

УДК 627.83:556:532.52:532.533:532.591:532.592

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ ПРИПЛОТИННОГО УЧАСТКА НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОДХОДОВ К СИСТЕМЕ ШЛЮЗОВ ГОРОДЕЦКОГО ГИДРОУЗЛА

Шишкина Ольга Дмитриевна¹, кандидат технических наук, научный сотрудник
e-mail: olsh@ipfran.ru

¹ Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН им. акад. А.В. Гапонова-Грехова, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. На основе натуральных гидрологических и морфологических измерений исследованы закономерности формирования профиля водной поверхности на приплотинном участке нижнего бьефа Городецкого гидроузла. По данным расчетов оценены возможности регулирования посадки уровня воды на входе в подводной канал системы шлюзов.

Ключевые слова: гидроузел, нижний бьеф, приплотинный участок, морфология дна, гидрологические параметры, профиль поверхности воды.

A STUDY OF EFFECT OF MORPHOLOGY OF DAM SITE ON HYDROLOGICAL CONDITIONS OF LOWER APPROACHES OF GATEWAY TO GORODETSKY COMPLEX

Shishkina Olga Dmitrievna¹, Candidate of Technical Sciences, Research Fellow
e-mail: olsh@ipfran.ru

¹ Federal Research Center Institute of Applied Physics RAS n.a. acad. A.V. Gaponov-Grekhov, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The regularities of the formation of the profile of the water surface on the basis of hydrological and morphological field measurements in the dam section of the lower reaches of the Gorodetsky hydroelectric complex are investigated. Calculations showed the possibilities of regulation of the water level at the lower reaches to the gateway channel of the water-engineering complex.

Keywords: water-engineering system, tail water, dam site, bottom morphology, hydrological parameters, water surface profile.

Работа является продолжением исследований [1], проведенных на основе натуральных измерений параметров потока воды, формируемого на приплотинном участке нижнего бьефа Городецкого гидроузла [2].

В работе [1] по результатам замеров концентрации взвеси в водном потоке и анализа пространственной структуры поля скорости жидкости [2] был сделан вывод о существенном влиянии поперечной волновой компоненты на форму водной поверхности в исследуемой акватории.

Морфология дна на данном участке способствует разделению потока воды, выходящего из агрегатного зала плотины, на две струи. Одна из которых ориентирована вдоль водосбросного участка плотины, а вторая продолжает прямолинейное движение вниз по течению вдоль берега. Натурные исследования показали, что такая горизонтальная структура сбросного потока не имеет сезонной изменчивости [1].

Данные натурных измерений поля скорости воды в приповерхностном слое на глубине 0,6 метра приведены на Рисунке 1. Красной линией выделена часть потока, формирующего струю, ориентированную в поперечном направлении относительно сбросного потока. Диапазон скоростей поперечной струи сравним с величинами скоростей, зарегистрированными в продольном потоке.

