

УДК 656.6

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ШЛЮЗОВАННОЙ СИСТЕМОЙ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДЕЦКИХ ШЛЮЗОВ)

Ковалев Данил Алексеевич¹, аспирант
e-mail: kovalev.dankov@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье проанализированы информационные системы водного транспорта и структура судопотока на участке Городецких шлюзов №15–16 до г. Нижнего Новгорода за период 1955–2024 гг. Выявлена необходимость оптимизации управления шлюзовой системой. Отмечено, что существующие подходы к улучшению судоходных условий недостаточно отражают реальные эксплуатационные факторы. Предложена информационная модель, учитывающая технико-экономические и эксплуатационные показатели.

Ключевые слова: эксплуатационные показатели работы шлюзованной системы, информационные технологии и модели.

IMPROVEMENT OF THE INFORMATION MODEL FOR MANAGING THE GATEWAY SYSTEM IN ORDER TO INCREASE ITS THROUGHPUT (USING THE EXAMPLE OF GORODETSKY GATEWAYS)

Danil A. Kovalev¹, Doctoral Student
e-mail: kovalev.dankov@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article analyzes the information systems of water transport and the structure of ship traffic on the site of Gorodetsky locks No. 15-16 to Nizhny Novgorod for the period 1955-2024. The necessity of optimizing the gateway system management has been identified. It is noted that the existing approaches to improving shipping conditions do not sufficiently reflect the real operational factors. An information model is proposed that considers technical, economic and operational indicators.

Keywords: operational performance of the gateway system, information technologies and models.

Введение

Активное развитие в последнее время информационных технологий позволяет интегрировать их в разные сферы и направления деятельности народного хозяйства.

Воднотранспортная отрасль не исключение. Водные стратегии Российской Федерации на период до 2030 года и проект стратегии до 2035 года ориентированы также на создание информационной (цифровой) среды для управления водохозяйственным комплексом с использованием данных мониторинга водных объектов и т.д.

В работе [1] представлены основные принципы и возможности интеграции информационных систем на основе разработанной концепции «Автоматизация системы управления транспортным комплексом Российской Федерации» (АСУ ТК), в рамках которой может быть сформирована отраслевая информационная система на базе Речных информационных систем (РИС) ее общие положения были представлены как составляющие будущей АСУ.

На данном этапе развития концепция охватывает по большей части вопросы информационного обеспечения участников программы, административно-правовую базу администраций и эксплуатирующих организаций [1].

Но для более эффективной работы флота необходимо учитывать особенности функционирования гидротехнической инфраструктуры. В реальных условиях работы, с наличием эксплуатационного воздействия на шлюзованную систему, где необходимо количественно учитывать общую загруженность системы, состоящую из водного пути, рейдов (ожидания и предшлюзовых) и судоходных шлюзов (коэффициенты использования их по времени площади камер шлюза, глубину воды на пороге и ряд других факторов).

Цель статьи – показать и доказать важность количественного учета работы всех составляющих элементов системы, влияние каждого элемента по отдельности и всех вместе на общие показатели работы флота и его инфраструктуры особенно при эксплуатации в лимитирующих условиях.

Конкретизация проблем лимитирующих участков рассматриваемой шлюзованной системы в целях улучшения показателей работы

Желание участвовать в организации перевозок водным транспортом международных транспортных коридорах (МТК), например «Север – Юг», конъюнктура которых в последние годы по ряду причин изменилась и ориентирована во многом на экономически развивающийся быстрыми темпами Восток. И делает необходимым развитие собственного, внутреннего водного транспорта, в том числе на пассажирских перевозках и водном туризме.

Инфраструктурные ограничения известного участка водного пути от г. Нижний Новгород до г. Городец и Городецких шлюзов, создают лимитирующие условия для судоходства и определяет эффективность работы флота и всей Единой глубоководной системы европейской части Российской Федерации (ЕГС).

