

УДК 627.423+627.521

DOI: 10.37890/jwt.vi73.323

Исследование современного состояния нижнего бьефа Нижегородской ГЭС с учетом русловых деформаций и влияния дноуглубительных работ

М.В. Шестова¹

А.В. Добрынина¹

¹*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Комплексные гидроузлы на реках оказывают большое влияние на состояние естественных водных путей. С вводом в эксплуатацию гидроузлов и водохранилищ, регулирующих речной сток, создаются новый гидрологический и русловой режимы; меняется интенсивность и характер русловых процессов. Регулирование стока гидроузлами вносит изменения в путевые и судоходные условия рассматриваемой реки, особенно в нижних бьефах. В данной работе дана оценка современному состоянию нижнего бьефа Нижегородской ГЭС, который является одним из лимитирующих судоходство участков на протяжении всей единой глубоководной системы РФ. Также приведены результаты исследований влияния дноуглубительных работ на уровеньный режим нижнего бьефа.

Ключевые слова: гидрологический режим, гарантированные габариты, судоходные условия, дноуглубительные работы, нижний бьеф ГЭС, посадка уровня воды.

Investigation of the current state of the tailwater of the Nizhny Novgorod hydroelectric power station, taking into account channel deformations and the effect of dredging

Marina V. Shestova¹

Aleksandra V. Dobrinina¹

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

Abstract. Integrated waterworks on rivers have a great impact on the state of natural waterways. With the commissioning of hydroelectric facilities and reservoirs that regulate river flow, a new hydrological and channel regime is created; the intensity and nature of channel processes change. The regulation of the runoff by hydropower systems changes the travel and navigation conditions of the river under consideration, especially in the lower pools. In this paper, an assessment is made of the current state of the lower pool of the Nizhny Novgorod hydroelectric power station, which is one of the areas limiting navigation throughout the entire unified deep-water system of the Russian Federation. The results of studies of the effect of dredging on the level regime of the tailwater are also presented.

Keywords: hydrological regime, guaranteed dimensions, navigable conditions, dredging, hydroelectric downstream, landing of the water level.

Введение

Целью выполнения данной работы являлась оценка современного состояния русла р.Волга с учетом русловых деформаций и воздействия техногенных факторов, в том числе проводимых дноуглубительных работ.

В качестве объекта исследования рассматривался нижний бьеф Нижегородской ГЭС (рис. 1), особенность которого заключается в наличии свободного (неподпертого) нижнего бьефа. При проектной отметке НПУ нижележащего Чебоксарского водохранилища 68,0 м подпор распространился бы до Нижегородской ГЭС, обеспечив судоходную глубину 4,0 м. Однако в связи со сложившейся экологической и экономической ситуацией наполнение водохранилища до этой отметки оказалось невозможным. Таким образом, нижний бьеф Нижегородского гидроузла в течение уже 65 лет функционирует вне подпора и является наиболее затруднительным как для судоходства, так и для производства работ по поддержанию гарантированных габаритов пути [1], [2], [3].

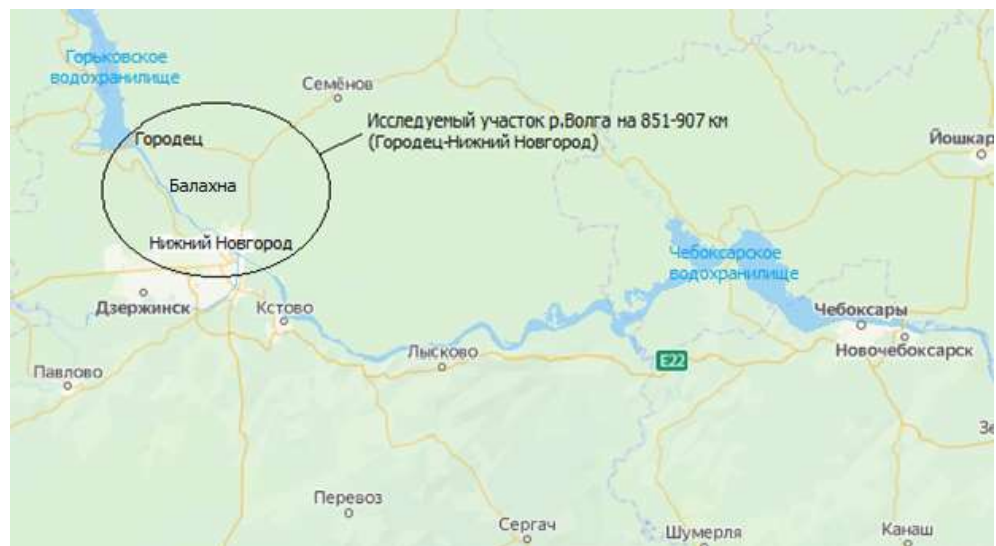


Рис.1. Ситуационный план бассейна р. Волга

Исследование современного состояния нижнего бьефа Нижегородской ГЭС (ННГЭС)

