

## 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

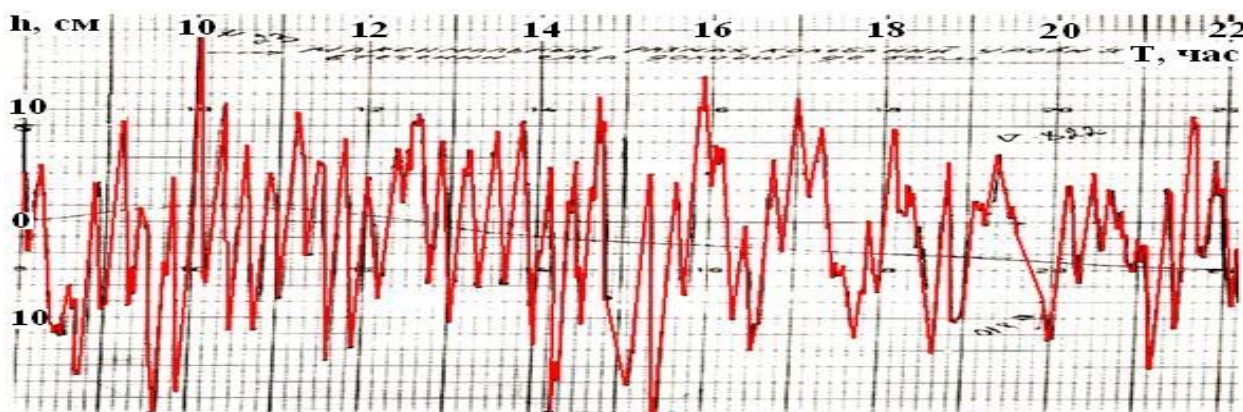


Рис. 1. Уровень воды. Пост Тольятти. ВБ. Левый берег

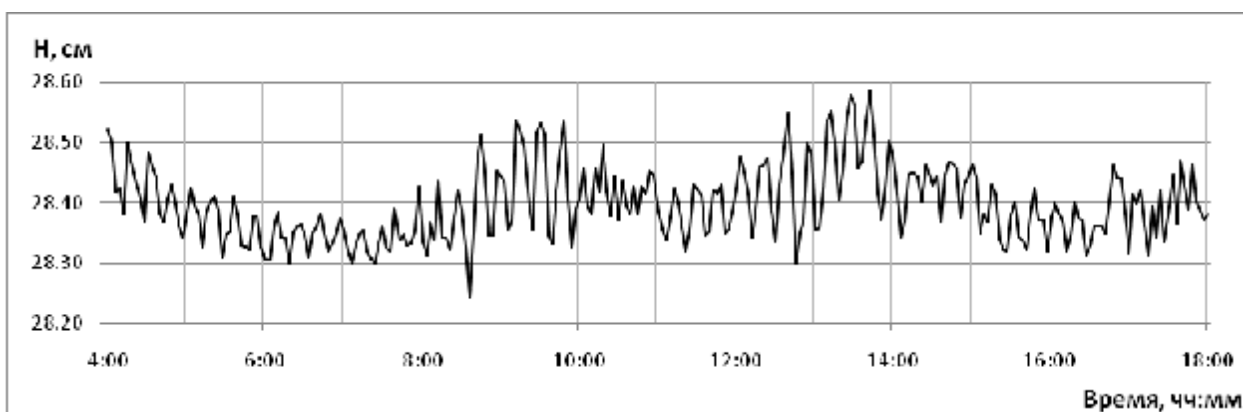


Рис. 2. Уровень воды. НБ. ОАО “Жигулевская ГЭС”. Правый берег

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  $\geq 5$  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  $h, \lambda$  и  $\tau$  - 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  $\sim 1$  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