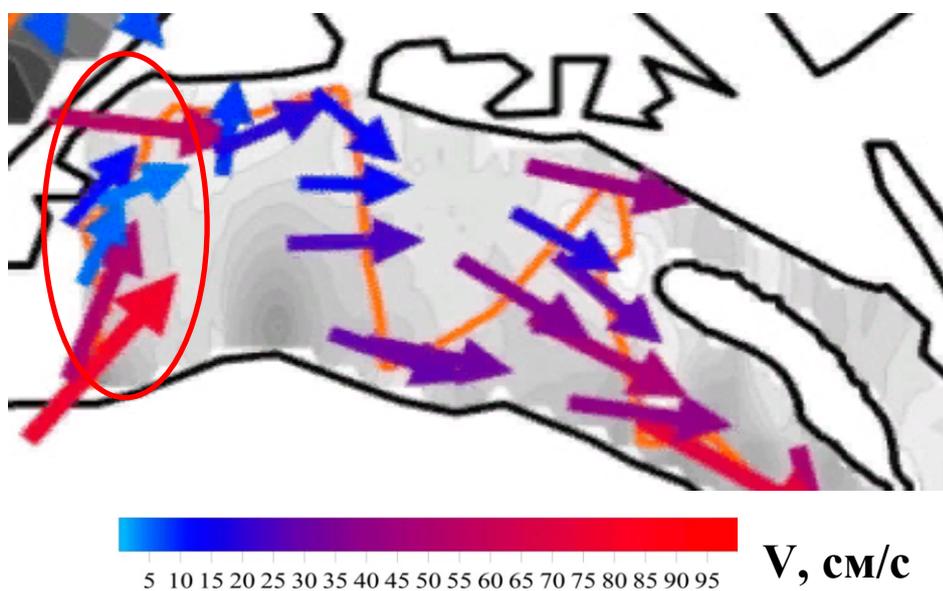


Рисунок 1 – Поле скорости потока на приплотинном участке нижнего бьефа гидроузла на глубине 0,6 м [1]

Под воздействием двух ортогонально направленных потоков на поверхности воды формируются две волновые системы, ориентированные перпендикулярно друг другу. Каждая из волновых систем, в свою очередь, состоит из нескольких гармоник.

На Рисунке 2 в качестве примера приведен результат геометрического сложения трех волновых гармоник (1-3), имеющих разную амплитуду. При этом профиль суммарной волны (4) в некотором диапазоне значений продольной координаты имеет область не только положительных, но и отрицательных величин.

Проведем численное моделирование профиля поверхности воды с учетом описанных выше особенностей структуры потока на исследуемом участке р. Волги.

Пространственное распределение вертикальной координаты суммарного волнового профиля вычисляется как результат сложения двух ортогонально ориентированных волновых поверхностей, каждая из которых является суммой нескольких волновых гармоник.

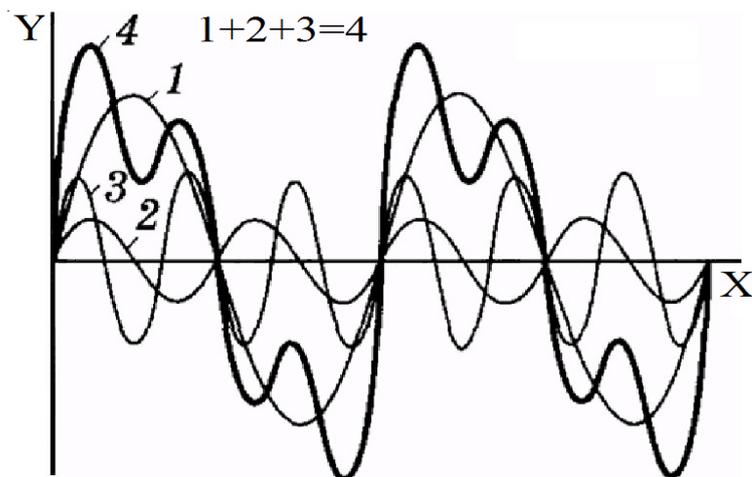


Рисунок 2 – Сложение волновых гармоник разной амплитуды

На Рисунке 3 (сверху – 3D изображение, снизу – вид в плане) представлен результат моделирования формы свободной поверхности с учетом трех продольных и двух поперечных высших волновых гармоник. Линейные размеры волнового канала в расчетах соответствовали натурным.

Длины гармоник продольной и поперечной волновой системы оценивались по данным натурных измерений поля плотности взвеси в приповерхностном слое воды на глубине 0,6 метра, представленным на Рисунке 4. Расчетные уровни водной поверхности изображены сплошными линиями с цифровой индикацией.

