

**ВОДНЫЕ ПУТИ, ПОРТЫ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ**

**WATERWAYS, PORTS, AND HYDRAULIC ENGINEERING
CONSTRUCTIONS**

УДК 556.5

DOI: 10.37890/jwt.vi75.378

**Натурные исследование уровня режима р. Волга в
нижнем бьефе Нижегородской ГЭС**

М.А. Матюгин

ORCID: 0000-0002-9446-0352

Д.А. Мильцын

ORCID: 0000-0001-6937-7779

М.А. Решетников

ORCID: 0000-0002-8492-0052

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В летний период 2021 года на участке р. Волга в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС были проведены натурные исследования уровня режима. Для этого на всем протяжении участка было обустроено шесть временных водомерных постов, по которым в течение светового дня проводились измерения уровней воды. По результатам исследования получены основные характеристики волны попуска, образующейся при суточном регулировании стока на Нижегородской ГЭС, в том числе амплитуда волны, периоды подъема и спада уровня воды в различных створах участка, изменения уклона водной поверхности в течение дня. На основании полученных данных сделаны выводы о возможности их применения при диспетчерском регулировании движения флота на участке и выполнении проектных и научных работ.

Ключевые слова: гидрологический режим реки, уровень воды, нижний бьеф гидроузла, гидрометрия, суточные колебания уровня воды.

**Full-scale study of the Volga river level regime in the lower
reaches of Nizhny Novgorod HPS**

Michail A. Matugin

ORCID: 0000-0002-9446-0352

Dmitry A. Miltsin

ORCID: 0000-0001-6937-7779

Maxim A. Reshetnikov

ORCID: 0000-0002-8492-0052

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. In the summer of 2021, full-scale studies of the river level regime on the Volga River section in the lower reaches of Nizhny Novgorod hydroelectric power station were carried out. For this purpose, six temporary water measuring posts were equipped throughout the whole site, according to which water levels were measured during daylight hours. According to the study results, the main characteristics of the release wave formed during the daily regulation of the runoff at Nizhny Novgorod HPS were obtained, including the wave amplitude, periods of water level rise and fall in various sections of the site, changes in water surface slope during the day. Based on the data obtained, conclusions about the possibility of

their application in the fleet movement dispatching regulation at the site and execution of design and scientific works have been drawn.

Keywords: hydrological river regime, water level, waterworks lower reach, hydrometry, daily water level fluctuations.

Введение

Внутренний водный транспорт является важной частью общей транспортной инфраструктуры Российской Федерации и наряду с другими видами транспорта обеспечивает эффективное функционирование всех отраслей экономики нашей страны. В европейской части России наиболее востребованные внутренние водные пути сосредоточены в Единой глубоководной системе (ЕГС), имеющей выход к пяти морям и объединяющей все основные крупные реки региона.

Развитие грузоперевозок по ЕГС в последние десятилетия несколько ограничивается целым рядом факторов [1, 2, 3, 4] среди которых одним из определяющих является низкая пропускная способность участка р. Волга от г. Городец до г. Нижний Новгород, связанная с нехваткой судоходных глубин в меженный период. Чебоксарское водохранилище после ввода в эксплуатацию по ряду причин не было наполнено до проектной 68,0 отметки, что привело к отсутствию подпора на верхнем участке водохранилища. Помимо этого, участок р. Волга от г. Городец до г. Нижний Новгород расположен в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС, находящейся в эксплуатации уже более 60 лет. Таким образом, на гидрологический режим рассматриваемого участка оказывают влияние сразу несколько антропогенных факторов: суточное регулирование стока на Нижегородской ГЭС, отсутствие подпора со стороны нижележащего гидроузла, посадки уровня воды в связи с длительным периодом эксплуатации Нижегородской ГЭС, значительные объемы ежегодных дноуглубительных и добычных работ на участке [5].

Традиционно вопросы исследования гидрологического режима на данном участке реки решались с помощью классических расчетных научных методов или с использованием более современного математического моделирования [6]. При этом полученные результаты зачастую не были полностью верифицированы в связи с отсутствием натуральных фактических данных и их апробация основывалась на отдельных гидрологических параметрах, полученных в ходе исследований в 1980-1990 годы.