Уровеньный режим на участке Городец-Н.Новгород находится в прямой зависимости от работы Нижегородской ГЭС. Особенно сильно колебания уровней воды заметны на участке Городец-Балахна. На участке Балахна-Нижний Новгород суточные колебания уровней воды постепенно затухают и у Н.Новгорода, в районе Сибирского переката практически незаметны [4].

Основными опорными гидрологическими постами на участке Городец – Нижний Новгород являются: нижний бьеф Городецкого гидроузла (далее - створ №7, 856 км), Балахна (876 км) и Нижний Новгород (907 км). Также наблюдения ведутся по гидрологическим постам – «Створ №3» (853 км) и «Сормово» (898 км). На рисунке 2 приведены графики колебания уровней воды за период с 2000 по 2021 г. по гидропостам «Створ№7», «Балахна», «Н.Новгород».

В настоящее время проектный уровень воды имеет недопустимо низкую обеспеченность, которая составляет для средних и маловодных лет соответственно:

по г.п. «Городец» - 34% и 14%; по г.п. Балахна –32% и 15% (при регламентированной для р. Волга величине 98-99%) [7].

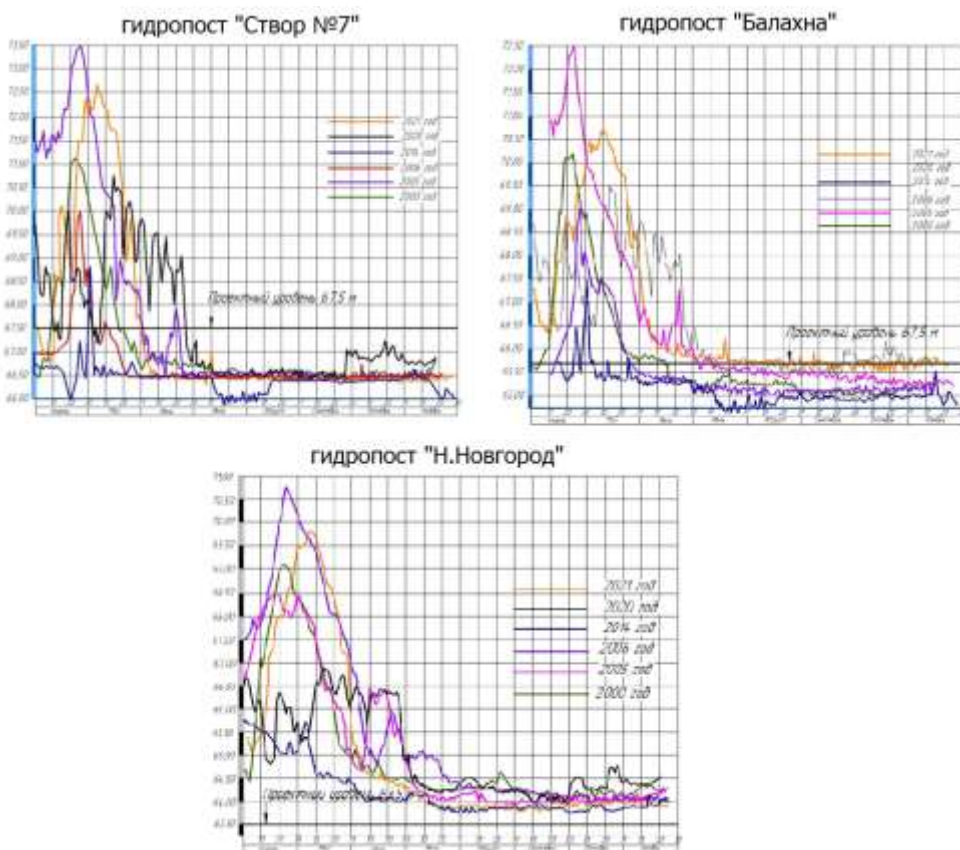


Рис.2. Графики колебания уровней воды по основным гидропостам нижнего бьефа Нижегородской ГЭС за период с 2000 по 2021 годы

Провалы уровней воды (падение ниже проектной отметки) распространяются от Городца и примерно до Средне-Ревяцкого переката. При систематическом суточном регулировании стока, а также в связи с паводковыми пусками на этом участке создается ярко выраженное неустановившееся движение речного потока, что вызывает значительные переформирования перекатов и в свою очередь влечет увеличение объемов дноуглубительных работ, особенно на участке Городец-Балахна. На рисунке 3 показаны данные по срывам уровней воды за последние 15 лет по гидропостам «Створ №7», «Балахна». При этом следует отметить, что фактическая продолжительность навигации на участке Городец-Н.Новгород в 2021 г. составила 212 суток.