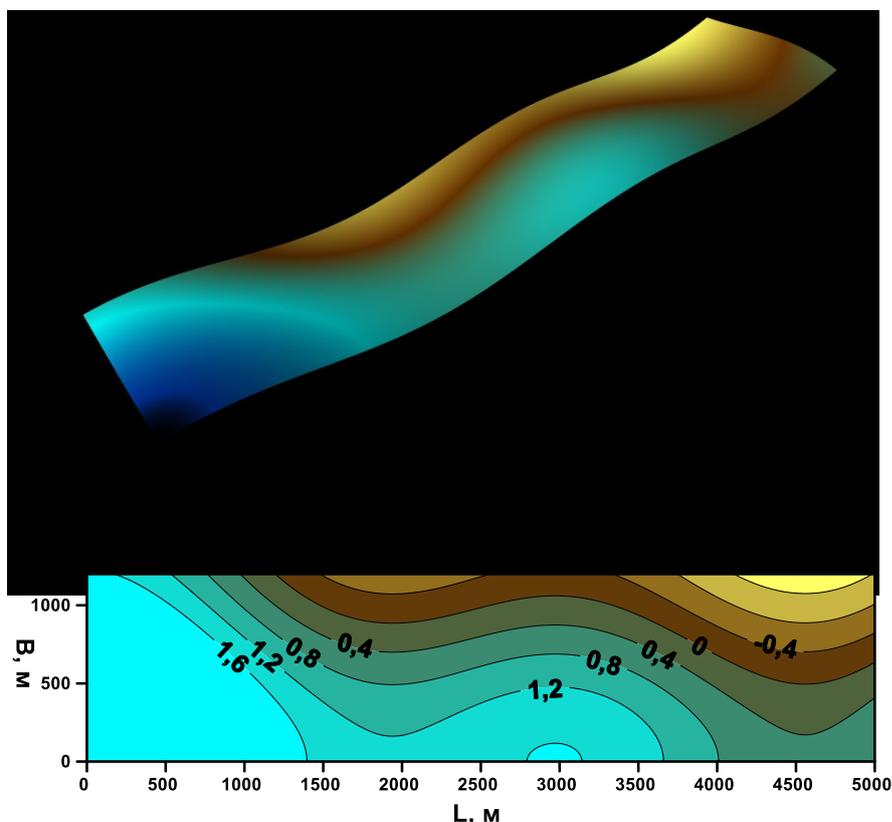


Рисунок 3 – Расчетная форма поверхности воды с учетом сложения продольных и поперечных высших волновых гармоник

Амплитуды продольных и поперечных гармоник волнового поля были получены в [2] по результатам исследования морфологических особенностей дна с применением авторской методики [3, 4].

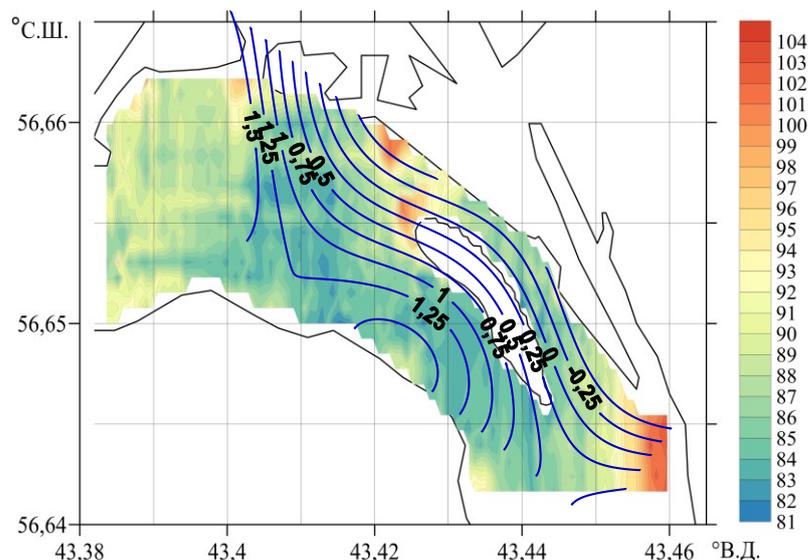


Рисунок 4 – Сравнение расчетных уровней поверхности воды с полем плотности взвеси на глубине 0,6 м

Данные расчетов волнового поля удовлетворительно описывают количественные показатели натурных замеров плотности взвеси на глубине 0,6 метра, а также характер её пространственного распределения с учетом морфологии дна. Наиболее интенсивное взмучивание происходит в зонах с неустойчивой морфологией вблизи нулей волновой поверхности с максимальными значениями вертикальной компоненты скорости жидкости.