В связи с этим актуальным является вопрос проведения натуральных исследований фактического гидрологического режима реки Волга в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС, в том числе с использованием современного оборудования и методов [7].

Методика проведения исследований

В рамках проведения натуральных исследований летом 2021 года на участке нижнего бьефа Нижегородского гидроузла от створа плотины до г. Нижний Новгород были обустроены шесть временных гидрологических постов. Каждый пост представлял собой алюминиевую телескопическую нивелирную рейку длиной три метра, закрепленную в прибрежной части водоема на расстоянии порядка 3-5 метров от берега за предварительно устроенную сваю из металлического уголка. Схема расположения постов представлена на рисунке 1.



Рис.1. Схема расположения гидрологических постов

Пять постов были расположены на правом берегу реки и один пост («СНТ Елена») расположен на левом берегу. Местоположения гидрологических постов выбирались на прямолинейных участках реки, вне затонных частей и выходов сбросных коллекторов в водоем, а также исходя из возможности беспрепятственного доступа к береговой полосе, в том числе на автотранспорте. Ближайший пост к Нижегородской ГЭС (г/п «Заволжье») располагался на расстоянии порядка 2 км от створа плотины, наиболее удаленный пост (г/п «Нижний Новгород») – на расстоянии 57 км от створа гидроузла.

Привязка условного уровня воды по нивелирной рейке на гидропосте к абсолютному уровню высот Балтийской системы была произведена методами спутниковой геодезии. В частности, приемником EFT M3 были определены отметки нулей рек относительно геоида EGM-08 с использованием метода Real-time kinematic (RTK). Определения отметок выполнялись в течении тридцати эпох с осреднением результатов по времени. По результатам измерений максимальная среднеквадратическая ошибка определения высотной отметки составила порядка 5 мм для г/п «Заволжье» и «СНТ Елена», для остальных постов менее 5 мм.

Для дополнительного контроля получаемых отметок были выполнены наблюдения на ближайших пунктах государственной геодезической сети, которые показали максимальную высотную невязку решения не более 3,5 см. Таким образом, итоговая точность определения отметок нулей рек временных водомерных постов составила не более 4 см относительно пунктов ГГС.

Измерения уровней воды в условных отметках по нивелирной рейке проводились наблюдателями на каждом из временных постов 30 июня 2021 года в период с 7:00 до 20:00 с дискретностью в пять минут. Данные по уровням заносились в

предварительно подготовленные бланки по схеме «время – условный уровень воды». По каждому из постов при такой схеме было получено порядка 155 значений.

Общие сведения по временным гидрологическим постам представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сведения по временным гидрологическим постам

№ п/п	Название поста	Расположение поста, км		Абсолютная отметка нуля гидропоста, м БС
		судовой ход	от створа ГЭС	
1	Заволжье	852	2	66,26
2	СНТ Елена	862	12	65,59
3	Балахна	875	25	65,07
4	Малое Козино	881	31	64,72
5	Хальзовская	897	47	62,82
6	Нижний Новгород	907	57	62,13

Результаты натурных исследований

По результатам проведенных измерений были получены графики колебания уровней воды по шести временным гидропостам на участке нижнего бьефа Нижегородской ГЭС на 30.06.2021 г. (рис.2).