По гидропосту «Нижний Новгород» рабочие уровни воды в меженный период не опускаются ниже проектного уровня. Участок р.Волга Нижний Новгород-Работки (Чебоксарское водохранилище) по уровенному режиму находится в благоприятном состоянии. Глубины здесь выдерживаются не менее 4 метров и держатся стабильно.

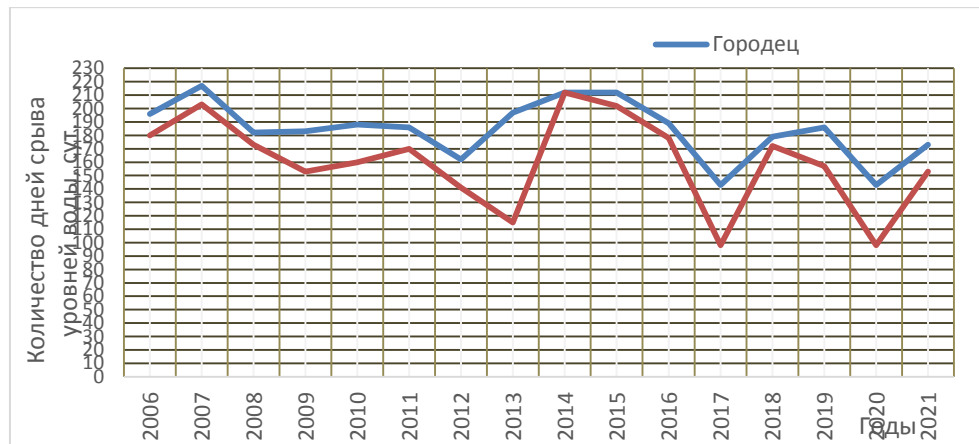


Рис.3. Срывы уровней воды за период с 2006 по 2021 годы на участке Городец -Балахна

Анализ динамики изменения связи «расход воды – уровень воды» показал, что к настоящему времени процесс русловых переформирований привел к значительной посадке уровня воды на участке нижнего бьефа ННГЭС [3], [4]. На рисунке 4 приведен сравнительный анализ изменения уровня воды в зависимости от расходов воды по гидропостам в период с 1954 по 2000-2021 гг. Из графиков видно, что непосредственно в створе плотины (створ № 3) за период с 1957 по 2000 г. при проектном среднесуточном расходе $Q=1100$ м³/с посадка уровня воды составила 145 см; по гидропосту «створ № 7» посадка уровня воды за период с 1957 по 1995 г. составила 100 см, с 1957 по 2021 г – 110 см; по гидропосту «Балахна» за период с 1957 по 2021 г. посадка составила 120 см.