Единого мнения по поводу ликвидации ограничений на участке за долгие годы исследований нет. В итоге выделилось три варианта. Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла, по некоторым оценкам реализация такого решения способна повысить грузопропускную способность от 15,5 до 40,0 миллионов тонн [2-4]. Возведение третьей нитки шлюзов способно повысить показатели до 42,4 миллионов тонн. Реконструкция действующих Городецких шлюзов №15–16 со строительством дополнительной камеры №15А и устройством подходного канала от г. Нижний Новгород до г. Городец с обеспечением в течение всей навигации гарантированной глубины 4,0 м. позволит достичь грузооборота до 20,3 миллионов тонн.

Последний вариант призван улучшить судоходные условия на участке. Он реализуется на основании постановления Правительства Российской Федерации и должен завершиться в мае 2026 г.



Каждый из предложенных способов улучшения показателей работы флота и его инфраструктуры не полностью отражает реальные (эксплуатационные) условия судоходства.

Наиболее полная оценка и детализированное прогнозирование совместной эффективной работы флота и шлюзованной системы может вестись с учетом следующих параметров:

- глубина воды на порогах камер шлюзов $H_{\text{п}}$. Показатель имеет тесную связь с расходами воды через створ ГЭС, которая работает также в суточном режиме регулирования стока, а глубина воды на порогах камер шлюзов изменяется в течение дня. Зависимость расходов и уровней воды в нижнем бьефе подробно рассмотрена в диссертационном исследовании «Совершенствование обеспечения эксплуатации низконапорных гидроузлов в целях улучшения условий судоходства в их бьефах (на примере Нижегородского гидроузла на р. Волга)»;
- использование камер шлюзов по времени. Величина учитывается соответствующим коэффициентом k_t , как суммарное отношение временных параметров операций шлюзования относительно времени работы шлюзов за рассматриваемый период;
- использование камер шлюзов по площади. Величина оценивается соответствующим коэффициентом k_S , и определяет полноту загрузки камер шлюзов группой судов или составов;
- неравномерный подход судов или составов к шлюзам;
- плотность судопотока. Дает количественную оценку общей загруженности шлюзованной системы судами или составами за расчетный период;
- загруженность рейдов. Отражает фактическую свободную площадь рейдов относительно их полной площади, и определяет резерв возможности судов или составов встать на рейды (предшлюзовые или ожидания);
- ограничения, накладываемые участком водного пути с особыми условиями движения судов, где их расхождение и обгон запрещены. Находится в непосредственной близости от шлюзов;
- водность года. Показатель влияет на среднесуточный объем сбросов воды через створ ГЭС и возможность освоить расход воды в более значимых притоках;
- ограничения и очередность шлюзования по Правилам пропуска судов через шлюзы внутренних водных путей.

В настоящее время из-за сложности вычислений и отсутствия единой методологии расчета некоторых важных эксплуатационных показателей работы флота и его инфраструктуры, приведенных выше, существуют лишь приближенные или эмпирические методики их количественного анализа, оценки и учета.

Факторы, описывающие эксплуатационные показатели работы системы в совокупности коррелируют между собой причем, имеют тесную связь между собой. Взаимная корреляция, а также стохастичность параметров, которая выявлена в результате анализа работы Городецкого района гидротехнических сооружений и судоходства (РГСнС), накладывает ряд ограничений на методологию и точность количественного учета показателей. Существует ряд эвристических подходов, которые способны дать результат, но тоже весьма приблизительный.

Один из путей решения проблемы рассматриваемого лимитирующего уже долгие годы судоходство участка – синергия и уточнение существующих методов оценки влияния эксплуатационных факторов на показатели работы флота (инфраструктуры) и переход на оптимальные и результативные методы расчета с возможностью их интеграции в общую концепцию информационной системы.



Исследование математических моделей, применяемых для учета и оценки лимитирующих факторов шлюзованной системы

Рассматриваемая шлюзованная система состоит из созависимых элементов, относящихся по большей части к воднотранспортной отрасли – Городецкие шлюзы №15–16 (на момент окончания реконструкции №15А-15 и 16), водного пути от г. Городец до г. Нижний Новгород (реконструкция предусматривает устройство судоходного канала с обеспечением гарантированной глубины 4,0 м. в течение навигации), рейдов (предшлюзовых и ожидания по родам груза и типам судов) и элемента энергетической отрасли – Нижегородской ГЭС. Поэтому математическое описание каждого из лимитирующих факторов должно производиться с учетом влияния на всю систему в целом.

