

Ситнов Александр Николаевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой водных путей и гидросооружений ФГБОУ ВО «ВГУВТ», e-mail: stnv1952@rambler.ru

Воронина Юлия Евгеньевна, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидросооружений ФГБОУ ВО «ВГУВТ», e-mail: yulez@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ») 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ГЛУБИН В НИЖНЕМ БЬЕФЕ НИЖЕГОРОДСКОГО ГИДРОУЗЛА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ТРЕТЬЕЙ НИТКИ ШЛЮЗОВ ИЛИ ИХ ТРЕТЬЕЙ СТУПЕНИ

Ключевые слова: посадка уровня воды, дноуглубление, третья нитка шлюзов, гидравлически допустимая глубина, анализирование русла

Судоходные шлюзы Нижегородского гидроузла и участок Городец – Нижний Новгород лимитируют судоходство на Единой Глубоководной Системе (ЕГС). Большое влияние на посадку уровней воды в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС оказали дноуглубительные работы, производимые с 1970-х для поддержания проектной глубины. Решение проблемы малых глубин на участке и прохождение судами Городецких шлюзов возможно путем строительства низконапорного гидроузла в районе Б. Козино. Для оценки влияния строительства третьей нитки судоходного шлюза как другого, предлагаемого рядом авторов варианта решения проблемы, выполнены гидравлические расчеты поведения свободной поверхности воды на участке и связанные с ней глубины. Движение потока воды в русле реки описывалось системой дифференциальных уравнений движения. В результате проведенных расчетов получено, что кривая свободной поверхности при расходах в интервале 800–1500 м³/с не достигает положения кривой при проектном уровне. Это говорит о необеспеченности проектной судоходной глубины на участке. Альтернативные варианты низконапорному гидроузлу в виде третьей нитки Городецких шлюзов или третьей ступени в подходе канале не обеспечат требуемую судоходную глубину. Русло нижнего бьефа будет кардинально деформировано, а дополнительные объемы дноуглубительных работ на участке нижнего бьефа повлекут посадку уровней воды на порогах существующих шлюзов № 15–16 и на самом участке.

В настоящее время участок р. Волга от створа Нижегородского гидроузла до г. Нижний Новгород имеет серьезную проблему, связанную с лимитирующими глубинами на участке и порогах шлюзов № 15, 16 Нижегородского гидроузла. Проблема со временем усугубляется и грозит прервать сквозное судоходство на Волге, разорвав его на северную и южную части.

В современных условиях водный режим нижнего бьефа Нижегородской ГЭС определяется сбросными расходами с ГЭС. Боковая приточность на участке от плотины Нижегородского гидроузла до створа проектируемого низконапорного гидроузла составляет менее 1% от величины сбросных расходов и, соответственно, не оказывает заметного влияния на водный режим участка.

Горьковское водохранилище осуществляет регулирование стока р. Волга совместно с вышележащим Рыбинским водохранилищем. Режим работы водохранилищ регламентируется «Основными правилами использования водных ресурсов Рыбинского и Горьковского водохранилищ на р. Волге».

Регулирование стока р. Волга водохранилищами привело к заметным изменениям его внутригодового распределения, при которых прослеживается снижение объемов половодий и увеличение объема стока в период межени. Так, по сравнению с естественным режимом, сток весеннего половодья (апрель-июнь) в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла уменьшился на 15%, сток летнее-осенней межени (июль – ноябрь) увеличился на 10–25%, сток зимней межени (декабрь-март) увеличился в два раза [1].

За период совместной (с 1957 г.) эксплуатации Рыбинского и Горьковского водохранилищ максимальные расходы воды в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла регистрировались в интервале от 1860 м³/с (1964 г.) до 7550 м³/с (1966 г.). Средний максимальный расход воды составляет 4950 м³/с. Максимальные сбросные расходы приходятся на начало мая.

В период навигационной межени расходы воды в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС изменялись от 753 м³/с (август 1973 г) до 6160 м³/с (ноябрь 2012 г), средний сбросной расход составил 1300 м³/с.

Суточное и недельное регулирование мощности Нижегородской ГЭС обуславливает неравномерность сбросных расходов в нижний бьеф гидроузла в меженный период. Расходы попусков Нижегородской ГЭС в течение рабочих суток обычно меняются от 500 до 2500–3000 м³/с. В выходные и праздничные дни максимальные сбросы снижаются.

Создание Нижегородского (Горьковского) гидроузла (1956 г.) и наполнение Чебоксарского водохранилища до отметки 63,0 мБС вместо проектной отметки подпорного уровня 68,0 мБС, привело к необратимой деформации русла р. Волга в нижнем бьефе гидроузла, что связано в первую очередь с глубинной эрозией и понижением отметок дна. За годы эксплуатации ГЭС оно понизилось на 1,35 м у

Городца и 0,85 м у Балахны. Подобная ситуация с русловыми процессами и водным режимом нижних бьефов отмечается во многих работах [2–6, 9–13].