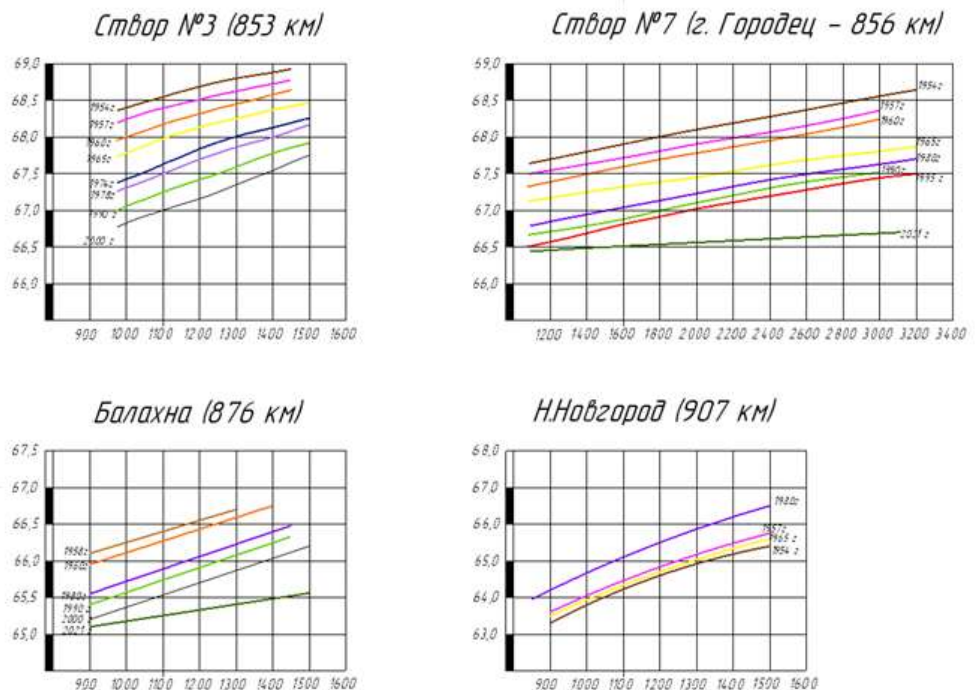


Рис.4. Кривые связи расходов и уровней воды по гидропостам за период с 1954 по 2020-2021 гг.

Иная картина наблюдается в районе гидропоста «Н.Новгород». Здесь в результате динамического подпора Чебоксарским водохранилищем произошло повышение уровня воды по сравнению с естественным состоянием.

Таким образом, анализ гидрологического режима показал, что наибольшая посадка уровня воды в нижнем бьефе ННГЭС наблюдается в зоне приплотинного участка.

Для обеспечения необходимых для флота габаритов судового хода в сложных гидрологических условиях нижнего бьефа в течение всего периода после ввода в эксплуатацию Нижегородской ГЭС в больших объемах производились дноуглубительные работы, что наложило отпечаток на интенсивность протекания русловых процессов. Анализ динамики изменения объемов проводимых дноуглубительных работ (рис. 5) в период с 1957 по 2021г. показал, что регулярные дноуглубительные работы в больших объемах проводились на участке Балахна – Н.Новгород и в меньших на участке Городец-Балахна.

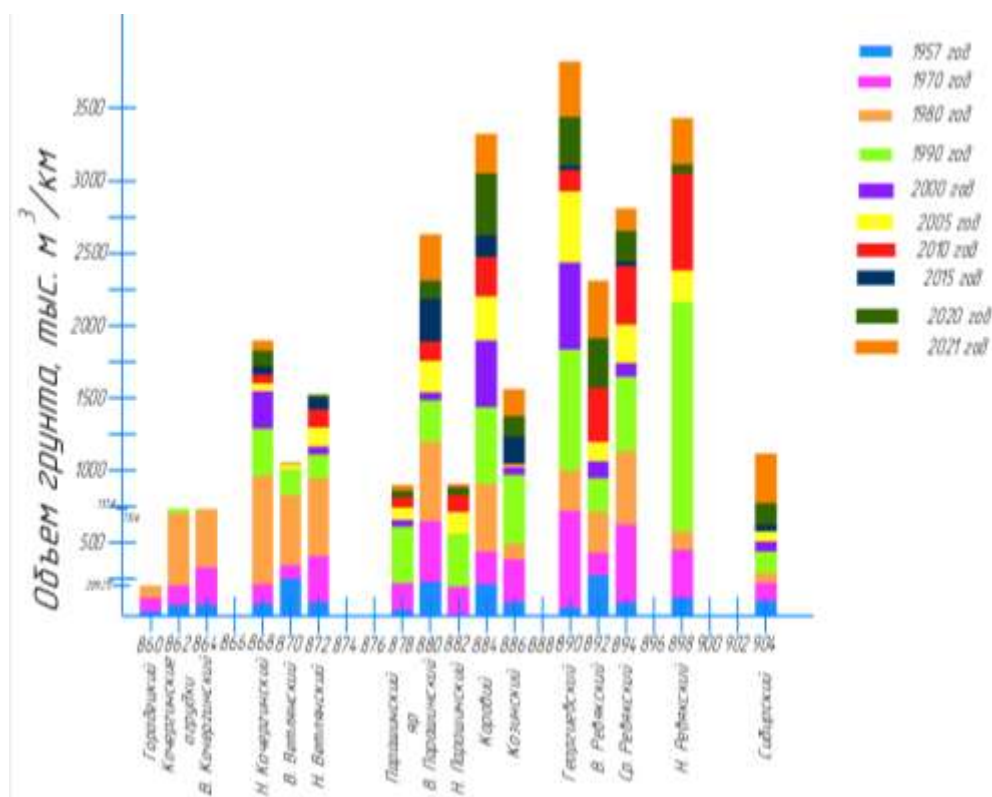


Рис.5. Динамика изменения дноуглубительных работ на исследуемом участке р.Волга за период 1957-2021 гг.

Для того, чтобы оценить состояние русла, был выполнен анализ русловых деформаций за период 1957-2020 г. на всем участке Городец-Н.Новгород. В основу количественных расчетов деформации русла была положена оценка материалов натуральных данных за плановыми смещениями, взятые с интервалом в несколько лет: 1957, 1990, 2014 года.

