

ОСОБЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПОПУСКАХ ЧЕРЕЗ ГИДРОУЗЛЫ

© 2010 Е.М. Шумакова

Институт водных проблем РАН, г.Москва

Поступила в редакцию 14.12.2010

При пусках через гидроузлы возникают гидродинамические эффекты. Исследованы гидродинамические эффекты в районе Жигулевской ГЭС.

Ключевые слова: гидроузлы, гидродинамические эффекты, береговая деформация

Исследования, проведенные в последние десятилетия в районах некоторых гидроузлов показали, что пуски при зарегулированной работе ГЭС приводят к возникновению целого ряда гидродинамических эффектов. В 60-70-х годах в районе Жигулевской ГЭС Тольяттинской ГМО исследовались волны пуска, связанные с режимом работы ГЭС [4], а в конце 90-х–начале 2000-х гг. аналогичные исследования проводились в районе Рыбинской ГЭС Институтом водных проблем РАН.

Эти исследования выявили, возникновение длинноволновых возмущений, вызывающих значительное повышение скоростей течения в связи с прохождением волн пусков. Однако всегда имелось в виду волновое возмущение с периодом, соответствующим периоду возмущения (режиму работы ГЭС). При этом следует отметить, что подобные волновые возмущения не рассматривались как фактор русловых или береговых деформаций.

В настоящей работе рассмотрены волновые возмущения, возникающие во время пусков, но имеющих несравнимо меньшие периоды. Для прибрежной зоны морей и крупных озер достаточно изучены проявляющиеся в виде флуктуаций уровня на мелководье, длинноволновые движения с периодами от нескольких секунд до нескольких минут – т.н. инфрагравитационные волны (ИГ-волны). Показано, что именно они определяют поле скорости у берега [2]. Причины возникновения их носят природный характер, а переформирование дна в прибрежной зоне и прилегающих берегов могут быть весьма значительными, поскольку в колебания вовлечены значительные массы воды. На долю этих волн приходится до 80% энергии. Предыдущими исследованиями было установлено, что аналогичные динамические эффекты возникают при пусках через гидроузлы.

В последние годы авторами были проведены исследования длинноволновых движений в районе Жигулевской ГЭС. Некоторые результаты этих исследований приводятся ниже.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С РЕЖИМОМ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Для района Жигулевской ГЭС в верхнем бьефе на фоне изменений уровня воды, согласующихся с режимом выработки электроэнергии, проявляются сложные колебания уровня в 10-20 см с периодами ~ 60 мин. и колебания уровня ~0,5 м и периодами ~15-20 мин. (рис. 1), более выраженные непосредственно у ГЭС. В нижнем бьефе преобладают колебания уровня от 5-10 до 30 см с периодом ~10-15 мин. (рис. 2).

Дополняет картинухождение одиночных длинных волн с амплитудами до 50 см в моменты включения и выключения гидроагрегатов ГЭС (обычно отмечаемое два раза в сутки утром и вечером).

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОПУСКОМ ПОЛОВОДЬЯ ЧЕРЕЗ ВОДОСЛИВНУЮ ПЛОТИНУ ЖИГУЛЕВСКОЙ ГЭС

Пуски через водосливную плотину сопровождаются сложным полимодальным волновым процессом в водной среде, имеющим наибольшую интенсивность и изменчивость в непосредственной близости к водосливной плотине и затухающим на расстоянии приблизительно 8 км от нее.

Изменения уровня с периодами, лежащими в минутном диапазоне (наиболее ярко выражены периоды 6-7 и 12-15 мин.) достигают ~ 1-1,2 м. Во время подъема уровня (прохождения гребня волны) происходит усиление стокового течения до скоростей более 2 м/с. Проявляются также изменения с периодами 1-2 мин. и амплитудами в 15-20 см.

Елена Михайловна Шумакова, кандидат технических наук, научный сотрудник. E-mail: iwapr@aquas.laser.ru; spectr56@list.ru