Существенное влияние на посадку уровней воды в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС оказали дноуглубительные работы, производимые с 1970-х для поддержания проектной глубины (рис. 1).

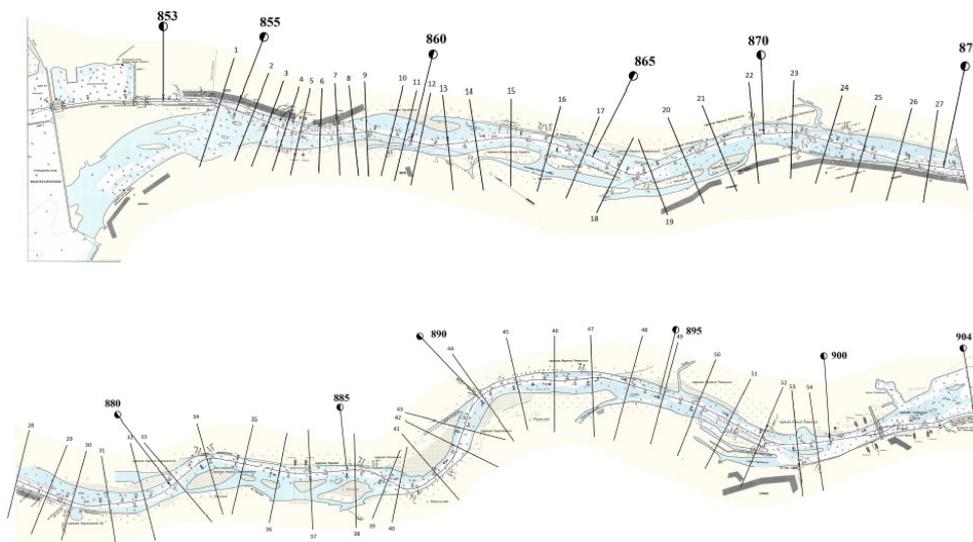


Рис. 1. Схема участка нижнего бьефа Нижегородской ГЭС

Дноуглубительные работы на перекатах от Балахны до Нижнего Новгорода позволили достичь судоходной глубины на этом участке 3,5 м и одновременно спровоцировали посадку уровней на вышележащем участке до Городца вследствие истощения гидравлически допустимой глубины.

Эрозионные деформации и дноуглубительные работы изменили русло, по сути произведя его канализирование, что повлияло на геометрические и гидравлические параметры русла и судоходные условия.

Предлагалось многоподходов крешению судоходной проблемы и после многолетних поисков и обсуждений различных вариантов выхода из сложившейся ситуации предложено решение путем строительства низконапорного гидроузла в районе поселка Большое Козино (890,5 км судового хода). Оно принято на правительственном уровне, вошло в стратегические документы развития водного транспорта и в настоящее время ведется проектирование гидроузла.

В числе основных альтернативных вариантов строительства низконапорному гидроузлу несколько десятилетий рассматривался вариант строительства третьей нитки (третьей ступени) Городецких шлюзов, который до сих пор его авторами не снимается с повестки дня и оценивается как менее затратный и более экологичный [11]. Поэтому нами для оценки последствий решения судоходной проблемы возведением третьей нитки или третьей ступени Городецких шлюзов выполнены гидравлические расчеты поведения свободной поверхности воды на участке и связанные с ней глубины.

Гидравлические расчеты выполнены на ПК по программе «Перекат», позволяющей определить посадку уровня воды в реке на рассматриваемом участке при устройстве дноуглубительной прорези и прохождении расчетного расхода воды.

В основу расчета кривой свободной поверхности (КСП) положены следующие предпосылки и математические зависимости. Движение потока воды в реке считается установившимся. Русло реки не размывается потоком воды и не деформируется, движение потока воды в русле реки описывается системой дифференциальных уравнений движения [8]:

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

и неразрывности:

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

где

Z – отметка кривой свободной поверхности, м;

l – продольная координата, м;

U – скорость течения воды, м/с;

h – средняя глубина потока воды в сечении, м;

Q – расход воды, м³/с;

B – ширина реки по зеркалу воды, м;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}^2/\text{с}$;

ξ – коэффициент местных сопротивлений;

C – коэффициент Шези, определяемый по формуле Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (3)$$

где n – коэффициент шероховатости русла;

R – гидравлический радиус, м.

$$\xi = \frac{\left[\frac{U_1}{U_2} - 1\right]^2}{1 - \left[\frac{U_1}{U_2}\right]^2}, \quad (4)$$

где U_1 и U_2 – средние скорости течения соответственно в верхнем и нижнем сечениях расчетного участка, в пределах которого произошло расширение потока, м/с.