Сравнение морфологии русла на исследуемом участке р. Волги с результатами численного моделирования формы водной поверхности представлено также на Рисунке 5.



Рисунок 5 – Верификация расчетных параметров профиля поверхности воды

Наличие интенсивного волнового движения поперек потока воды с плотины приводит к перемещению основной массы осадочных пород в поперечном направлении с формированием осередка характерной формы, соответствующей профилю расчетной волновой поверхности.

Выявленные при численном моделировании особенности волнового поля в исследуемой акватории объясняют, в частности, факт длительного отсутствия песчаных отложений на глинистом дне на участке р. Волги от г. Городец до г. Балахна.

По результатам проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы.

В работе показано, что причиной понижения уровня воды в р. Волге на подходе к подводному каналу Городецких шлюзов может быть взаимодействие двух волновых систем, возникающих в результате разделения потока с плотины на две перпендикулярные струи вследствие влияния морфологии дна на приплотинном участке.

Так как каждый из двух ортогональных потоков состоит из нескольких волновых гармоник, их наложение приводит к понижению уровня свободной поверхности как вдоль, так и поперек потока. В результате чего минимальный уровень воды формируется на подходе к подводному каналу системы Городецких шлюзов.

Данный эффект не зависит от объемов сбросного расхода воды с плотины Городецкого гидроузла. Увеличение расхода не приводит к пропорциональному повышению уровня воды на входе в подводной канал шлюзов в силу гидрофизической особенности формирования волнового поля в исследуемой акватории.

Понимание гидрофизических причин формирования профиля водной поверхности позволяет разработать методы его корректировки с целью повышения уровня воды в направлении подхода к шлюзам Городецкого гидроузла.

Автор благодарит Капустина И.А. и Доброхотову Д.В. за предоставленные данные натурных измерений.

Работа автора финансируется из средств государственного задания по программе № FFUF- 2024-0026.

Список литературы:

1. Шишкина О.Д., Капустин И.А., Доброхотова Д.В. Особенности влияния гидрологии речного потока на морфологию размываемого русла с неоднородным поперечным профилем. // Проблемы экологии Волжского бассейна («ВОЛГА-2023»): Труды 8-й всероссийской научной конференции. Выпуск 6. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2023. – URL: http://вф-река-море.пф/ECO/2023/PDF_ECO/eco58.pdf (дата обращения 07.02.2024)

2. Molkov A. A., Kapustin I. A., Grechushnikova M. G., Dobrokhotova D. V., Leshchev G. V., Vodeneeva E. L., Sharagina E. M., Kolesnikov A. A. Investigation of water dynamics nearby hydroelectric power plant of the Gorky Reservoir on water environment: case study of 2022 //Water. – 2023. – V. 15. – Iss. 17. – P. 3070.

3. Шишкина О.Д. Исследование действия речного потока на динамику осадочных пород поперечно неоднородного дна ступенчатого типа. //Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития (MGO-2022): Сборник трудов VI Международной конференции имени Л. Н. Карлина. – М.: «Перо». – 2022. – С. 245 – 249.

4. Шишкина О.Д. Исследование трансформации морфологии речного русла с поперечным профилем ступенчатого типа под действием волны попуска. // Проблемы экологии Волжского бассейна («ВОЛГА-2022»): Труды 7-й всероссийской научной конференции. Выпуск 5. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – URL: http://вф-река-море.пф/ECO/2022/PDF_ECO/eco61.pdf (дата обращения 17.05.2024)