На основании полученных данных была исследована динамика изменения емкости русла на приплотинном участке, построены графики изменения основных параметров русла по годам, совмещенные поперечные профили (рис. 6). Их анализ показал, что к 1990 году произошло увеличение площади живого сечения в 1.6 раза; в период с 1990 по 2000 год наметилась тенденция к уменьшению площади живого сечения и в период с 2000 по 2014 г. отмечается ее уменьшение. Аналогично ведут себя средняя глубина и ширина русла на приплотинном участке, что является признаком его стабилизации.

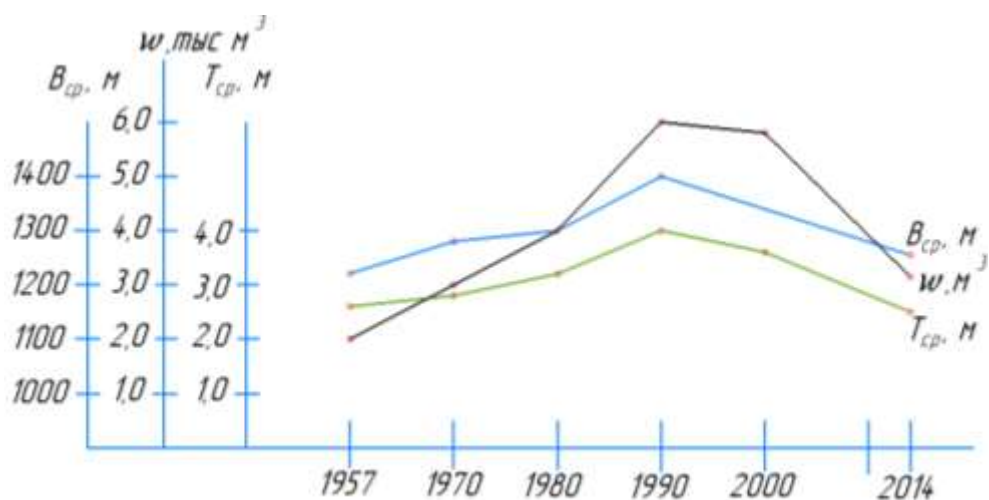


Рис.6. Динамика изменения основных параметров русла на приплотинном участке нижнего бьефа ННГЭС за период с 1957 по 2014 гг.

На участке ниже подходного канала деформации русла определяются двумя факторами: естественным русловым процессом и дноуглубительными работами. На рисунке 7 приведены динамика изменения осредненных значений площади живого сечения, ширины и средней глубины русла за периоды с 1957 по 2020 годы. Также была исследована динамика изменения основных параметров по длине всего участка от Городца до Н.Новгорода. Полученные результаты свидетельствуют о том, что русловые деформации на участке ниже подходного канала продолжают, в том числе продолжает увеличиваться емкость русла.

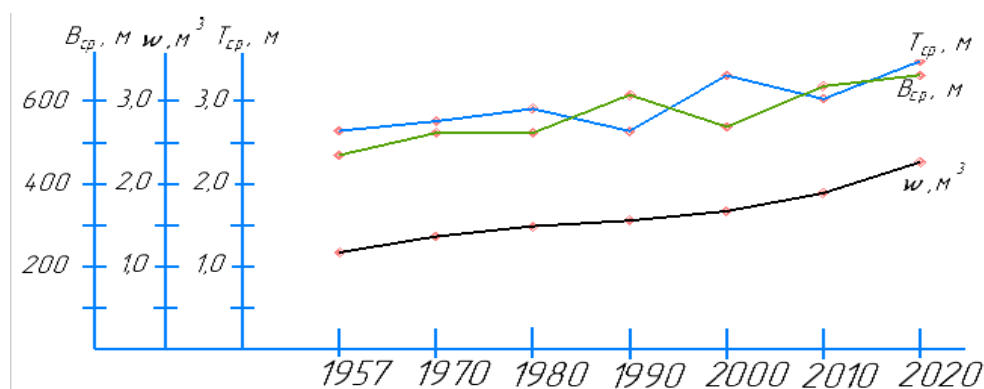


Рис.7. Динамика изменения основных параметров русла ниже подходного канала и до Н.Новгорода за период с 1957 по 2020 гг.