На участках сжатия и равномерного движения потока величина коэффициента местных сопротивлений принимается равной нулю:

$$\xi = 0. \quad (5)$$

$$n_i = \frac{B_{\text{cp}} h_{\text{cp}}^{5/3}}{Q} \sqrt{\frac{\Delta Z - (1 + \xi) \frac{\Delta U^2}{2g}}{\Delta l_i}}, \quad (6)$$

где B_{cp} и h_{cp} – осредненные по длине участка Δl_i значения ширины и средней глубины потока воды в расчетных сечениях;

$\frac{\Delta U^2}{2g}$ – приращение кинетической энергии на участке;

ΔZ – падение КСП на участке.

Если данных о положении КСП нет, то задаются отметки уровня воды в начале и в конце участка реки и определяется средняя величина коэффициента шероховатости русла для всего рассматриваемого участка.

При расчете КСП в русле с прорезью величина коэффициента шероховатости русла принимается равной коэффициенту шероховатости русла без прорези.

Решение системы уравнений (1–6) осуществляется численно методом конечных разностей.

Уравнение (1) в конечных разностях можно представить в виде:

$$\Delta Z_{i+1} = \Delta Z_i + \frac{2 \cdot n_i^2 \cdot Q^2 \cdot \left(\frac{1}{B_i \cdot h_i} + \frac{1}{B_{i+1} \cdot h_{i+1}} \right)^2}{\left(h_i^{1/6} + h_{i+1}^{1/6} \right) \cdot (h_i + h_{i+1})} \cdot \Delta l_i + \frac{(1 + \xi) \cdot Q^2}{2g} \left[\frac{1}{(B_i \cdot h_i)^2} - \frac{1}{(B_{i+1} \cdot h_{i+1})^2} \right] \quad (7)$$

Процесс вычисления отметок уровня воды КСП в поперечных сечениях выполняется следующим образом.

В первом приближении задаются координаты кривой свободной поверхности на рассматриваемом участке реки. Определяются все расчетные параметры русла. Далее путем последовательных приближений с использованием метода Зейделя [4] выполняется расчет кривой свободной поверхности при прохождении расчетного расхода по уравнению (7). На каждой ступени итерационного процесса при некотором промежуточном положении КСП корректируются характеристики русла (ширина, средняя глубина) в расчетных сечениях и выполняется следующая итерация.

Итерационный процесс вычисления отметок КСП продолжается до тех пор, пока не выполнится условие заданной точности расчета в каждом сечении:

$$\max(Z_i^{j+1} - Z_i^j) \leq \varepsilon, \quad (8)$$

где j – порядковый номер итерации;

Z_i – расчетная отметка уровня воды в i -м сечении;

ε – заданная величина точности расчета ($\varepsilon = 0,001 \text{ м}$).

В случае невыполнения условия (8) число итераций ограничивается значением $j = 1000$ с выдачей предупреждения: «Решение расходится».

При наличии фактических данных о положении кривой свободной поверхности программа производит сравнение расчетных и фактических координат кривой свободной поверхности. Эта операция производится с целью корректировки коэффициента шероховатости русла и установления его величины, соответствующей фактическим условиям [7]. Итерационный процесс при корректировке величины коэффициента шероховатости русла завершается при установлении минимальных (в пределах точности измерения уровней воды в полевых условиях) расхождений между расчетными и фактическими уровнями воды в расчетных сечениях.

Посадка уровня воды при дноуглублении (устройстве прорези) определяется по формуле:

$$\Delta Z_i = Z_{pi} - Z_{ri}, \quad (9)$$

где Z_{pi} – отметка проектного уровня воды в i -м расчетном створе;

Z_{ri} – отметка расчетного уровня воды в i -м расчетном створе после устройства прорези.

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

Для определения отметок кривой свободной поверхности в расчетных створах после разработки прорези требуется информация о рельефе дна в месте расположения прорези, ширине и гарантированной глубине судового хода, вычисляется отметка дна прорези, площадь ее поперечного сечения и производится расчет кривой свободной поверхности при возросшей площади живого сечения русла. Коэффициент шероховатости русла, установленный для бытовых условий, не корректируется. Результаты расчета выдаются в табличной форме.

В состав исходных данных гидравлических расчетов входят следующие их виды:

- а) план русла в изобатах с нанесенными на нем расчетными сечениями;
- б) расходы воды на всем протяжении рассматриваемого участка реки;
- в) отметки кривой свободной поверхности на концах рассматриваемого участка реки или данные мгновенной связки уровней на этом участке.

В качестве исходного планового материала для выяснения конфигураций поперечных сечений русла и определения расстояний между ними был использован план съемки, выполненный изыскательской партией Нижегородского района водных путей и судоходства.

Расчетный участок Волги общей протяженностью 45,1 км был разбит 54-я сечениями на отдельные участки различной длины. Нумерация сечений производилась сверху вниз по течению, начальное сечение №54 расположено на 899,6 км (у г.п. «Сормово»), а №1 – в створе разветвления русла у подходного канала Городецких шлюзов на 854,5 км основного судового хода (см. рис. 1).

При расчетах с учетом отсутствия на рассматриваемом участке крупных притоков, расход на которых превышал бы 1% от расхода основного водотока, приняты постоянные расходы в интервале 800–1500 м³/с с шагом 100 м³/с, определяемые режимом работы Нижегородской ГЭС.