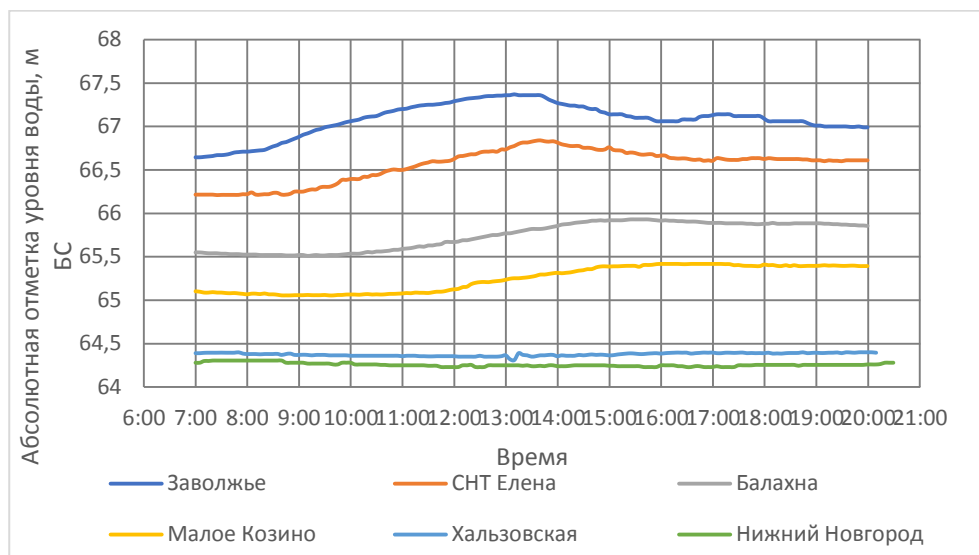


Рис.2. Графики колебания уровней воды по временным гидрологическим постам в абсолютных отметках Балтийской системы высот

По полученным зависимостям видно, что наибольшие колебания уровня в течение дня происходят на участке «Заволжье – Малое Козино», который включает четыре верхних гидропоста. По двум нижним гидропостам суточные колебания уровня практически отсутствуют. Для более детального анализа колебаний уровня по различным участкам нижнего бьефа измеренные величины уровней воды были приведены к единому условному уровню «+100 см» на 7:00 утра (рис.3).

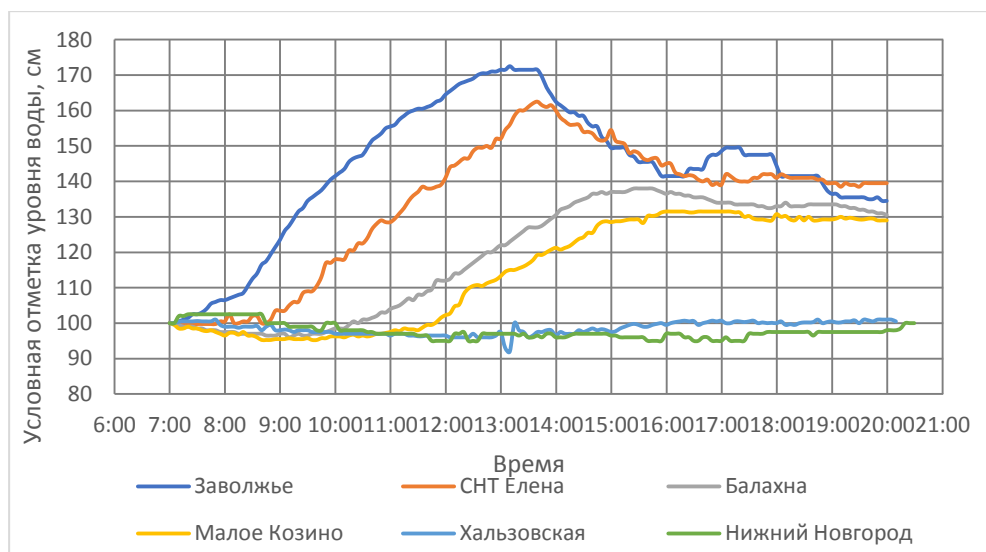


Рис.3. Графики колебания уровней воды по временным гидрологическим постам в условных отметках

По графику на рис.3 явно прослеживается формирование волны попуска, связанной с суточным регулированием стока при работе Нижегородской ГЭС. С семи утра начинается повышенный сброс воды через турбины гидроагрегатов для покрытия утреннего пика потребления электроэнергии и уровень воды начинает планомерно расти в течение шести часов. Амплитуда роста при этом составляет порядка 70 см. Далее по времени происходит небольшой спад уровня, связанный с уменьшением сброса, и повторный подъем в период 17-18 часов, обусловленный покрытием вечернего пика потребления. Амплитуда второго пика незначительна и составляет не более 10 см.