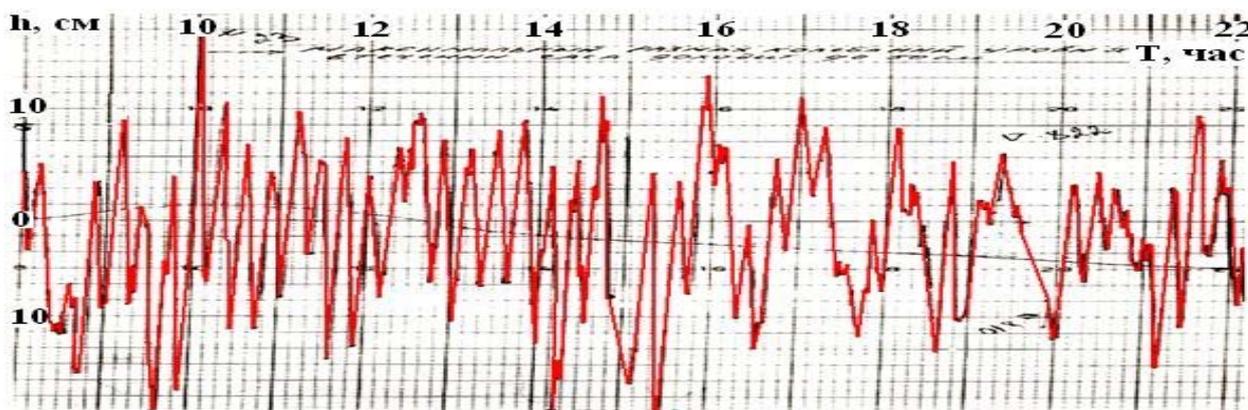


Рис. 1. Уровень воды. Пост Тольятти. ВБ. Левый берег

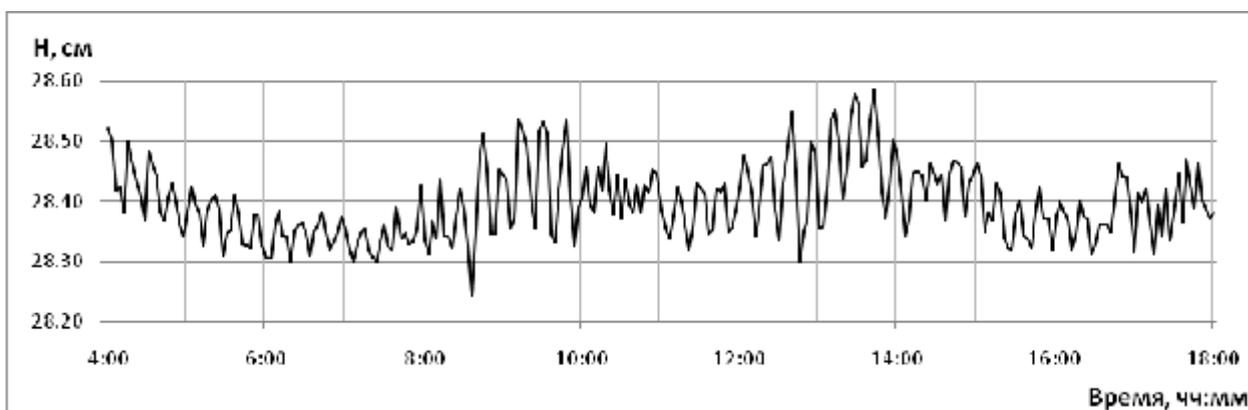


Рис. 2. Уровень воды. НБ. ОАО “Жигулевская ГЭС”. Правый берег

На фоне колебаний уровня возникает интенсивное волнение (рис. 3). Визуально оно схоже с ветровым (периоды составляют несколько секунд, амплитуды до 1-1,2 м). Это волнение имеет сложную структуру – одновременно наблюдаются волны с периодами 3-5 и 10-12 с, визуально воспринимаемые как малые и большие, волны с периодами менее 1 с и амплитудами 5-10 см, схожие с “рябью”. Волны образуют единый фронт, разворачивающийся на подходе к берегу.

Таким образом, во время попусков через водосливную плотину на участке берега, который по проектным расчетам находится в зоне установившегося потока, и потому не укреплен, наблюдается целый комплекс разномасштабных волновых процессов. Они проявляются в виде колебаний уровня с различными – от нескольких секунд до десятков минут – периодами и амплитудами от первых десятков сантиметров до нескольких дециметров.

Исходя из интенсивности гидродинамических процессов, связанных с попусками, можно разделить область влияния водосливной плотины (табл. 1):

Границы зон обусловлены особенностями русла канала водосливной плотины. Первая зона

соответствует границе сооружений водосливной плотины, включая яму размыва. Вторая зона обусловлена очертаниями левого берега и окончанием канала водосливной плотины. Третья зона соответствует единому руслу Волги. Четвертая зона начинается у разделения Волги на два рукава.

Таким образом, процесс диссипации энергии падающей воды, проходящей через гидроагрегаты, и особенно через водосливную плотину (поверхностный водосброс), сопровождается сложными полимодальными волновыми явлениями различной амплитуды и частоты (ИГ-волны), которые прослеживаются в радиусе не менее 7 км от гидроузла.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СВЯЗИ С ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ ЭФФЕКТАМИ, СОПРОВОЖДАЮЩИМИ ПОПУСКИ.

Данные о характерных высотах и периодах волн, глубинах русловой и прибрежной части, позволяют определить количественные характеристики динамического воздействия, в первую очередь, скорости возникающих течений.

Для волн с периодами ≥ 5 минут значения



Рис. 3. Волнение в нижнем бьефе Жигулевского гидроузла, возникающее при попусках через водосливную плотину

Таблица 1. Зоны интенсивного влияния водосливной плотины Жигулевской ГЭС

Расстояние от ВСП	Перепады уровня (максим.)	Высота волн, схожих с ветровыми	Дополнительные явления
менее 1 км	>0,7м	>1м	Водовороты, обрушение волн.
1-3 км	0,7м	0,7м	Фронт волнения разворачивается веером при выходе на мелководье. Обрушение волн.
3-7 км	0,2-0,3	0,2-0,3	Единый фронт волнения постепенно исчезает.
более 8 км	-	отсутствует	-

максимальной придонной скорости течения можно оценить [Айбулатов Н.А.] с помощью соотношения:

$$U = \pi h / [\tau sh(2\pi H/\lambda)],$$

где h , λ и τ - высота, длина и период волны, соответственно.