По рассмотренной выше методике произведены расчеты положения свободной поверхности воды в нижнем бьефе на участке 854,5–899,6 км по оси судового хода при указанных расходах воды через Нижегородский гидроузел и отметке порога шлюзов №15–16, равной 64,0 мБС. На рис. 2 приведено положение кривой свободной поверхности воды (без учета посадки уровня воды). Как видно из полученных данных, кривая свободной поверхности при рассмотренных расходах не достигает положения кривой при проектном уровне, что говорит о необеспеченности проектной судоходной глубины на участке.

На посадку уровня воды большое влияние оказывает состояние русла и достижение гидравлически допустимой глубины, природа которой пояснена ниже.

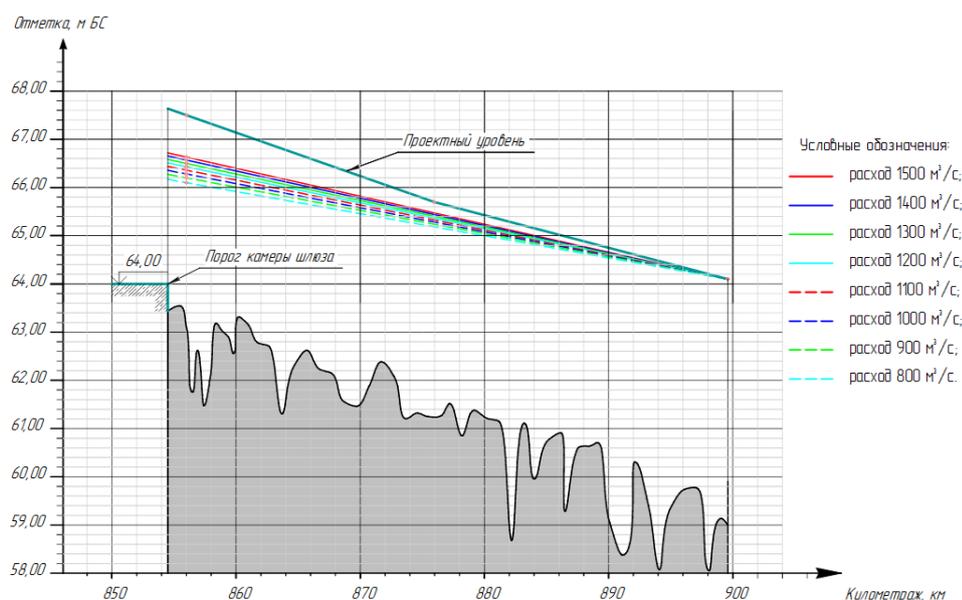


Рис. 2. Положение кривых свободной поверхности при различных расходах

До определенного предела понижение отметок гребней перекатов сопровождается равнозначным ростом глубин. Затем возникает необходимость учета начавшейся посадки уровня воды – понижение отметок кривой свободной поверхности воды, снижающих эффект от дноуглубления.

Этот момент отвечает достижению гидравлически допустимых глубин. Дальнейшее понижение отметок гребня переката будет обеспечивать все меньший фактический прирост судоходной глубины. В ходе этого русло канализуется – происходит сглаживание различий в глубинах плесовых ложины и перекатов.

В канализованном русле при выравнивании глубин по длине реки уклон свободной поверхности на перекате и в плесовой ложине становится постоянным. Последующее понижение дна путем дноуглубления влечет за собой существенную посадку уровня воды, которая не приведет к реальному дополнительному увеличению глубины.

На реках, режим которых близок к естественному (при отсутствии интенсивного дноуглубления), имеет место четко выраженное различие в площадях живого сечения плесовой ложины и переката. Форма поперечного сечения на перекате после интенсивных многолетних дноуглубительных работ претерпевает значительное изменение.

После вторжения в русловой режим реки путем дноуглубительных работ это различие уменьшается. Разница между площадями живого сечения переката и плесовой ложины сохраняется, но при одном и том же уровне воды с годами она уменьшается. По достижению гидравлически допустимой глубины изменение формы русла замедляется, так как русло становится неспособным воспринимать дноуглубление и перестраивать свое ложе для компенсации посадки уровня воды от искусственного увеличения естественной глубины. Наступает момент, когда данная компенсация в посадке уровней перестает исчезать и при дальнейшем углублении русла посадка остается существенной, а через какое-то время будет равна величине углубления русла.

В таблице 1 при существующей отметке порогов шлюзов 64,0 мБС по результатам расчетов приведены обобщенные данные по величине посадки уровней воды в районе судоходных шлюзов, глубины на порогах существующих нижних шлюзов (№15–16) и уклонов свободной поверхности воды на участке нижнего бьефа при различных расходах через Нижегородскую ГЭС.

