

УДК 627.423

Шестова Марина Вадимовна¹, доцент, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидросооружений,

e-mail: shestowam@yandex.ru

Решетников Максим Алексеевич¹, к.т.н., старший преподаватель кафедры водных путей и гидросооружений,

e-mail: serfskiwind@gmail.com

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ КАПИТАЛЬНОГО ДНОУГЛУБЛЕНИЯ ПРИ КАНАЛИЗИРОВАНИИ РУСЛА НА ПОСАДКУ УРОВНЯ ВОДЫ НА ПОРОГАХ ГОРОДЕЦКИХ ШЛЮЗОВ

Аннотация. Наиболее проблемным для судоходства в единой глубоководной системе Европейской части РФ является участок р.Волга от Городца до Нижнего Новгорода. В работе рассмотрен один из вариантов улучшения судоходного состояния исследуемого участка р.Волга. Дана оценка влиянию капитального дноуглубления при канализировании русла на посадку уровня воды на порогах Городецких шлюзов. В результате гидравлических расчетов определена достигаемая глубина на порогах шлюзов №15-16 с учетом возможной посадки уровня воды.

Ключевые слова: гидрологический режим, посадка уровня воды, гарантированные габариты, дноуглубительные работы, судоходная прорезь, гидравлические расчеты.

Единая глубоководная система (ЕГС) Европейской части России является уникальным воднотранспортным комплексом и играет исключительно важную роль в работе внутреннего водного транспорта. Одним из лимитирующих участков судоходства на всей ЕГС являются шлюзы №15-16 Нижегородского гидроузла и примыкающий к ним перекатный участок до Нижнего Новгорода.

В настоящее время существует различные варианты и подходы по улучшению судоходных условий на данном участке. В последнее время рассматривается вариант пристройки к существующему шлюзу №15 Нижегородского гидроузла дополнительной камеры 15А с проведением значительных дноуглубительных работ в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС. В этой связи было проведено исследование влияния капитального дноуглубления на посадку уровня воды на порогах Городецких шлюзов №15-16.

Существующий проектный уровень воды на исследуемом участке имеет недопустимо низкую обеспеченность, которая по результатам выполненных расчетов [1] составляет: по г/п «Створ №7» - 34% и по г/п «Балахна» – около 32% при регламентированной для р. Волга величине 98- 99%. По г/п «Нижний Новгород», с учетом подпора от Чебоксарского водохранилища, обеспеченность проектного уровня воды 63,5м составляет 100%. Для маловодных лет обеспеченности уровней еще больше падают (14% и 15% по гидростам «Створ №7» и «Балахна» соответственно), что свидетельствует о критическом состоянии судоходства на проблемном участке нижнего бьефа Нижегородской ГЭС. Значения

отметок положения кривой свободной поверхности воды при «провальном» уровне для среднесуточного расхода воды через ГЭС 1100 м³/с представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни воды по гидропостам при среднесуточном расходе воды через ГЭС 1100 м³/с при обеспеченности 96%

Расход через ГЭС, м ³ /с	Отметка уровня воды, м абс.		
	Городец	Балахна	Нижний Новгород (Сормово)
1100	66.42	65.28	64.44

Отложенная от кривой «провального» уровня глубина 4 м (принятая на ЕГС Европейской части РФ) определяет положение линии дна и тот объем выемки грунта на участке с учетом технологических особенностей разработки прорезей, который необходим для ее достижения и проведения гидравлических расчетов по оценке влияния дноуглубительных работ на гидрологический режим и условия судоходства (рисунок 1).