По данным начала утреннего подъема уровня по нижележащим гидропостам скорость движения волны попуска вниз по течению составляет порядка 5,5-6 км/ч. По мере движения вниз волна попуска теряет свою высоту и практически полностью исчезает на расстоянии около 40 км от створа гидроузла (рис.4).

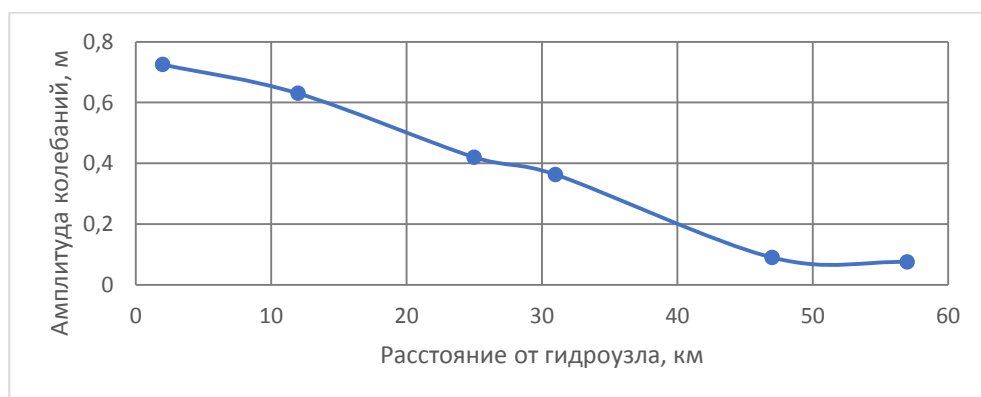


Рис. 4. Амплитуда суточных колебаний уровня воды (30.06.2021 г.)

Анализ полученных результатов

Гидрологический режим нижнего бьефа Нижегородской ГЭС согласно проведенным натурным исследованиям в меженьный период (30.06.2021 г.) в значительной мере определяется суточным режимом регулирования стока. С началом утреннего повышения сброса воды и подъемом уровня формируется волна попуска. Постоянный подъем уровня воды продолжается на протяжении 5-6 часов, после которого с небольшим снижением уровень поддерживается на повышенных отметках до вечера (20:00). В ночное время со снижением выработки электроэнергии и сброса воды происходит снижение уровня до исходного на 7:00. В настоящее время период повышенного уровня волны за счет волны попуска активно используется крупнотоннажным флотом для прохождения мелководного участка «Нижегородская ГЭС – Нижний Новгород». По полученным данным дневные уровни воды в районе Малого Козино и Балахны превышают утренние на 30-40 см, выше по течению на 40-50 см, в отдельные пики в районе Городца и Заволжья до 70 см. При этом экстремальные значения повышения поддерживаются не более 2-2,5 часов и постепенно снижаются до средних значений, не превышающих 40 см.

Вечерний повышенный сброс уровня воды в районе 17-18 часов практически не формирует сосредоточенную волну в нижнем бьефе и просматривается только на графиках колебания по г/п «Заволжье» в 2 км ниже плотины. Однако, благодаря ему, сохраняется несколько повышенный уровень воды в нижнем бьефе в вечернее время.

По мере прохождения вниз по течению волна попуска постепенно затухает и, согласно данным измерений на 30.06.2021 г., полностью исчезает на расстоянии около 40 км от створа плотины. Измеренные уровни воды по гидропостам в черте г. Нижний Новгород (г/п «Хальзовская» и «Нижний Новгород») не зафиксировали фактических колебаний, связанных с неравномерным стоком ГЭС. Такие параметры волны попуска, как высота и скорость движения, также постепенно затухают по мере удаления от плотины гидроузла.

В связи с постоянным изменением уровня воды по всему участку нижнего бьефа Нижегородской ГЭС в течение дня происходят значительные колебания уклона водной поверхности (рис.5).