Таблица 1

Обобщенные данные параметров гидрологического режима и глубин нижнего бьефа

Шлюз	Отметка порога, мБС	Расход, м³/с	Посадка Δh, см	Глубина на пороге, м		Уклон свободной поверхности и на участке	Глубина на участке, м	
				Без учета посадки уровня воды	С учетом посадки уровня воды		Без учета посадки уровня воды	Минимальная с учетом посадки уровня воды
Существующий	64,0	800	83,03	2,17	1,34	0,0001353	4,0	3,17-3,37
	64,0	900	74,88	2,3	1,55	0,0001555		
	64,0	1000	72,48	2,39	1,66	0,0001793		

	64,0	1100	73,51	2,47	1,74	0,0002063		
	64,0	1200	73,97	2,53	1,79	0,0002352		
	64,0	1300	70,75	2,61	1,9	0,0002619		
	64,0	1400	68,73	2,8	2,11	0,0002909		
	64,0	1500	63,14	2,9	2,27	0,0003170		
Третья нитка	61,0	800	137,49	5,17	3,78	0,0001229	4,0-5,17	3,78

Анализ данных таблицы 9 показывает, что даже при расходе 1500 м³/с глубина на пороге шлюзов с учетом посадки уровней воды от дноуглубления составляет 2,27 м и далека от требуемой. Уклон свободной поверхности возрастает более чем в 2 раза с ростом расходов (соответственно уклон 0,0001353 при расходе 800 м³/с и 0,0003170 при расходе 1500 м³/с). Это вполне объяснимо, поскольку с ростом расходов возрастают не только уровни воды в нижнем бьефе (связь между ними отражается в кривой расходов), но и возрастают скорости течения, зависящие от уклона свободной поверхности.

В процессе расчетов параметров гидрологического режима нижнего бьефа Нижегородского гидроузла и сравнении их с выполненными ранее исследованиями (проф. Фролов Р.Д.) [9, 10] обнаружены следующие особенности, вытекающие из кривых расходов в створе №7 (6 км ниже Нижегородской ГЭС) в разные годы (рис. 3).

1) Как видно, в начальный год эксплуатации ГЭС (1957 г.) положение кривой - самое высокое (русло еще не деформировано). Однако через 8 лет (1965 г.) кривая расходов опустилась в связи с глубинной эрозией дна, дноуглубительными работами, и расходы уже не обеспечивают достижение прежних уровней воды. Кривая расходовна 2015 г показывает, что проектный уровень (67,5 мБС) не достигается и при расходе 1500 м³/с и расход нужно увеличивать.

2) Наклон кривой расходов 2015 г. стал более пологим, чем в начальные годы, то есть увеличение расхода не вызывает как прежде адекватный прирост уровней в нижнем бьефе и для достижения необходимого приращения уровня воды требуется все большее приращение расхода. Другими словами, связь между расходами и уровнями воды в нижнем бьефе во временном разрезе ослабевает.

Поэтому для достижения глубины на порогах 4,0 м необходимо понизить порог третьей нитки шлюза (третьей ступени) по крайней мере на 2,64 м (4,0–1,34) с отметкой 61,36 мБС, что приведет к понижению отметок дна на расчетном участке, изменению параметров поперечных сечений, положений кривой свободной поверхности воды и величины посадки уровней. С учетом того, что дополнительное дноуглубление для возможности подхода судов к шлюзу с пониженным порогом вызовет дополнительную посадку уровней, а также производимых на практике переуглублений в виде запасов на неровность выработки, отметка порога шлюзов третьей нитки (третьей ступени в подходном канале) принимается равной 61,0 мБС.

При данной отметке порога произведены расчеты кривой свободной поверхности воды на участке при «провальном» расходе 800 м³/с, кривая показана на рис. 3 для отметок порога 64,0м БС и 61,0м БС и результаты отражены в таблице 1.

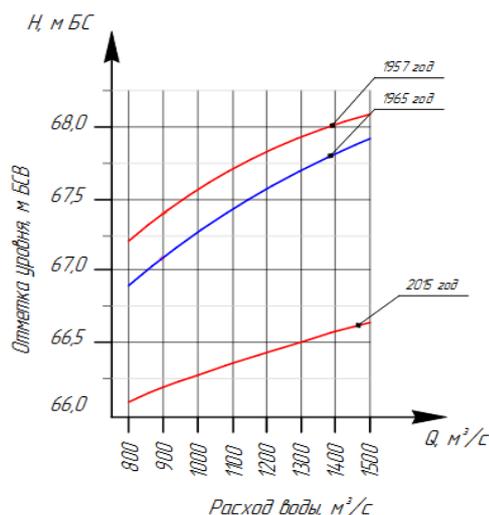


Рис. 3. Динамика изменения графика связи расхода от уровня воды по гидропоступу №7 в течение ряда лет