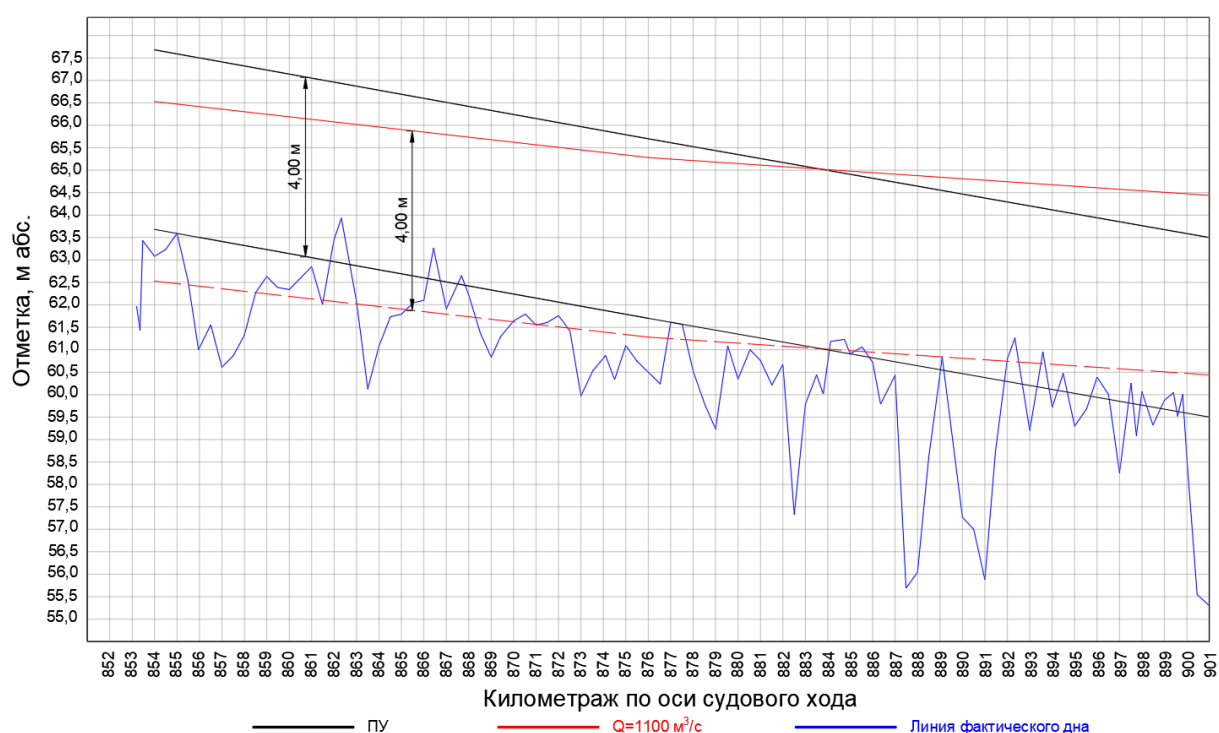


Рисунок 1 – Положение кривой «провального» уровня воды при расходе воды через ГЭС 1100 м³/с

Для прогноза возможной посадки уровней воды на исследуемом участке р.Волга при интенсификации дноуглубительных работ необходимо оценить изменение гидрологического режима всего участка нижнего бьефа Нижегородской ГЭС от Городца до Нижнего Новгорода.

По характеру руслового процесса рассматриваемый участок относится к типу с явно выраженным побочным процессом. По грунтам участок условно разделен на две части:

- Нижегородская ГЭС – Балахна протяженностью 23 км, в основании лежат плотные мергелистые глины с тонким слоем аллювия.
- Балахна – Н. Новгород протяженностью 33 км с песчаными грунтами.

Разработка дноуглубительных прорезей в связных грунтах значительно влияет на посадку уровня воды за счет того, что русло реки неспособно обеспечивать большое количество переносимых потоком частиц грунта в придонном слое и деформироваться.

При работе многочерпаковыми земснарядами отвал производится в значительной удаленности от разрабатываемых на участке прорезей. Это приводит к тому, что с течением времени различие в площадях живого сечения плесовых лощин и перекаатов сглаживаются, поэтому разница в скоростях течения по длине русла также уменьшается, гидравлический режим реки приближается к гидравлике канала. Аккумуляция наносов на гребне перекаатов уменьшается, а посадка уровня воды от дноуглубления не исчезает и остается на длительное время.

Другой «крайностью» дноуглубительных работ является значительная заносимость судового хода при интенсификации разработки легких несвязных грунтов. Именно такое явление может наблюдаться непосредственно при углублении участка ниже г. Балахны. Основная цель выполняемых далее гидравлических расчетов – это определение такой глубины разработки дноуглубительных прорезей на всем исследуемом участке, при которой фактически достигаемая глубина на пороге шлюза с учетом посадки уровня воды будет равна 4 м.