Нестационарная задача определения глубины воды на порогах камер шлюзов наиболее полно описывается уравнениями Сен-Венана, учитывая его справедливость для общих случаев и принимая расход воды в нижнем бьефе равным исключительно моментному расходу через створ ГЭС в терминах геометрических, скоростных и расходных характеристик.

Эти уравнения являются частью обобщенных решений уравнения Сен-Венана посредством математических преобразований. Они требуют большого количества данных (геометрических параметров русла, продольных уклонов профиля и т.д.), которые в случае естественного русла трудноопределяемы. Но моментная глубина воды на порогах камер шлюзов является фундаментальной величиной определения степени и оценки ограничений, лимитирующих пропускную способность рассматриваемого участка. Методические рекомендации решения задачи рассматривались в диссертационном исследовании, а укрупненно оценить и спрогнозировать количественную оценку фактора можно, применяя подходы корреляционно-регрессионного анализа при наличии достаточного количества статистических данных.

Пропускная способность судоходных шлюзов в общем виде определяется количеством пропущенных судов или составов за рассматриваемый период времени. Лимитирующими условиями этого показателя работы являются ограничения, связанные с временем работы шлюзов и затрачиваемого времени на операции при шлюзовании, и выражается коэффициентом использования шлюзов по времени. В общем виде описывается выражением (1):

$$\frac{\sum_i T_{ш}}{T_p} = \max(k_t) \quad (1)$$

где i – количество шлюзований за рассматриваемый период;

$T_{ш}$ – полное время i -ого шлюзования;

T_p – общее время работы шлюза за расчетный период.

Использование камер шлюзов по площади является лимитирующим фактором при формировании группы судов или составов и описывается (2)

$$\frac{\sum_{i \in O} l_i \cdot b_i}{L \cdot B} = \max(k_s) \quad (2)$$

где k_s – коэффициент использования шлюзов по площади;

l_i, b_i – соответственно длина и ширина судов, ожидающих шлюзование, с учетом запасов в соответствии с Правилами шлюзования;

L, B – соответственно длина и ширина рассматриваемой камеры шлюза соответственно.

Задачи, связанные с описанием подхода судов или составов к шлюзам в течение навигации имеют стохастический характер. Теоретически описать эти эксплуатационные факторы можно эвристическими методами, например генетический алгоритм. Результаты анализа имеют приблизительный характер и затрудняют прогнозирование работы шлюзованной системы.



Эксплуатационные показатели работы рассматриваемой системы на базе статистических данных

Отражают достоверное влияние лимитирующих эксплуатационных факторов системы через статистические данные (отчетные материалы работы Городецкого РГСиС). В статье рассматриваются несколько характерных показателей работы шлюзованной системы. На рисунке 1 приведен укрупненный график навигационного судопропуска.