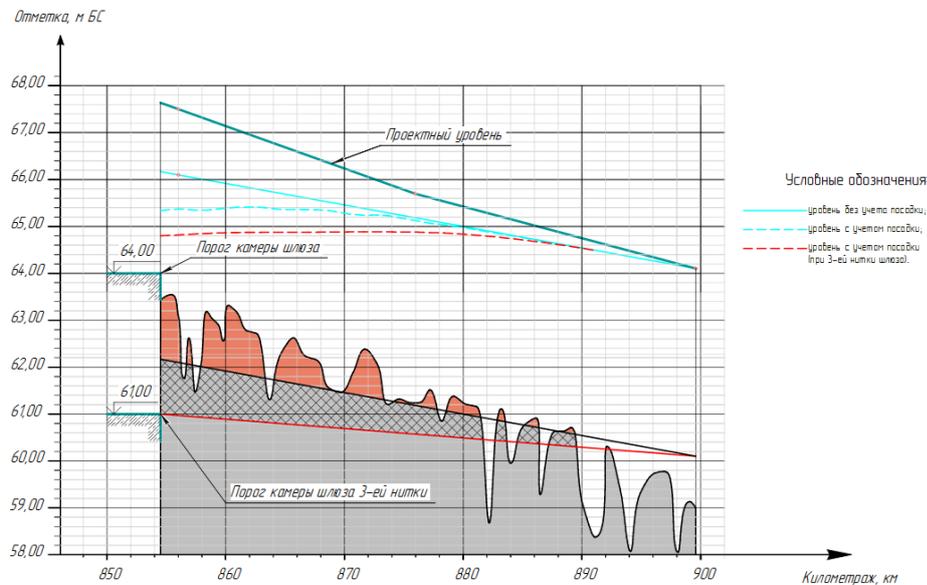


Рис. 4. Положение кривой свободной поверхности при среднесуточном расходе $800 \text{ м}^3/\text{с}$

Необходимость учета дополнительной посадки уровней при дополнительном дноуглублении судоходной прорези наглядно отражена на рис. 5, где по результатам расчета кривой свободной поверхности воды при расходе $800 \text{ м}^3/\text{с}$ и отметками порога шлюза 64,0 м БС и 61,0 м БС показано изменение глубин прорези и посадка уровней воды на участке. По данным рисунка видно, как вслед за увеличением глубин судоходной прорези увеличивается посадка уровней, особенно в случаях достижения и превышения гидравлически допустимой глубины, что имеет место в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС.

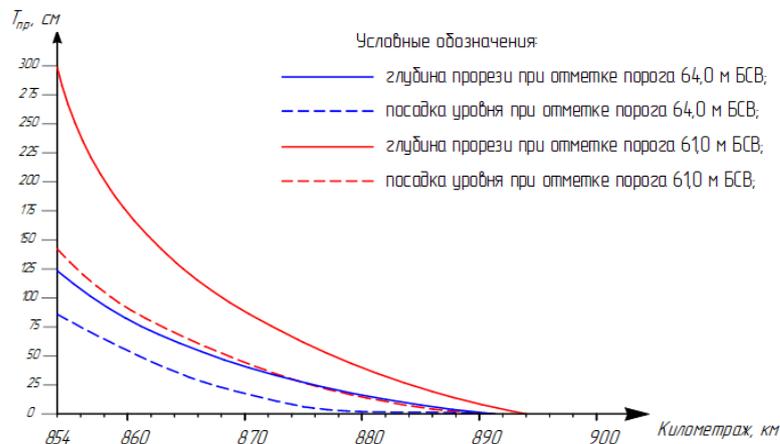


Рис. 5. Изменение посадки уровней воды и глубины прорези на 854,5–899,6 км р. Волга

При строительстве третьей нитки или третьей ступени шлюзов глубины как на пороге шлюзов третьей нитки и третьей ступени в подходном канале (3,78 м), так и на участке нижнего бьефа (минимальные 3,78 м) не достигают 4,0 м и не обеспечивают необходимых условий для судоходства на ЕГС.

Результаты выполненных расчетов показали:

1. Имеется возможность увеличения глубины как на самом участке нижнего бьефа, так и на порогах существующих шлюзов за счет повышения среднесуточных расходов через гидроузел. Однако это увеличение расходов должно значительно превышать обусловленные действующими правилами использования водных ресурсов Рыбинского и Горьковского водохранилищ ($800\text{--}1100 \text{ м}^3/\text{с}$) и даже заложенных в расчет $1500 \text{ м}^3/\text{с}$ недостаточно. Расход $1500 \text{ м}^3/\text{с}$ и его дальнейшее увеличение связано с регулированием стока каскада Волжских водохранилищ как выше, так и ниже расположенных, что при комплексном характере гидроузлов и противоречивых интересах водопользователей и водопотребителей, представляется маловероятным по возможности реализации и многолетним по решению организационных вопросов.