Гидравлические расчеты возможной посадки уровня воды при производстве дноуглубительных работ выполнялись по программе «Перекаат», разработанной в ВГАВТ на основе существующих подходов [2, 3]. Программа позволяет определить посадку уровня воды в реке на рассматриваемом участке при разработке дноуглубительной прорези и прохождении расчетного расхода воды. При исследовании были учтены нормативные документы и опыт предыдущих исследований [4, 5, 6, 7].

Речной поток считается установившимся (стационарная постановка задачи). Рельеф дна не подвергается изменениям, Речной поток описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dz}{dl} - \frac{U^2}{C^2 R} - \frac{1+\xi}{2g} \frac{\partial U^2}{\partial l} = 0 \quad (1)$$

где R – гидравлический радиус;

ξ – коэффициент местных сопротивлений;

B – ширина по зеркалу;

C – коэффициент Шези;

Z – отметка водной поверхности;

U – скорость водного потока;

l – расстояние по оси водотока;

g – ускорение свободного падения;

Q – расход воды.

К уравнению (1) добавляется уравнение, описывающее неразрывность потока:

$$Q = B \cdot U \cdot h \quad (2)$$

где h – средняя глубина потока в сечении;

Для расчета коэффициента определяющего местные сопротивления используется теорема Борда:

$$\xi = \frac{\left[\frac{U_1}{U_2} - 1\right]^2}{1 - \left[\frac{U_1}{U_2}\right]^2} \quad (3)$$

где U_1 и U_2 – средние скорости потока, в сечениях.

Для выполнения расчетов рассматриваемый участок реки делится поперечными сечениями на расчетные участки. Длина каждого расчетного участка не должна превышать 3-4 кратной ширины реки на участке и корректируется с учетом местных условий, а именно: ширина реки на расчетном участке должна быть по возможности постоянной; площадь живого потока в поперечных сечениях по верхней и нижней границам расчетного участка должна быть, по возможности, постоянной.

Отметки проектного уровня воды должны быть известны, отметки расчетного уровня воды после разработки прорези вычисляются.

В качестве исходных данных используются виды информации, определяющие гидрологический режим участка реки:

- гидрографический план участка реки с разбитыми сечениями;
- расчетный расход воды;
- отметки уровня воды 96% обеспеченности на расчетных сечениях участка;
- основные параметры русла от уровня воды 96% обеспеченности и проектные габариты прорези в расчетных сечениях.

Значения коэффициентов шероховатости приняты различные, в зависимости от типа грунтов, слагающих исследуемый участок реки: 895-871 км – аллювиальные отложения (песок); 871-853,2 км – глина, мергель. Принятые значения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Принятые значения коэффициента шероховатости русла.

Участок	Гидравлический уклон	Коэффициент шероховатости русла
895-871 км	0,00004481	0,0225
871-853,2 км	0,00011837	0,0268

Проектные габариты прорезей (глубина и ширина) назначены в зависимости от объемов извлекаемого грунта в расчетных вариантах и определены по расчетным сечениям с учетом отметки проектного дна, взятой на продольных профилях. Максимальная ширина судоходной прорези 100м. Расчет выполнялся для трех вариантов с проектными глубинами 4,0-4,5-5,0м. Результаты определения посадки уровня представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Величина посадки уровня при различных глубинах прорези (от расчетной поверхности воды)

Гидропост (километраж)	Посадка уровня воды, см		
	Дноуглубление 4,0м	Дноуглубление 4,5м	Дноуглубление 5,0м
Балахна (876 км)	0,44	3,40	10,0
Створ №7 (856 км)	13,0	33,8	56,2
Пороги камер №15-16	16,3	39,5	64,0

На основе полученных результатов построена графическая зависимость достигаемой глубины от глубины разработки прорези (рисунок 2).