Для волн с периодами несколько часов критические донные скорости не превышают 1 см/с во всем возможном диапазоне изменения уровня воды, транспортирующая способность потока лежит в районе 0,01-0,02 см (при характерном размере части грунта 0,05 см).

Для волн с периодами 5-30 мин. и амплитудами до 0,5 м в межень и до 1 м в половодье могут возникать существенные придонные скорости при выходе волн на левобережное мелководье как выше, так и ниже ГЭС – более 5 см/с, в заливе 7,5-12,5 см/с. Волны с периодом ~1,5 минут и изменениями уровня 0,15 - 0,3 м также могут создавать существенные придонные скорости 3,7-7,5 см/с.

Таким образом, при попусках через гидроагрегаты ГЭС в результате возникновения ИГ-волн в мелководной части могут возникать значительные придонные скорости, превышающих критические размывающие для свойственного данной территории типа грунтов.

Если возможность такого явления в нижнем бьефе гидроузла ранее показана экспериментально на примере Рыбинска [1, 3], то для верхнего бьефа подобное явление показано впервые на примере Жигулевской ГЭС [5]. При сбросах воды через водосливную плотину на левобережном мелководье возникают ИГ-волны с периодами 7-25 мин. приводят к возникновению придонных скоростей более 10 см/с вблизи плотины.

Авторами была сделана попытка оценить гидродинамические эффекты, производимые волнами, схожими с ветровыми. Для этого были использованы методы расчета, разработанные для ветровых волн. В случае, когда волны при выходе на мелководье набегает на откос, использовалось соотношение [Б.А. Пышкин]:

$$V_{\max} = \eta \sqrt{\beta \frac{h}{n}}, \quad \eta = 0,3(1 + \frac{0,4}{\beta}),$$

где n – коэффициент шероховатости ~0,75,

$$\beta = 2\pi \frac{H}{\lambda}.$$

Для высот волн $h=0.75$ м при подходе к откосу, практически во всем диапазоне разброса характеристик волнения ($\lambda=1...6$ м) и изменения глубин ($H=1...6$ м) максимальные придонные скорости

многократно превышают критическую, достигая при $H=6$ м на пике половодья значения 1 м/с – критического для частиц крупностью > 10 см.

При взаимодействии волны с отвесным берегом, для расчета максимальной донной скорости использовалось соотношение [Б.А. Пышкин]:

$$V_{o.\max} = \frac{0,75\pi h}{\sqrt{\frac{\pi\lambda}{4g} sh4\pi \frac{H}{\lambda}}},$$

где h – высота волны, H – глубина, l – длина волны, $H > H_{кр}$ – глубина, при которой волна разрушается.

Расчеты для высоты волны 0,75 м, типичных значений длины волны 3-5 м и глубине 1-3 м дают максимальные значения придонных скоростей ~ 1 м/с.

ВЫВОДЫ

Таким образом, несмотря на то, что достаточно сложно соотнести деформации берегов с действием конкретного фактора, уже сейчас можно

сказать, что протяженность берегоукреплений в районе гидроузлов, рассчитанных без учета длинноволновой составляющей переноса энергии попусков, будет недостаточна. Планирование мероприятий по дальнейшему укреплению берегов должно проводиться с учетом гидродинамических эффектов, связанных с этой составляющей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дебольский В.К., Ещенко Л.А., Котляков А.В. и др. Динамика течений в нижнем бьефе Рыбинского гидроузла и ее экологическая оценка. Водные ресурсы, 2005, Т.32, №3, с.274-281.
2. Ещенко Л.А., Шитилова Л.В. Низкочастотные волновые движения и их связь с рельефами мелководий. Геоморфология, 1994, №3, с.62-69.
3. Котляков А.В. Переформирование берегов в русле нижнего бьефа гидроузла. Дисс... канд. геогр. наук. М., 2003.
4. Куйбышевское и Саратовское вдхр. Под ред. П.Ф.Чигиринского и В.А.Знаменского. Серия Гидрометеорологический режим озер и вдхр. Л., Гидрометеониздат. 1978 г.
5. Шумакова Е.М. Особенности береговых процессов на приплотинных участках ГЭС (на примере Жигулевской ГЭС). Дисс... канд. техн. наук. М., 2008.

SPECIAL HYDRODYNAMIC EFFECTS CAUSING DURING THE LETTING IN WATER THROUGH THE HYDROMOUNTS

© 2010 E.M. Shumakova

Institute of Water Problems of Russian Academy of Science, Moscow

On hydroknots there are hydrodynamic effects. Hydrodynamic effects around Zhigulevsk hydroelectric power station are investigated.

Key words: hydro-mounts, hydrodynamic effects, bank deformation