2. Строительство третьей нитки шлюзов или третьей ступени в подходном канале с пониженной на 3 метра отметкой порога по сравнению с существующими шлюзами № 15–16 с 64,0 м БС до 61,0 м БС, также

проблему не решает и не обеспечивает требуемую судоходную глубину 4 м. Нужно отметку порога еще более понижать, но это будет сопровождаться дальнейшей посадкой уровней воды. Число итераций с понижением отметки порогов ограничивается достижением подпора от Чебоксарского водохранилища (63,0 мБС) и отметкой порога 59,0 мБС. Но понижение свободной поверхности воды в вариантах с пониженным порогом шлюзов чревато опасными последствиями для безопасности водоподпорных сооружений Нижегородского гидроузла, работоспособности ГЭС, водоснабжения и др. Кроме того, русло нижнего бьефа будет кардинально деформировано и нужно дополнительно исследовать и дать оценку негативного воздействия на окружающую среду.

3. С точки зрения эксплуатационной, строительство третьей нитки резко ограничивает пропускную способность системы. Третья нитка с пониженным порогом вызовет большой объем дноуглубительных работ на участке нижнего бьефа, что повлечет посадку уровней воды, и глубины на порогах существующих шлюзов № 15–16 при расходах 800 м³/с составят менее 1 м, что выведет их из эксплуатации. С учетом изложенного считаем, что строительство третьей нитки (третьей ступени) не решает проблему судоходства.

Список литературы:

- [1] Инженерный центр энергетики Поволжья. Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла. Инженерно-гидрометеорологические изыскания. Отчет 07515-000-ГИДЗ-1.1.01/09.14, 2014.
- [2] Галков В.А. Исследование руслового режима и судоходных условий в нижних бьефах крупных гидроузлов. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. / В.А. Галков. – С-Пб.: ЛИВТ, 1969 г.
- [3] Векслер А.Б. Трансформация русла р. Камы в нижнем бьефе Воткинского гидроузла. / А.Б. Векслер, В.М. Доненберг. – С-Пб., ВНИИГ им. В.Е. Веденеева, 1993 г.
- [4] Мазур Г.С. Деформация русла в нижнем бьефе Иркутской ГЭС // Четырнадцатое межвузовское научно-координационное совещание / Г.С. Мазур, Т.А. Яромолук, Н.С. Бавтюк, Е.Л. Сергеев.
- [5] Вабинский З. Морфообразующая роль водохранилища Влацлавск на Висле ниже плотины. // Высшая педагогическая школа / З. Вабинский – Выдгошь, Польша, 1998 г.
- [6] Векслер А.Б. Опыт оценки трансформации русел рек в нижних бьефах гидроузлов. / А.Б. Векслер, В.М. Доненберг. – С-Пб., Известия ВНИИГ им. В.Е. Веденеева, т. 230, 1997 г.
- [7] Руководство по улучшению судоходных условий на свободных реках. // С. Петербург, 1992. – 312 с.
- [8] Гришанин К.В. Водные пути. // Учебник для вузов/ К.В. Гришанин, В.В. Дегтярев, В.М. Селезнев – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
- [9] Фролов Р.Д. Отчет по НИР «Исследование гидрологического режима нижнего бьефа низконапорного гидроузла на р. Волге, прогноз многолетних деформаций русла и обоснование глубины заложения камер шлюза» №244204. / Р.Д. Фролов. – Н.Новгород.: ВГАВТ, 2004. – 84 с.
- [10] 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.
- [11] Кривошей В.А. Нижегородский гидроузел. Быть или не быть? / В.А. Кривошей. – Астрахань.: Астраханский вестник экологического образования. № 1 (35), 2016. – 77–87 с.
- [12] Free surface profile and inception point as characteristics of aerated flow over stepped spillway: Numerical study Bentalha Chakib, Habi Mohammed Journal of Water and Land Development. 2019;42(1):42-48 DOI 10.2478/jwld-2019-0043
- [13] Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain S.M. Vicente-Serrano, J. Zabalza-Martínez, G. Borràs, J.I. López-Moreno, E. Pla, D. Pascual, R. Savé, C. Biel, I. Funes, C. Azorin-Molina, A. Sanchez-Lorenzo, N. Martín-Hernández, M. Peña-Gallardo, E. Alonso-González, M. Tomas-Burguera, A. El Kenawy Journal of Hydrology: Regional Studies. 2017;12(C):13-32 DOI 10.1016/j.ejrh.2017.01.004

ESTIMATION OF FREE SURFACE AND DEPTHS DYNAMICS IN DOWNSTREAM OF NIZHNY NOVGOROD HYDROPOWER COMPLEX WHEN CONSTRUCTING THE THIRD LINE OF LOCKS OR THEIR THIRD STAGE

*Sitnov Aleksandr N., Doctor of Engineering Sciences, professor,
head of the department of waterways and hydraulic structures,
Volga State University of Water Transport*

*Voronina Yuliya E., Candidate of Engineering Sciences, Associate professor
of the department of waterways and hydraulic structures
Volga State University of Water Transport
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951*

Keywords: water level landing, dredging, third lock line, hydraulically permissible depth, riverbed canalization