Важной характеристикой русла, отражающей характер взаимодействия руслового потока и грунтов, слагающих берега и дно реки, а также интенсивность русловых деформаций, является степень устойчивости [4], [5]. Для оценки устойчивости русла реки от Городца до Н.Новгорода на основе имеющихся натуральных данных до зарегулирования стока и в условиях работы ГЭС для отдельных перекатов были определены показатели устойчивости, а именно: коэффициенты Лохтина, Гришанина К.В., Макавеева Н.И. и Карасева И.Ф.

Анализ полученных результатов выявил следующую тенденцию. Для всего участка от подходного канала до Н.Новгорода в целом характерно повышение коэффициентов устойчивости в период с 1957 по 1980 гг., а после 1980 г., наоборот, понижение. К 2021 г. русло реки на участке Городец – Балахна может быть отнесено к относительно устойчивым, а на участке Балахна-Н.Новгород – к слабоустойчивым. Подобный характер изменения устойчивости русла может быть объяснен значительными объемами дноуглубительных работ, проводимыми на всем участке, особенно от Балахны до Н.Новгорода.

Оценка влияния дноуглубительных работ на уровеньный режим нижнего бьефа ННГЭС

Поскольку для поддержания судоходных условий на участке Городец-Балахна в больших объемах выполняются дноуглубительные работы, то в работе была выполнена оценка влияния на уровеньный режим этого вида работ (по данным дноуглубления, выполненного в навигацию 2020 г.) с тем, чтобы оценить его влияние как на всем участке в целом, так и на пороге Городецкого шлюза в отдельности. Последний фактор имеет решающее значение при пропуске судов через Городецкие шлюзы.

Для этого были выполнены гидравлические расчеты посадки уровня воды с помощью компьютерной программы «Перекал» (разработана ВГАВТ [5], [6], [7]). При этом приняты следующие условия проведения гидравлических расчетов по определению посадки уровня воды:

1. По грунтам участок Городец-Н.Новгород условно разделен на две части [7]:
 - Нижегородская ГЭС – Балахна (в основании лежат плотные мергелистые глины с тонким слоем аллювия).
 - Балахна – Н. Новгород (с песчаными грунтами).
2. Расчетные варианты дноуглубления (по данным навигации 2020 г.):
 - 1 вариант - дноуглубление только на участке Балахна-Н.Новгород (871-905 км) в объеме 365 тыс.м³.
 - 2 вариант – дноуглубление на всем участке Городец – Н.Новгород (851-905 км) в объеме 400 тыс.м³.

На основании анализа гидрологического режима в качестве расчетного на участке Городец-Н.Новгород был принят расход воды 1100 м³/с (регламентирован Правилами использования водных ресурсов Горьковского водохранилища [4], [7]) и соответствующий ему провальный уровень воды с отметками по гидропостам: Городец – 66,32 м, Балахна – 65,04 м, Нижний Новгород – 63,5 м [7] (рис. 8).

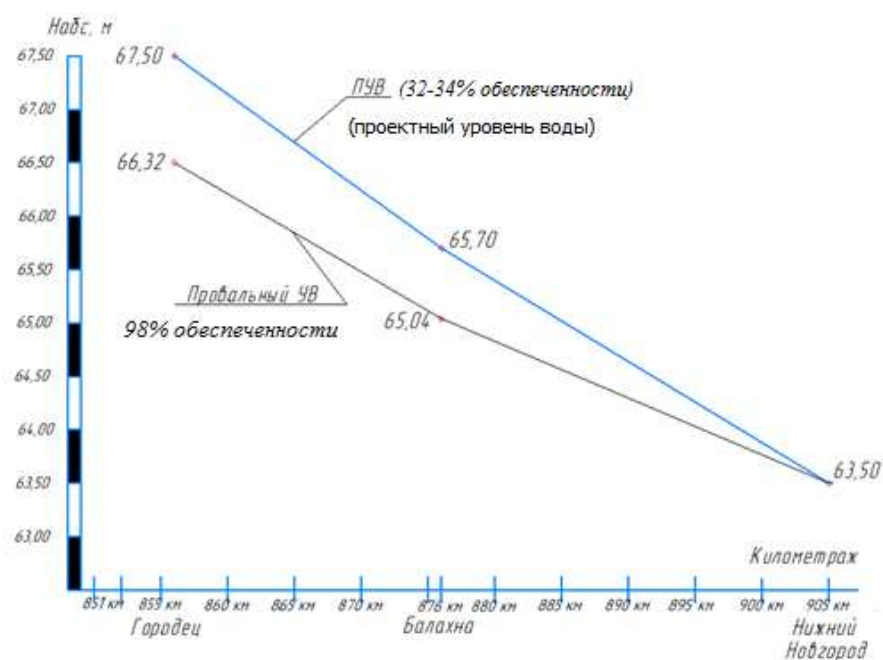


Рис.8. Кривые свободной поверхности воды на участке Городец-Н.Новгород, соответствующие проектному и провальному уровню воды

В качестве исходного планового материала для выяснения конфигураций поперечных сечений русла и определения расстояний между ними были использованы планы русловых съемок, выполненные в навигацию 2020 г. Также были использованы данные по фактически проведенным в навигацию 2020 г. дноуглубительным работам и параметрам прорезей.

