

## **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**Спирин Е.С., Кирилов К.В., Якшина А.А.**

**Научный руководитель – д-р техн. наук Похабов В.И.**

*Сибирский Федеральный Университет*

В 1997 году введен в действие федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» (№ 117-ФЗ) он регламентирует прогнозирование возможных ЧС на функционирующих подпорных гидротехнических сооружениях и последствия аварий и катастроф. Подобный закон введен во многих странах намного раньше (Франция 1895, США 1928, Англия 1935)

Несмотря на введение закона, положение на многих гидротехнических сооружениях остается тревожным.

В 1996-1997 было проведено водолазное обследование водосливной плотины Березовской ГРЭС-1[2]. В результате обследования была обнаружена сквозная трещина на разделительном бычке водослива и каверна в бетоне водобойного колодца обоих пролетов водосброса.

Согласно проектной разбивке на блоки бетонирования строительные швы должны были выходить на водосливную грань по нормали к кривой, отображающей водосливную поверхность. Так же необходимо было выполнить уступ высотой не менее 0.3 м. Несмотря на предписания проекта, существующая схема была упрощена – шов между блоками бетонирования выполнен горизонтально, без какого-либо уступа.

Результаты проведенного обследования показали что после строительства плотины напряженное состояние по основанию значительно изменилось: произошла разгрузка в нижнем бьефе и пригрузка в верхнем. Эти неучтенные изменения были вызваны неудачным выбором профиля основания. Плотина возводилась на выступе, что привело к возникновению растягивающих усилий в теле плотины.

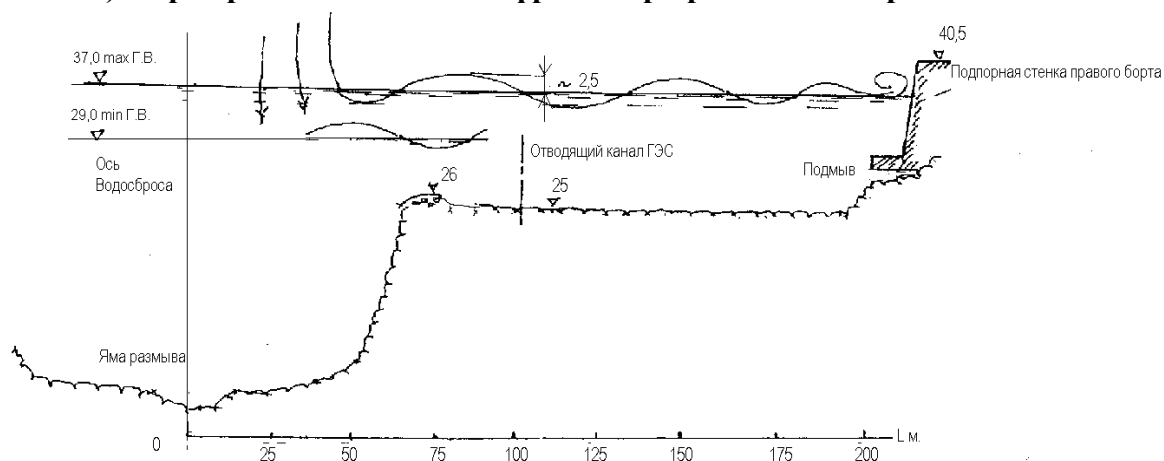
Значительные волновые нагрузки могут иметь место на контакте основание – подпорное сооружение гидроузла. Например, на Курейской ГЭС в результате подводного обследования, проведенного в 2007 г. Были обнаружены дефекты:

- подмывы под бетонную облицовку с правого борта отводящего канала ГЭС
- подмывы глубиной до 6 м. под подпорные стенки левого борта отводящего канала ГЭС. (см. рис. 2)

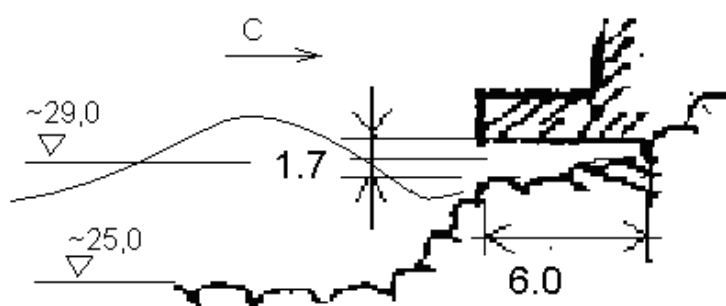
Согласно результатам обследования по волновому фронту радиусом 108 м удельный расход равен 11,65 м<sup>2</sup>/с. Средняя скорость потока на погонный метр волнового фронта при глубине 12 м. относительно дна отводящего канала ГЭС не превышает 1 м/с, при этом кинетическая энергия – Э<sub>к</sub> единицы объема жидкости равна 0,05 кГм. Энергия единицы объема Э<sub>п</sub> падающего с носка трамплина потока равна 13260кГм. Таким образом Э<sub>п</sub> >> Э<sub>к</sub>.