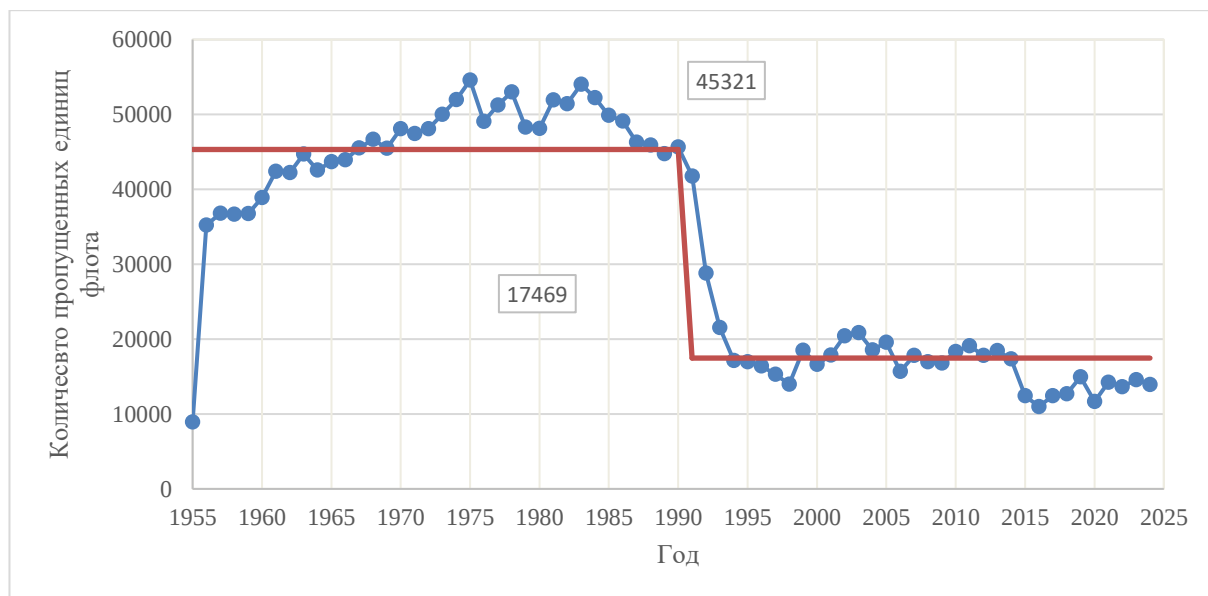


Рисунок 1 –График изменения навигационного судопотока через Городецкие шлюзы №13–16

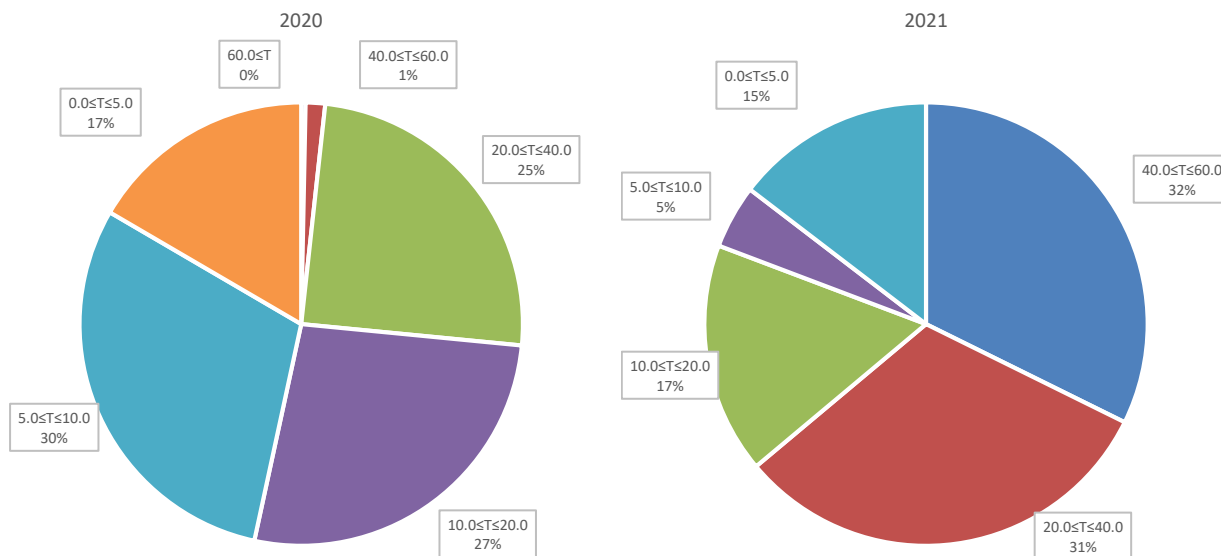
Максимальные значения (до 54567 единиц флота) наблюдается в период 1956–1990 годов эксплуатации (период 1), минимальные значения (до 10983 единицы флота) наблюдается в период 2000–2024 года эк (период 2). Причем, значительных количественных колебаний судопотока в эти периоды нет. Период 1 отражает потенциальные (на сегодняшний момент) возможности системы; период 2 показывает фактическое использование шлюзованной системы. Средняя разница показателей периодов ((1)-(2)) составляет 27852 единицы флота. Тогда, при сохранении современной структуры судопотока, навигационное распределение судопотока близко к нормальному распределению и включает 56,5% грузо- и 43,4% пассажиропотоков, теоретически можно достигнуть порядка 7,5 миллион тонн грузооборота и 150,0 тысяч человек пассажирооборота, с учетом лишь модернизации имеющейся инфраструктуры.