Исследуемый участок реки Волга был разбит на расчетные участки различной длины 50 сечениями. Нумерация сечений производилась снизу-вверх по течению так, что начальное сечение №1 расположено на 907 км, а №50 – на 851,8 км основного судового хода.

Значения коэффициентов шероховатости приняты различные, в зависимости от типа грунтов, слагающих исследуемый участок реки: 907-871 км – песок ($n=0,0225$); 871-853,2 км – глина, мергель ($n=0,0268$) [7]. Проектные габариты прорезей (глубина и ширина) назначены в зависимости от фактического положения дноуглубительных прорезей в навигацию 2020 г. и определены по расчетным сечениям с учетом положения «провальной» кривой свободной поверхности воды (рис. 8).

Результаты

Как видно из результатов гидравлических расчетов, посадка уровня воды в зависимости от организации производства дноуглубительных работ и объема выемки грунта различна. В таблице 1 представлены результаты расчетов, которые показали, что при разработке дноуглубительных прорезей только на участке Балахна-Н.Новгород посадка уровня воды на пороге Городецких шлюзов составит 4,8 см, а при разработке к этому перекатов на участке от Городца до Балахны, где присутствуют плотные грунты, посадка уровня воды увеличивается до 17 см.

Таблица 1

Сводная таблица по результатам расчетов посадки уровня воды на участке Городец-Н.Новгород.

Показатель	Расчетные варианты	
	Вариант 1	Вариант 2
Посадка уровня воды максимальная, см (створ, км)	16,3370 (871,85 км)	20,0351 (865,85)
Посадка уровня воды на пороге Городецких шлюзов, см	4,8586	17,2706

Таким образом, анализ полученных результатов гидравлических расчетов посадки уровня воды показал, что наибольшая интенсивность понижения уровней воды наблюдается при разработке прорезей на участке Городец-Балахна и меньшая при дноуглублении только на участке Балахна – Н.Новгород. Отчасти это объясняется тем, что участок Городец-Балахна слагают плотные неразмываемые грунты, которые «держат» уровни воды и таким образом «гасят» интенсивность посадки уровня воды в результате проводимого дноуглубления на участке Балахна – Н.Новгород. Соответственно, даже небольшие объемы дноуглубительных работ на участке Городец-Балахна могут спровоцировать интенсификацию процесса понижения уровней воды на пороге Городецких шлюзов. На рисунке 9 в том числе показана динамика изменения посадки уровня воды в зависимости от удаленности проводимых дноуглубительных работ от створа ННГЭС. При этом на участке Городец-Балахна учтены дноуглубительные работы в объеме 35 тыс. м3, Балахна-Н.Новгород – до 363 тыс. м3 (по данным навигации 2020 г.).



Рис.9. Интенсивность изменения посадки уровня воды на пороге Городецких шлюзов в зависимости от дноуглубительных работ и расстояния от ННГЭС, на котором они производятся

Заключение

Таким образом, на основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- за время эксплуатации ННГЭС в его нижнем бьефе произошли достаточно серьезные русловые деформации. Последствием активной

глубинной эрозии стало понижение уровня воды в створе гидроузла более чем на 150 см.

- на основе выполненного анализа руслового процесса и коэффициентов устойчивости был сделан вывод о том, что на приплотинном участке русло стабилизировалась, на участке Городец – Балахна русло может быть отнесено к относительно устойчивым, а на участке Балахна-Н.Новгород – к слабоустойчивым. То есть в русле реки ниже подходного канала продолжают русловые деформации. Подобный характер изменения устойчивости русла может быть объяснен значительными объемами дноуглубительных работ, проводимыми на всем участке, особенно от Балахны до Н.Новгорода.

- на основе выполненных гидравлических расчетов посадки уровня воды в результате дноуглубления (по данным навигации 2020 г.) сделан вывод о наибольшей интенсивности понижения уровней воды при разработке прорезей на участке Городец-Балахна и меньшей - при дноуглублении только на участке Балахна – Н.Новгород. В связи с этим в нижнем бьефе ННГЭС необходимо минимизировать дноуглубительные работы на участке Городец-Балахна, т.к. разработка перекатов в районе Городца может интенсифицировать процесс посадки уровня воды на порогах Городецких шлюзов.