Следовательно, эти подмывы являются следствием воздействия волнового эффекта. Наиболее вероятная амплитуда волны 2.5 м., длина волны 64 м. при скорости 10 м/с.

### а) Формирование волнового фронта при работе водосброса



### б) Волновое воздействие при min Г.В.



**Рис. 2. Подмывы под бетонную подпорную стенку левого берега отводящего канала Курейской ГЭС**

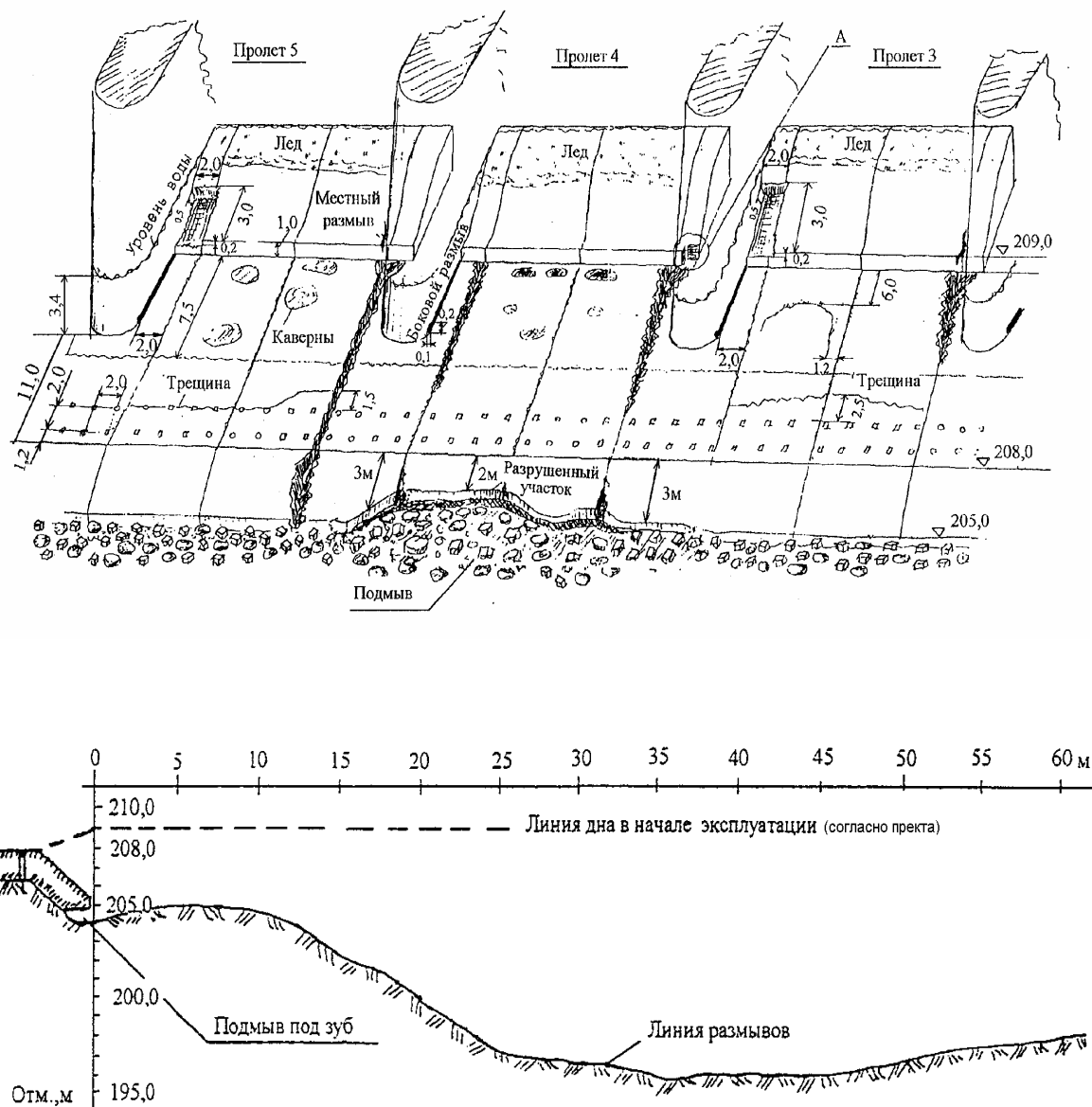
Есть и другие примеры волнового воздействия на сооружения и берега. Например на Красноярской ГЭС имеется подмыв бетонных креплений левого берега ниже высоконапорной гидравлической лаборатории (ВГЛ). В 2006 г.г. во время холостых сбросов расчетных паводковых расходов через эксплуатационный водосброс на участке берегоукрепления длиной около 120 м от бетонных сооружений ВГЛ и под сопрягающей стенкой ВГЛ на участке длиной около 23 м, примыкающем к верховому бетонному массиву берегоукрепления, произошел размыв основания, частичное или полное разрушение бетонных плит крепления откосов, смещение от исходного положения бетонных массивов, в том числе вынос в яму размыва одного массива и значительное смещение в сторону ямы размыва двух других массивов.

