствительного элемента, зависимость величины дисторсии от фокусного расстояния можно не описывать, приняв

последнее постоянной величиной. В этом случае дисторсию можно описать в виде зависимости каждой из координат точек реального изображения от координат местоположения на оптическом изображении:

$$\begin{aligned} x_p &= f(x_{\text{опт}}, y_{\text{опт}}), \\ y_p &= f(x_{\text{опт}}, y_{\text{опт}}). \end{aligned} \quad (1)$$

Функции (1) описывают изменение масштаба изображения при удалении от главной оптической оси изображения и таким образом характеризуют не только дисторсию, но и масштаб изображения. Их описание возможно полиномиальными коэффициентами посредством бикубической интерполяции.

Координаты опорных точек можно выбирать, устанавливая в поле зрения

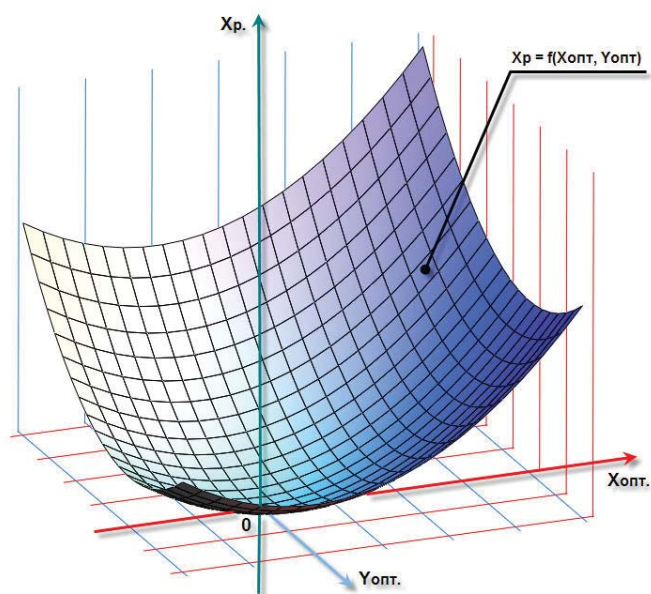


Рис. 6. График зависимости $x_p = f(x_{\text{опт}}, y_{\text{опт}})$

[illegible]

101

$$x_p^{\text{II}} = x_p^{(5)} + A_{\text{II}}(x - x_{\text{опт}}^{(5)}) + B_{\text{III}}(x - x_{\text{опт}}^{(5)})(x - x_{\text{опт}}^{(6)}) + C_{\text{III}}(x - x_{\text{опт}}^{(5)})(x - x_{\text{опт}}^{(6)})(x - x_{\text{опт}}^{(7)});$$

$$x_p^{\text{II}} = x_p^{(9)} + A_{\text{II}}(x - x_{\text{опт}}^{(9)}) + B_{\text{II}}(x - x_{\text{опт}}^{(9)})(x - x_{\text{опт}}^{(10)}) + C_{\text{II}}(x - x_{\text{опт}}^{(9)})(x - x_{\text{опт}}^{(10)})(x - x_{\text{опт}}^{(11)});$$

$$x_p^{\text{I}} = x_p^{(13)} + A_{\text{I}}(x - x_{\text{опт}}^{(13)}) + B_{\text{I}}(x - x_{\text{опт}}^{(13)})(x - x_{\text{опт}}^{(14)}) + C_{\text{I}}(x - x_{\text{опт}}^{(13)})(x - x_{\text{опт}}^{(14)})(x - x_{\text{опт}}^{(15)}).$$

Далее для полученных значений x_p^{I} , x_p^{II} , x_p^{III} и x_p^{IV} можно получить полином третьей степени для свободной переменной $y = y_{\text{опт}}$:

$$x_p = x_p^{\text{I}} + D(y - y_{\text{опт}}^{(13)}) + E(y - y_{\text{опт}}^{(13)})(y - y_{\text{опт}}^{(9)}) + F(y - y_{\text{опт}}^{(13)})(y - y_{\text{опт}}^{(9)})(y - y_{\text{опт}}^{(5)}),$$

где $D = \frac{x_p^{\text{II}} - x_p^{\text{I}}}{y_{\text{опт}}^{(9)} - y_{\text{опт}}^{(13)}}, E = \frac{\frac{x_p^{\text{II}} - x_p^{\text{I}}}{y_{\text{опт}}^{(9)} - y_{\text{опт}}^{(13)}} - E}{y_{\text{опт}}^{(9)} - y_{\text{опт}}^{(13)}},$

$$F = \frac{\frac{x_p^{\text{IV}} - x_p^{\text{III}}}{y_{\text{опт}}^{(1)} - y_{\text{опт}}^{(5)}} - \frac{x_p^{\text{III}} - x_p^{\text{II}}}{y_{\text{опт}}^{(5)} - y_{\text{опт}}^{(9)}} - E}{y_{\text{опт}}^{(1)} - y_{\text{опт}}^{(9)}}.$$

Таким же образом с помощью полиномиальных коэффициентов описывается зависимость $y_p = f(x_{\text{опт}}, y_{\text{опт}})$, при этом в качестве опорных необходимо использовать точки, которые соответствуют линиям координатной сетки y_p . Алгоритм получения полиномиальных коэффициентов для функций (1) наряду с алгоритмом получения координат характерных точек должен быть программно реализован в блоке обработки данных.

Преимущество предлагаемых систем измерения заключается в стоимости изготовления установок, которая определяется относительной простотой комплектующих элементов. Использование представленных автоматизированных систем мониторинга деформаций позволит оперативно отслеживать текущее состояние сооружений, предотвращать наступление предельных состояний несущих элементов конструкций и сооружения в целом.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54523-2011. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
2. Инструкция по наблюдениям и исследованиям на судоходных гидротехнических сооружениях / рук. Ю. М. Колесников. — М.: Росморречфлот: Российский речной регистр, 2008.
3. Пат. 108602. Система контроля технического состояния строительных конструкций / Балонин Н. А., Гарибин П. А., Марлей В. Е., Рябов Г. Г.
4. Гарибин П. А. Построение прогнозных моделей камер судоходных шлюзов / П. А. Гарибин, К. П. Моргунов, Г. Г. Рябов // Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление: МНПК, посвящ. 200-летию подготовки кадров для водного транспорта. — СПб.: СПГУВК, 2009.
5. Правила технической эксплуатации портовых сооружений / Мин-во речного флота РСФСР. — Л.: Транспорт, 1986. — 48 с.