Список литературы

1. Векслер А. Б., Доненберг В. М. Переформирования русла в нижних бьефах крупных ГЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
2. Векслер А.Б., Доненберг В.М. Опыт оценки трансформации русла рек в нижних бьефах гидроузлов. Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, том 230, С-Пб.,1997.
3. Фролов Р.Д. Русловой режим нижних бьефов ГЭС. Современное состояние водных путей и проблемы русловых процессов. Сборник статей. М., 1999.
4. Шестова М. В. Гидрологический режим нижнего бьефа ГЭС и его влияние на условия судоходства. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук [Текст] / М. В. Шестова – Н. Новгород, 2006.
5. Гладков, Г.Л. Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках: Учебное пособие для вузов / Г.Л.Гладков, М.В.Журавлев, Ю.П.Соколов. - СПб, Изд-во А.Кардакова 2005. – 241 с.
6. Гришанин К.В. Основы динамики русловых потоков. – М.: Транспорт, 1990. 319 с.
7. Анализ заносимости перекатов в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС по итогам проведения транзитных и капитальных дноуглубительных работ в 2021 г. на участке р. Волга (854,5-895,0 км) и оценка влияния капитального дноуглубления на посадку уровня воды на порогах шлюзов №15 и №16 Городецкого гидроузла: отчет о науч.-исслед. работе / Волжский гос. университет водного транспорта; рук. Ситнов А.Н.; исполн.: Воронина Ю.Е. [и др.]. – Нижний Новгород, 2022. – 176 л.
8. Lagasse P. F., Winkey B. R., Simmons D. B. Impacts of gravel mining on river system stability // J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering Division, American Society of Civil Engineers. 1980. Vol. 106. P. 398-404.

References

1. Veksler A. B., Donenberg V. M. Pereformirovaniya rusla v niznikh b'efakh krupnykh GEHS. – M.: Ehnergoatomizdat, 1983. – 216 s.
2. Veksler A.B., Donenberg V.M. Opyt otsenki transformatsii rusla rek v niznikh b'efakh gidrouzlov. Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva, tom 230, S-Pb.,1997
3. Frolov R.D. Ruslovoi rezhim niznikh b'efov GEHS. Sovremennoe sostoyanie vodnykh putei i problemy ruslovykh protsessov. Sbornik statei. M., 1999.
4. Shestova M. V. Gidrologicheskii rezhim nizhnego b'efa GEHS i ego vliyanie na usloviya sudokhodstva. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Tekst] / M. V. Shestova – N. Novgorod, 2006.

5. Gladkov, G.L. Otsenka vozdeistviya na okruzhayushchuyu sredu inzhenernykh meropriyatii na sudokhodnykh rekakh: Uchebnoe posobie dlya vuzov / G.L.Gladkov, M.V.Zhuravlev, YU.P.Sokolov. - SPb, Izd-vo A.Kardakova 2005. – 241 s.
6. Grishanin K.V. Osnovy dinamiki ruslovykh potokov. – M.: Transport, 1990. 319 s.
7. Analiz zanosimosti perekatov v nizhnem b'efe Nizhegorodskoj GES po itogam provedeniya tranzitnyh i kapital'nyh dnouglubitel'nyh rabot v 2021 g. na uchastke r. Volga (854,5-895,0 km) i ocenka vliyaniya kapital'nogo dnouglubleniya na posadku urovnya vody na porogah shlyuzov №15 i №16 Gorodeckogo gidrouzla: otchet o nauch.-issled. rabote / Volzhskij gos. universitet vodnogo transporta; ruk. Sitnov A.N.; ispoln.: Voronina YU.E. [i dr.]. – Nizhnij Novgorod, 2022. – 176 l.
8. Lagasse P. F., Winkey B. R., Simmons D. B. Impacts of gravel mining on river system stability // J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering Division, American Society of Civil Engineers. 1980. Vol. 106. P. 398-404.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шестова Марина Вадимовна доцент к.т.н.,
доцент кафедры водных путей и
гидросооружений, Волжский государственный
университет водного транспорта (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: shestowam@yandex.ru

Marina V. Shestova PhD in Associate
Professor of the Department of waterways and
hydraulic structures, Volga State University of
Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny
Novgorod, 603951

Добрынина Александра Викторовна,
магистрант кафедры водных путей и
гидросооружений, Волжский государственный
университет водного транспорта (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: dobrinina.sascha@yandex.ru

Aleksandra V. Dobrinina undergraduate of
the Department of waterways and hydraulic
structures, Volga State University of Water
Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod,
603951

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 14.06.2022; published online 20.12.2022.