Лимитирующие эксплуатационные факторы значительно влияют на организацию работы всей воднотранспортной отрасли. Современное состояние и условия работы накладывают ряд ограничений, описание и прогнозирование которых процесс затруднительный, а в ряде случаев невозможный. Наглядно и совокупно оценить влияние этих критических факторов на шлюзованную систему можно с помощью учета (анализа) времени ожидания. Подходы и методы расчетов представлены в научно-исследовательской работе [5].

Общее время ожидания в выше указанных работах включает несколькими составляющими: время ожидания воды и время ожидания шлюзования.

Соответственно за рассмотренные 2020 и 2021 навигационные годы (рисунок 2) было пропущено 11 680 единиц флота (перевезено 4,8 млн. т груза и 48,0 тысяч пассажиров) и 14 231 единица флота (перевезено 5,5 млн. т. груза и 112,8 тысяч пассажиров).[27] Причем в 2020 году почти 6% флота требовалось ожидать воды или ожидать шлюзования, доходя

до 75 часов. Но с возросшим на 57,5% пассажиропотоком в 2021 году общее количество судов с ожиданием воды или шлюзования в интервале $40.0 \leq T \leq 60.0$ увеличилось в процентном отношении на 31% (рисунок 2).



Примечание: $0.0 \leq T \leq 5.0$ – указаны рассматриваемые интервалы времени

Рисунок 2 – Процентное отношение ожидающих судов по времени за навигации 2020–2021 годов

Распределенное суммарное время ожидания по осадкам (рисунок 2) наглядно показывает его отражение при изменении судопотока, ограничения и очередность шлюзования в соответствии с правилами шлюзования.

В соответствии с правилами шлюзования пассажирские суда имеют приоритет и при их прохождении время ожидания минимален. Таким образом время ожидания распространяется только на грузовые суда и составы. На момент завершения реконструкции Городецких шлюзов и вводом в эксплуатацию камеры №15а влияние эксплуатационных факторов будет увеличено в первую очередь для грузовых судов и составов.

Для увеличения пропускной способности шлюзованной системы и повышению провозной способности эксплуатируемого флота необходимы большие оптимизационные затраты и связанные с оптимизацией работы системы, научно-методического сопровождения процессов, а также возможность применения современных информационных технологий с интегрированием в организацию воднотранспортной отрасли на этом участке.

Концепция оптимизации показателей работы шлюзованной системы посредством интеграции в ее функционал информационной модели

В настоящее время информационные системы вошли во все сферы человеческой жизни. Воднотранспортная отрасль также имеет базу для оптимизации их использования с целью повышения эффективности работы шлюзованной системы. Потенциал использования этих систем безграничен и не должен ограничиваться на развитии лишь административного и узконаправленного информационного обеспечения. Информационные системы не только позволят установить корректную и эффективную работу рассматриваемой шлюзованной системы, но и достичь синергии в масштабе работы всей ЕГС европейской части России.

В реальных условиях возможность создания единой информационной системы (платформы) требует значительных временных, организационных, бюрократических и других затрат, связанных с получением оперативной информации с элементов функционирования системы (например, изменение созависимых величин уровней воды в нижнем бьефе ГЭС от расходов через ее створ, уровни воды по гидростам в режиме онлайн, локационных данных пользователей и другие).

Поэтому наиболее реализуемым является вариант создания информационной модели рассматриваемого участка шлюзованной системы, то есть модели, которая будет описывать характеристики, существенные свойства, состояние объектов, процессов и явлений от изменения эксплуатационных (изменение судопотока в течение навигации, уровней воды в течение суток, график шлюзования и другие) условий в реальном времени.

Основное направление представленной концепции — это полная взаимосвязь флота и объектов его инфраструктуры, минимизируя лимитирующие факторы при прогнозировании и организации шлюзования с целью улучшения показателей работы. Принципиальная схема работы информационной модели показана на рисунке 3.



Рисунок 3 – Принципиальная схема работы предлагаемой модели

Информационная модель включает в себя совокупность оптимизированных научно-методологических подходов описания работы рассматриваемой шлюзованной системы. В процессе разработки часть их потребует адаптировать под локальные данные с учетом технико-экономического обоснования решения в области планирования эксплуатации и организации перевозок на участке и работы других зависимых объектов инфраструктуры.