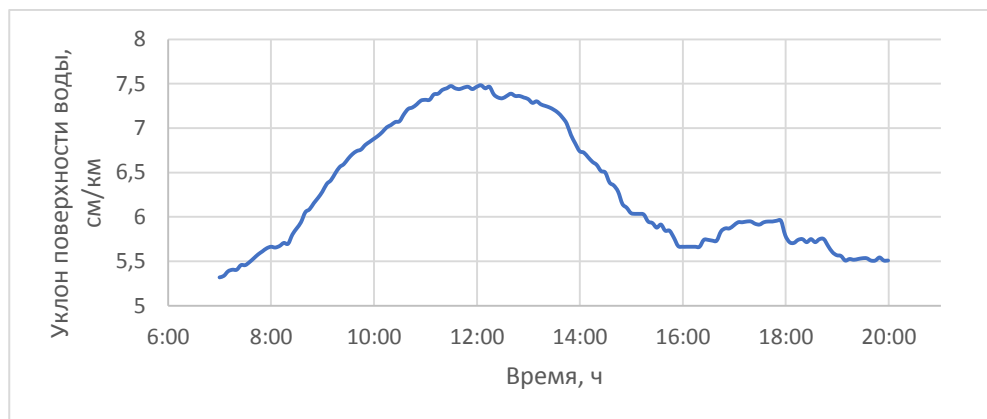


Рис.5. Изменения уклона водной поверхности на участке «Заволжье – Малое Козино» (30.06.2021 г.)

На участке нижнего бьефа «Заволжье – Малое Козино» уклон в течение дня изменяется практически в 1,5 раза от 5,5 до 7,5 см/км. При этом изменения уклона происходят постоянно в течение дня, что приводит к интенсификации русловых

переформирований на данном участке реки и суточным изменениям скоростного режима течения.

Выводы и рекомендации

Полученные в результате проведения натурных исследований нижнего бьефа Нижегородской ГЭС данные дают широкий спектр гидрологической информации участка реки в части урванного режима, уклонов свободной поверхности воды, а также основных характеристик волны попуска, возникающей при работе гидроузла. Все эти данные могут быть использованы как при диспетчерском регулировании движения крупнотоннажного флота на затруднительном участке «Городец – Нижний Новгород» для поиска наиболее оптимальных временных окон с повышенными глубинами, так и при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений, расположенных на рассматриваемом участке реки, планировании и проведении дноуглубительных работ в русле реки [8, 9], анализе русловых переформирований участка [10, 11].

Следует отметить, что исследования проводились в межень период в будний день и отражают типовой гидрологический режим участка только для этого периода водности года. Работа гидроагрегатов в режиме суточного регулирования также зависит от потребности в выработке электроэнергии в разные дни недели и несколько отличается в рабочие и выходные дни. В связи с этим представляет интерес продолжение натурных исследований на участке с выполнением их в различные периоды водности: половодье, паводок, зимняя межень, а также в различные дни недели: отдельно в выходные и рабочие дни. Это позволит получить более полный объем данных по фактическому гидрологическому режиму реки в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС под воздействием постоянной антропогенной нагрузки.

Список литературы

1. Дрейбанд Д.В., Коршунов Д.А., Ничипорук А.О. Проблемы развития инфраструктуры внутреннего водного транспорта с учётом стратегических задач.//Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – URL: http://вф-река-море.рф/2022/1_10.pdf
2. Минеев, В. И., Почкаева, О. В., & Иванов, В. М. (2022). Проблемы эффективного функционирования Единой глубоководной системы европейской части России. Научные проблемы водного транспорта, (71), 122-132. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.253>
3. Железнов, С. В., Липатов, И. В., Лисин, А. А., & Уртминцев, Ю. Н. (2021). Исследование факторов восстановления грузовых речных перевозок на Единой глубоководной системе России. Научные проблемы водного транспорта, (69), 197-208. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi69.227>
4. Костров В.Н., Глотова И.В. Анализ перспектив устойчивого функционирования волжского бассейна в условиях интеграции в международную транспортную систему.//Транспорт. Горизонты развития. 2021: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2021. – URL: http://вф-река-море.рф/2021/1_7.pdf
5. Ситнов А.Н., Воронина Ю.Е. Оценка гидравлического режима нижнего бьефа Нижегородской ГЭС при строительстве низконапорного гидроузла и в других альтернативных вариантах решения судоходной проблемы//Труды 4-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2019»). Выпуск 2.- г. Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2019, URL: http://вф-река-море.рф/ECO/2019/PDF_ECO/eco24.pdf
6. Ситнов А.Н., Воронина Ю.Е. Оценка динамики свободной поверхности и глубин в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла при возведении третьей нитки шлюзов или их третьей ступени // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 61. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019. – 28-40 с.