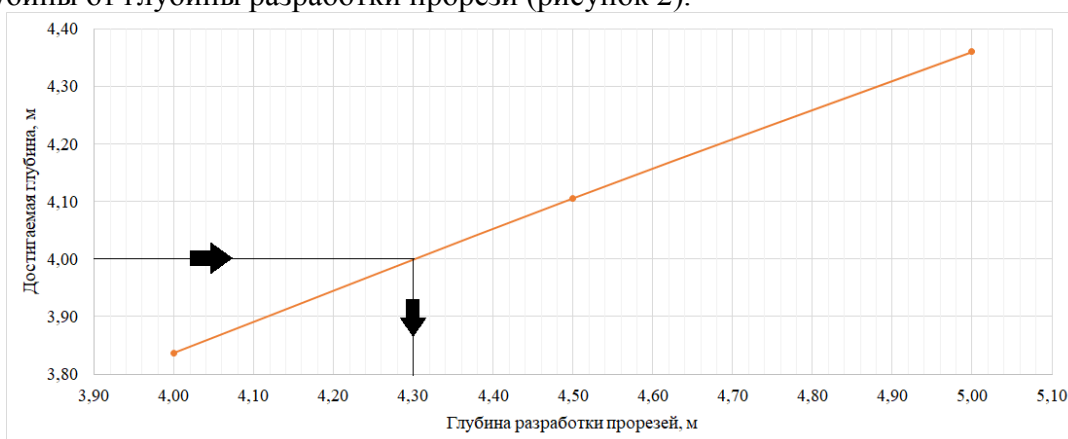


Рисунок 2 – Достижимая глубина в зависимости от глубины разработки прорези с учетом посадки уровня воды (при расходе 1100 м³/с)

Таким образом, результаты исследований показывают, что для достижения глубины 4,0 м в районе шлюза необходима разработка прорезей на участке с учетом посадки уровня воды на глубину 4.3 м. В этом случае посадка уровня воды на порогах шлюзов №15-16 составит 30см, а отметка свободной поверхности воды при среднесуточном расходе через ГЭС 1100 м³/с составит 66,22 м абс. Стоит отметить, что для полного анализа влияния капитальных дноуглубительных работ (канализование русла) следует дополнительно исследовать изменение русловых процессов, заносимость прорезей, повторные объемы дноуглубления для поддержания прорезей, пропускную способность участка водного пути на время дноуглубительных работ, безопасность прохождения судами участка при интенсивных дноуглубительных работах.

Список литературы:

1. 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.
2. 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.
3. Гришанин К.В. Основы динамики русловых потоков. – М.: Транспорт, 1990. 319 с.
4. Матюгин, М. А. Перспектива исследования уровня режима р. Волга на участке от Нижегородской ГЭС до г. Нижний Новгород / М. А. Матюгин, Д. А. Мильцын, М. А. Решетников // Проблемы экологии Волжского бассейна : Труды 6-й всероссийской научной конференции, Нижний Новгород, 24–25 ноября 2021 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2021. – С. 20. – EDN SSTJSZ.
5. СТО 52.08.31-2012. Добыча НСМ в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров /Министерство природных ресурсов и экологии РФ/. СПб, 2010 г.
6. Чалов Р.С., Павлушкин С.В., Беркович К.М. Техногенная трансформация русла р. Обь в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла и её влияние на состояние водного пути // РЕЧНОЙ ТРАНСПОРТ (XXI ВЕК). – 2021. – № 4. – С. 30-35. – ISSN 1729–4258
7. Фролов Р.Д. Отчет по НИР «Обоснование увеличения глубины судового хода р. Волги на участке Н. Новгород - Балахна» №214291. / Р.Д. Фролов. – Н. Новгород.: ВГАВТ, 2001. – 96 с.

THE RESULTS OF HYDRAULIC CALCULATIONS ARE PRESENTED TO ASSESS THE IMPACT OF CAPITAL DREDGING DURING CHANNEL LAYING ON THE LANDING OF THE WATER LEVEL ON THE THRESHOLDS OF GORODETSKY LOCKS

Marina V. Shestova, Maksim A. Reshetnikov

Abstract. The most problematic for navigation in the unified deep-water system of the European part of the Russian Federation is the section of the Volga River from Gorodets to Nizhny Novgorod. The paper considers one of the options for improving the navigable condition of the investigated section of the Volga River. An assessment is made of the effect of capital dredging during the canalization of the channel on the drop in the water level at the rapids of the

Gorodetsky locks. As a result of hydraulic calculations, the depth reached at the thresholds of locks No. 15-16 was determined, taking into account the possible drop in the water level.

Keywords: hydrological regime, water level landing, guaranteed dimensions, dredging, navigable slot, hydraulic calculations.