Таким образом на этапе разработки модели входными обрабатываемыми данными являются параметры моделируемой системы гидротехнических сооружений, водного пути и другие. Посредством обработки входных данных и решения нестационарных задач предлагаемая информационная модель нацелена на решение следующих задач:

- Точное планирование работы шлюзованного участка;
- Помощь в принятии решений управления инфраструктурой участка. Например, на базе получаемой информации оператор (диспетчер) будет получать рекомендации об

оптимальной загрузке камеры шлюзов с учетом различных вариантов размещения судов , учитывая все эксплуатационные и лимитирующие показатели работы системы;

- Информационное оперативное оповещение. Обеспечение информацией всех участников платформы, например, о занятости шлюзов их готовности к шлюзованию и другие;
- Общее или локальное прогнозирование работы системы.

Основным отличием от ранее предлагаемых концепций развития и интегрирования информационных систем в водотранспортную отрасль является ориентированность ее на учет, оценки и прогнозирование организации перевозок водным транспортом с учетом работы всех элементов шлюзованной системы.

Заключение

В настоящий момент при организации и планировании перевозок имеется ряд ограничений, связанных с лимитирующими и эксплуатационными показателями системы, при этом теряя потенциал и «привлекательность» в отношениях других видов транспорта. Предлагаемые ранее методики оценки, связанные с реальными характеристиками объектов, которые изменяются по большей части в стохастической среде, довольно приблизительно могут дать примерные результаты поскольку они адаптированы и ориентированы лишь для обработки, сбора и распространения информационной и административно-правовой документации.

Предлагаемая для разработки модель, учитывающая взаимосвязь всех элементов шлюзованной системы, ее эксплуатационные и лимитирующие факторы может обеспечивать не только локальное, но и масштабное улучшение показателей работы.

Список литературы:

1. Уртминцев Ю. Н. Речные информационные системы как фактор повышения эффективности работы внутреннего водного транспорта. Научные проблемы водного транспорта №80(3), 2024;
2. Родионов А. А., Румянцев В. А., Фёдоров М. П., Зиновьев А. Т., Кривошей В. А., Медведева О. Е., Троицкая Ю. И., Дёмин С. П., Малова Т. И., Чусов А. Н., Шишкина О. Д., Моисеев А. В., Каменский С. Б., Краев И. М., Марусин К. В. Варианты решения проблем судоходства на лимитированном участке реки Волги от Городецкого гидроузла до Нижнего Новгорода, в том числе с учетом оценки влияния на санитарно-эпидемиологическую и экологическую ситуацию в регионе. Фундаментальная и прикладная гидрофизика Т. 15, №4. 2022;
3. Каменский С. Б., Кривошей В. А., Медведева О. Е., Павлов А. Н. Экономические методы выбора варианта улучшения условий судоходства на примере оценки эффективности затрат по реконструкции Городецких шлюзов на Волге. Проблемы экологии Волжского бассейна. «Волга – 2023». Труды 8-й всероссийской научной конференции. Выпуск 6, 2023 г.;
4. Строительство Нижегородского ННГУ. Альтернативные варианты. Основные результаты этапов №№1-4 НИР. «Влияние строительства Нижегородского низконапорного гидроузла на работу Ново-Сормовской водопроводной станции АО «Нижегородский водоканал», включая анализ материалов проекта «Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла» и проведение исследований по рассмотрению возможности реализации альтернативного варианта гидроузла до Нижнего Новгорода и выполнение работ по графическому описанию местоположения границ зон санитарной охраны (ЗСО) поверхностных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения объектов,



эксплуатируемых АО «Нижегородский водоканал», определению координат характерных точек границ вышеуказанных зон». ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева;

5. ФГБУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта». Отчет на научно-исследовательской работе «Анализ заносимости перекатов в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС по итогам проведения транзитных и капитальных дноуглубительных работ в 2021 г. на участке р. Волга (845,5–895,0 км) и оценка влияния капитального дноуглубления на посадку уровня воды на порогах шлюзов №15 и №16 Городецкого гидроузла». Н. Новгород, 2022.