7. Матюгин М.А., Мильцын Д.А., Решетников М.А. Перспектива исследования уровня режима р. Волга на участке от Нижегородской ГЭС до г. Нижний Новгород//Труды 6-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2021»). Выпуск 4.- г. Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2021, URL: http://vf-река-море.рф/ECO/2021/PDF_ECO/eco20.pdf
8. Шестова, М. В., & Добрынина, А. В. (2022). Исследование современного состояния нижнего бьефа Нижегородской ГЭС с учетом русловых деформаций и влияния дноуглубительных работ. *Научные проблемы водного транспорта*, (73), 255-265. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.323>
9. Шестова М.В., Решетников М.А. Результаты гидравлических расчетов по оценке влияния капитального дноуглубления при канализировании русла на посадку уровня воды на порогах Городецких шлюзов.//Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – URL: http://vf-река-море.рф/2022/6_22.pdf
10. Воронина, Ю. Е. (2022). Методические подходы оценки заносимости перекатов нижнего бьефа Нижегородской ГЭС и их влияние на обеспечение судоходных глубин участка. *Научные проблемы водного транспорта*, (72), 198-207. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.294>
11. Воронина Ю.Е., Шестова М.В. Анализ заносимости перекатов нижнего бьефа Нижегородской ГЭС при проведении дноуглубительных работ и их учет в обеспечении судоходных глубин.//Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – URL: http://vf-река-море.рф/2022/6_7.pdf

References

1. Dreiband D.V., Korshunov D.A., Nichiporuk A.O. Problemi razvitiya infrastrukturi vnutrennego vodnogo transporta s uchetom strategicheskikh zadach [Problems of development of inland water transport infrastructure taking into account strategic objectives] // *Transport. Gorizonti razvitiya* [Transport. Development horizons]. 2022: – URL: http://vf-река-море.рф/2022/1_10.pdf
2. Mineev, V. I., Pochekaeva, O. V., & Ivanov, V. M. (2022). Problemi effektivnogo funkcionirovaniya Edinoi glubokovodnoi sistemi evropeiskoi chasti Rossii [Problems of effective functioning of the Unified Deep-water System of the European part of Russia]. *Nauchnie problemi vodnogo transporta* [Scientific problems of water transport], (71), 122-132. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.253>
3. Zeleznov, S. V., Lipatov, I. V., Lisin, A. A., & Urtincev, Y. N. (2021). Issledovanie faktorov vosstanovleniya gruzovih rechnih perevozok na Edinoi glubokovodnoi sisteme Rossii [Investigation of factors of restoration of cargo river transportation on the Unified Deep-water System of Russia]. *Nauchnie problemi vodnogo transporta* [Scientific problems of water transport], (69), 197-208. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi69.227>
4. Kostrov V.N., Glotova I.V. Analiz perspektiv ustoychivogo funkcionirovaniya volgskogo basseina v usloviyah integracii v megdunarodnuy transportnuy sistemu [Analysis of the prospects for the sustainable functioning of the Volga basin in terms of integration into the international transport system] // *Transport. Gorizonti razvitiya* [Transport. Development horizons] 2021. – URL: http://vf-река-море.рф/2021/1_7.pdf
5. Sitnov A.N., Voronina Y.E. Ocenka gidravlicheskogo regima nignego biefa Nizegorodskoi GES pri stroitelstve nizkonapornogo gidrouzla i v drugih alternativnih variantah reshenia sudohodnoi problem [Assessment of the hydraulic regime of the lower reaches of the Nizhny Novgorod hydroelectric power station during the construction of a low-pressure hydroelectric unit and in other alternative solutions to the shipping problem] // «Problemi ekologii Volgskogo basseina» [Problems of ecology of the Volga basin] («Volga-2019»). 2019, URL: http://vf-река-море.рф/ECO/2019/PDF_ECO/eco24.pdf
6. Sitnov A.N., Voronina Y.E. Ocenka dinamiki svobodnoi poverhnosti i glubin v nignem biefe Nizegorodskogo gidrouzla pri vozvedenii tretiei nitki shlyuzov ili ih trtiei stupeni [Assessment of the dynamics of the free surface and depths in the lower reaches of the Nizhny Novgorod hydroelectric complex during the construction of the third line of locks or their third stage] // *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta*. №61, 2019. 28-40.