The shipping locks of the Nizhny Novgorod hydropower complex and the Gorodets-Nizhny Novgorod section limit shipping in the Integrated Deep Water System. Dredging, carried out since the 1970s to maintain design depth, has had a great impact on the water level in the downstream of the Nizhny Novgorod hydropower station. The solution of the problem of shallow depths on the site and the passage of the Gorodets locks by the vessels is possible by building a low-

pressure hydroelectric complex in the area of B. Kozino. In order to estimate the impact of the construction of the third lock line, as another alternative solution of the problem proposed by a number of authors, hydraulic calculations of the behavior of water free surface at the site and at depths were performed. The movement of the water flow in the riverbed was described by a system of differential equations of motion. As a result of the calculations, it was found that the free surface curve at a flow velocity in the range of 800–1500 m³/s does not reach the position of the curve at the design level. This indicates the insecurity of the design shipping depth on the site. Alternatives to hydraulic structures in the form of the third line of Gorodets locks or the third stage in the approach channel will not provide the necessary navigation depth. Downstream channel will be radically deformed, and additional dredging in the downstream site will lead to the water levels landing on the sills of existing locks No. 15–16 and the site.

References:

- [1] Inzhenerny ytsentr energetiki Povolzh'ya. Stroitel'stvo Nizhegorodskogonizkonapornogidrouzla. Inzhenerno-gidrometeorologicheskieizyskaniya. Otchet 07515-000-GIDZ-1.1.01/09.14, 2014.
- [2] Galkov V.A. Issledovanie ruslovogo rezhima i sudokhodnykhusloviy v nizhnikhb'efakhkrupnykhgidrouzlov. //Avtoreferatdissertatsiinasoiskanieuchenoyestepenkandidata tekhnicheskikh nauk. / V.A. Galkov. – S-Pb.: LIVT, 1969 g.
- [3] Veksler A.B. Transformatsiyarusla r. Kamy v nizhnemb'efeVotkinskogidrouzla. / A.B. Veksler, V.M. Donenberg. – S-Pb., VNIIG im. V.E. Vedeneeva, 1993 g.
- [4] Mazur G.S. Deformatsiyarusla v nizhnemb'efeIrkutskoy GES. // Chetyrnadtsatoemzhvuzovskoenauchno-koordinatsionnoesoveshchanie. / G.S. Mazur, T.A. Yaromolyuk, N.S. Bavtyuk, E.L. Sergeev.
- [5] Vabin'skiy Z. Morfoobrazuyushchayarol' vodokhranilishchaVlatslavsknaVislenizheplotiny. // Vysshaya pedagogicheskayashkola / Z. Vabin'skiy – Vydgoshch', Pol'sha, 1998 g.
- [6] Veksler A.B. Opytotsenkitransformatsiiruselrek v nizhnikhb'efakhgidrouzlov. / A.B. Veksler, V.M. Donenberg. – S-Pb., Izvestiya VNIIG im. V.E. Vedeneeva, t. 230, 1997 g.
- [7] Rukovodstvo po uluchsheniyusudokhodnykhusloviynasvobodnykhrekakh// S. Peterburg, 1992. – 312 s.
- [8] Grishanin K.V. Vodnyeputi.// UchebnikdlyaVUZov/ K.V. Grishanin, V.V. Degtyarev, V.M. Seleznev – M.: Transport, 1986. – 400 s.
- [9] Frolov R.D. Otchet po NIR «Issledovanie gidrologicheskogorezhimanizhnegob'efanizkonapornogidrouzlanar. Volge, prognoz mnogoletnikhdeformatsiiruslaibosnovanieglubiny zalozheniyakamershlyuza» №244204. / R.D. Frolov. – N. Novgorod.: VGAVT, 2004. – 84 s.
- [10] Frolov R.D. Otchet po NIR «Obosnovanieuvelicheniyaglubinysudovogokhoda r. Volginauchastke N. Novgorod - Balakhna» №214291. / R.D. Frolov. – N. Novgorod.: VGAVT, 2001. – 96 s.
- [11] Krivoshey V.A. Nizhegorodskiygidrouzel. Byt' ili ne byt'? / V.A. Krivoshey. – Astrakhan': Astrakhanskiyvestnik ekologicheskogoobrazovaniya. № 1 (35), 2016 - 77-87 s.
- [12] Free surface profile and inception point as characteristics of aerated flow over stepped spillway: Numerical studyBentalhaChakib, Habi Mohammed Journal of Water and Land Development. 2019;42(1):42-48 DOI 10.2478/jwld-2019-0043
- [13] Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain S.M. Vicente-Serrano, J. Zabalza-Martínez, G. Borràs, J.I. López-Moreno, E. Pla, D. Pascual, R. Savé, C. Biel, I. Funes, C. Azorin-Molina, A. Sanchez-Lorenzo, N. Martín-Hernández, M. Peña-Gallardo, E. Alonso-González, M. Tomas-Burguera, A. El KenawyJournal of Hydrology: Regional Studies. 2017;12(C):13-32 DOI 10.1016/j.ejrh.2017.01.004

Статья поступила в редакцию 20.10. 2019 г.