В связи с тем, что существующие разрушения являются опасными с точки зрения безопасной эксплуатации сооружения, выполнены ремонтно-восстановительные работы.

Разрушение креплений нижних бьефов на Красноярской ГРЭС-2 и на Южно-Кузбасской ГРЭС свидетельствует о недоучете в проектных решениях гидродинамического воздействия на конструкции водобойных сооружений (см. рис. 3).

Пропуск паводков через плотину Красноярской ГРЭС-2 серьезно осложняется необходимостью сброса льда в связи с тем, что водохранилище, сооруженное на р. Кан, имеет малую емкость, недостаточную для таяния льда. В верховьях водохранилища образуются заторы, при прорыве которых резко возрастает расход воды, пропускаемый через водосливную плотину. Скорость потока в нижнем бьефе плотины достигает 6 м/с без учета сбойных течений. Визуальные наблюдения в период пропуска паводка свидетельствуют, что сбросный поток в колодце не затапливается, а перехлестывает в форме волны через водобойную стенку.

На водосливной плотине ЮК ГРЭС возведенной на р. Кондоме с самого начала эксплуатации на режим сопряжения бьефов существенное влияние оказывало понижение уровня нижнего бьефа, обусловленное карьерными разработками гравийно-галечного материала из русла реки. При этом скорость на водобое при пропуске расчетных расходов значительно превышает 4 м/с.



**Рис. 3. Размывы в нижнем бьефе водобойных участков ЮК ГРЭС и КрГРЭС-2**

Также отмечаются многочисленные примеры предаварийного состояния плотин по причине трещинообразования

Например на напорной грани плотины Саяно-Шушенской ГЭС при наполнении водохранилища на напорной грани развились (в настоящее время устранены герметизацией раствором на основе эпоксидных смол) продольные трещины на глубине 140 - 160м [5,6,7]. Напорная грань на этом участке превратилась в «слоеный пирог», через который развилась опасная фильтрация в теле плотины. Обследовать этот «слоеный пирог» не удалось, так как эта зона оказалась закрытой утеплителем, который не сняли после проведения бетонных работ зимой, что являлось отступлением

от проекта. Поэтому все оценки были выполнены косвенным образом. Но подобные трещины разных раскрытий могут развиваться на всех высоконапорных плотинах.

На Братской плотине имело место нарушение контакта плотина-основание, что привело к повышенному фильтрационному давлению в основании сооружения. На Усть-Илимской плотине на напорной грани на глубине, приближающейся к 100 метрам, развились трещины, обуславливающие возникновение очагов повышенной фильтрации со значительным фонтанированием в потернах. На Кировской плотине раскрытие контактного шва отмечено при 60%-ой нагрузке от проекта.

#### Выводы

Краткий обзор работы гидротехнических сооружений при гидродинамических воздействиях позволяет сделать следующие выводы:

1. Для изменения явления трещинообразования, аналогичному на бычке водосливной плотины Березовской ГРЭС-1 необходимо тщательно анализировать возможные изменения напряженного состояния основания до и после строительства гидроузла. Не следует допускать условий при которых напряжения в основании после строительства гидроузла в верхнем и нижнем бьефах значительно отличаются друг от друга. При этом следует учитывать возможные дополнительные деформации с учетом особенностей контура подземной части.

При производстве бетонных работ не следует без согласования с проектной организацией изменять конструкции блоков бетонирования, а также схемы разрезки тела сооружения на конструктивные и осадочные швы

2. Пример Курейской ГЭС показывает, что при пропуске паводковых расходов через водосбросы возможны мощные волновые явления способные разрушать естественные основания бетонных облицовок и подпорных стенок.

Особенно неблагоприятными являются условия, когда волны формируются при минимальных отметках нижнего бьефа. В этих условиях высота волны становится соизмерима с глубиной, что повышает интенсивность эффекта разрушения (см. рис 2)

3. Примеры разрушений водобойных участков водосливных плотин КрГРЭС-2 и ЮК ГРЭС свидетельствуют о нерешенности вопросов обеспечения устойчивости водобоев от гидродинамических воздействий

4. Требуется постоянный контроль за работой высоконапорных гидроузлов.

5. Обзор показывает, что в настоящее время актуальными являются проблемы совершенствования методов оценки гидродинамических и волнового воздействий в нижних бьефах гидроузлов, а также методов подводного мониторинга гидротехнических сооружений.

6. Безопасность гидротехнических сооружений на водобойных участках зависит от оптимальной (рациональной) схемы пропуска паводковых расходов. Оптимизация сброса паводковых расходов в нижний бьеф нередко позволяет значительно снизить гидродинамические нагрузки на сооружения водобойных участков и предотвратить паводковые наводнения.