7. Matyugin M.A., Miltsin D.A., Reshetnikov M.A. Perspektiva issledovaniya urovennogo rezhima r. Volga na uchastke ot Nizhegorodskoj GES do g. Nizhnij Novgorod // «Problemi ekologii Volgskogo basseina» [Problems of ecology of the Volga basin] («Volga-2021»). 2021, URL: http://вф-река-море.рф/ECO/2021/PDF_ECO/eco20.pdf
8. Shestova, M. V., & Dobrynina, A. V. (2022). Issledovanie sovremennogo sostoyaniya nizhnego b'efa Nizhegorodskoj GES s uchetom ruslovyh deformatsij i vliyaniya dnouglubitel'nyh rabot [Investigation of the current state of the lower reaches of the Nizhny Novgorod Hydroelectric power station, taking into account channel deformations and the influence of dredging]. Nauchnie problemi vodnogo transporta [Scientific problems of water transport], (73), 255-265. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.323>
9. Shestova M.V., Reshetnikov M.A. Rezul'taty gidravlicheskih raschetov po ocenke vliyaniya kapital'nogo dnouglubleniya pri kanalizirovanii rusla na posadku urovnya vody na porogah Gorodeckih shlyuzov [The results of hydraulic calculations to assess the impact of capital dredging during channel channeling on the landing of the water level on the thresholds of Gorodetsky locks]. // Transport. Gorizonti razvitiya [Transport. Development horizons]. 2022: – URL: http://вф-река-море.рф/2022/6_22.pdf
10. Voronina, Y. E. (2022). Metodicheskie podhody ocenki zanosimosti perekatov nizhnego b'efa Nizhegorodskoj GES i ih vliyanie na obespechenie sudohodnyh glubin uchastka [Methodological approaches for assessing the carrying capacity of the lower reaches of the Nizhny Novgorod Hydroelectric power station and their impact on ensuring navigable depths of the site]. Nauchnie problemi vodnogo transporta [Scientific problems of water transport], (72), 198-207. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.294>
11. Voronina, Y. E. (2022). Metodicheskie podhody ocenki zanosimosti perekatov nizhnego b'efa Nizhegorodskoj GES i ih vliyanie na obespechenie sudohodnyh glubin uchastka [Analysis of the drift of the lower reaches of the Nizhny Novgorod Hydroelectric power station during dredging and their accounting in ensuring navigable depths]. // Transport. Gorizonti razvitiya [Transport. Development horizons]. – 2022. – URL: http://вф-река-море.рф/2022/6_7.pdf

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Матюгин Михаил Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: mihailmatyugin@mail.ru

Michail A. Matugin, Ph.D (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Waterway and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Мильцын Дмитрий Алексеевич, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: miltsinda@mail.ru

Dmitry A. Miltsin, Ph.D (Eng), Associate Professor of the Department of Waterway and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Решетников Максим Алексеевич, к.т.н., старший преподаватель кафедры водных путей и гидротехнических сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: serfskiwind@gmail.com

Maxim A. Reshetnikov, Ph.D (Eng), Senior lecturer of the Department of Waterway and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Статья поступила в редакцию 07.11.2022; опубликована онлайн 20.06.2023.
Received 07.11.2022; published online 20.06.2023.