

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИГУЛЕВСКОЙ ГЭС И ПРИМЫКАЮЩИХ К НЕЙ ТЕРРИТОРИЙ

© 2010 С.В. Симак¹, Е.М. Шумакова²

¹ Самарский муниципальный университет Наяновой

² Институт водных проблем РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 14.12.2010

Рассматриваются вопросы, связанные с комплексным обеспечением безопасности при эксплуатации Жигулевской ГЭС

Ключевые слова: гидросооружения, эксплуатация, безопасность, обеспечение

В связи с аварией на Саяно-Шушенской ГЭС встает вопрос об обеспечении безопасности других гидросооружений, в том числе каскада Волжских ГЭС, расположенных в густонаселенных районах.

Жигулевская ГЭС, расположенная в средней части Волги - одна из крупнейших в мире гидроэлектростанций, шестая ступень и вторая по мощности в Волжском каскаде ГЭС. Водосборная площадь бассейна Волги в створе гидроузла составляет 87 % всей площади бассейна реки. Среднегодовой сток Волги в створе гидроузла составляет 241 км³ (минимальный - 145 км³ - зафиксирован в 1921 г., максимальный - 366 км³ - в 1926 г.). 62% стока проходит при весеннем половодье, среднегодовой объем которого составляет 161 км³.

Жигулевская ГЭС размещена на мягких грунтах - глинах и песках. Особенностью компоновки гидроузла является раздельное расположение здания ГЭС и водосливной плотины, предназначенной для пропуска половодья.

Здание электростанция расположено на правом берегу Волги в устьевой части оврага, основано на глинах, имеет длину 600 м, ширину 100 м и высоту от подошвы до кровли 80 м. Здесь расположены 20 вертикальных гидроагрегатов проектной мощностью по 115 тыс. кВт, рассчитанных на работу при напорах от 14 до 30 м.

Конструктивной особенностью гидроэлектростанции являются донные водосбросы, которые могут использоваться для сброса половодного стока Волги. Наличие таких устройств позволило при строительстве сократить на одну треть длину водосливной плотины. В расчетное половодье через здание гидроэлектростанции может

быть пропущен расход воды 29600 м³/с, в том числе через донные водосбросы - 18000 м³/с.

Бетонная водосливная плотина протяжением ~ 1 км расположена на левобережье поймы Волги на аллювиальных отложениях. Водосливной фронт плотины разбит на 38 отверстий по 20 м, перекрытых плоскими затворами. Максимальный статический напор на плотину - 30 м. Согласно проекта в половодье затворы водосливной плотины первоначально открываются на пропуск расхода до 14136 м³/сек, по мере дальнейшего повышения расходов воды вводятся в действие донные водосбросы ГЭС вплоть до расходов 18000 м³/с, и лишь затем вновь увеличиваются расходы воды через водосливную плотину, которая при пропуске экстремального весеннего половодья обеспеченностью 0,01% теоретически может пропускать 55000 м³/с из общего расхода воды 83700 м³/с.

Жигулевская ГЭС является регулирующей в каскаде. Планирование пропуска половодья через каскад волжских ГЭС осуществляется ФАВР. До настоящего времени не существует современной автоматизированной системы планирования пропуска половодья, хотя по сведениям ОАО «Жигулевская ГЭС» подобная система находится в стадии разработки. Задание по сбросу (суммарный среднесуточный сброс), устанавливаемое ФАВР, мало отличается год от года, в основном, датой начала. При этом остается возможность перераспределения суммарных сбросов через Жигулевскую ГЭС между зданием ГЭС и водосливной плотиной. С момента ввода гидроузла в эксплуатацию вплоть до 2003 г. все проблемы с попусками решались за счет увеличения холостых попусков через водосливную плотину сверх цифр, установленных проектом. Продолжительность этого периода и мгновенные расходы воды через водосливную плотину могут существенно изменять год от года при одинаковых суммарных расходах воды (рис. 1): в 2001 г.

Сергей Владимирович Симак, кандидат биологических наук, доцент, проректор по научной работе.

E-mail: tpi@naunova.edu.

Елена Михайловна Шумакова, кандидат технических наук, научный сотрудник. E-mail: iwapr@aqua.laser.ru

холостые сбросы через водосливную плотину превышали 16 000 м³/с 25 дней, а в 2005 г. - 10 дней (16000 м³/с – определенное экспериментально значение, свыше которого развиваются неконтролируемые резонансные явления на водосливной плотине).

С 2003 г. ОАО «Жигулевская ГЭС» стала использовать донные водосбросы, уменьшая тем самым попуски через водосливную плотину практически до проектных отметок (по причинам, о которых пойдет речь далее). Однако попуски через донные водосбросы никогда не были существенными. Так, в 2003 г. расходы через донные водосбросы доходили до 3,7 м³/с, использовались они 13 дней, в 2005 г. расходы доходили до 3650 м³/с, использовались они 30 дней, в 2009 г. - до 2600 м³/с. В 2004 г. и 2006 г. донные водосбросы не были задействованы. Таким образом, за полвека существования гидроузла донные водосбросы ни разу не использовались на полную проектную мощность.

В связи с этим возникает проблема пропуска экстремального половодья. Значительное увеличение попусков через донные водосбросы неминуемо приведет к началу новой волны русловых и береговых деформаций непосредственно у здания ГЭС.

Русловые процессы в нижних бьефах ГЭС связаны с многолетним, сезонным, недельным и суточным регулированием стока, а также волнами попусков, неполным гашением энергии потока, выходящего из турбин ГЭС. После перекрытия русла плотиной размыв концентрируется на узком приплотинном участке, распространяется ниже по течению, происходит перестройка продольного и поперечного профилей

русла, повышается устойчивость русла за счет укрупнения размеров отложенных в русле наносов, затем эти процессы ослабевают, происходит относительная стабилизация продольного профиля. На равнинных реках эта стадия наступает примерно через 80–100 лет, а значит срок, прошедший с момента строительства Жигулевской ГЭС, недостаточен для стабилизации профиля русла. Резкие изменения в режиме работы гидроузла, например, полное открытие донных водосбросов и увеличение расходов воды через здание ГЭС, могут привести к началу новой волны деформаций, возможные последствия которых желательно оценить заранее.

В то же время неиспользование донных водосбросов в случае экстремального половодья приведет к увеличению попусков через водосливную плотину, усилению интенсивности сопровождающих попуски своеобразных гидродинамических эффектов инфрагравитационного диапазона как в водной среде (инфрагравитационные, или ИГ-волны), так и в грунтах, слагающих берега, где возникают интенсивные вибрации, о которых пойдет речь далее.

ИГ - волны могут приводить к интенсификации деформаций на мелководье и даже нарушению устойчивости гидросооружений, как в случае дамбы на п-ове Копылово. ИГ - волны представляют опасность вследствие малой изученности, отсутствия нормативов для их учета при проектировании нижних бьефов. Кроме того, ИГ-волны, первоначально возникающие в водной среде, возможно, играют существенную роль в сверхдальнем распространении механических колебаний (вибраций), выполняя роль “несущей частоты”. На это указывает совпадение

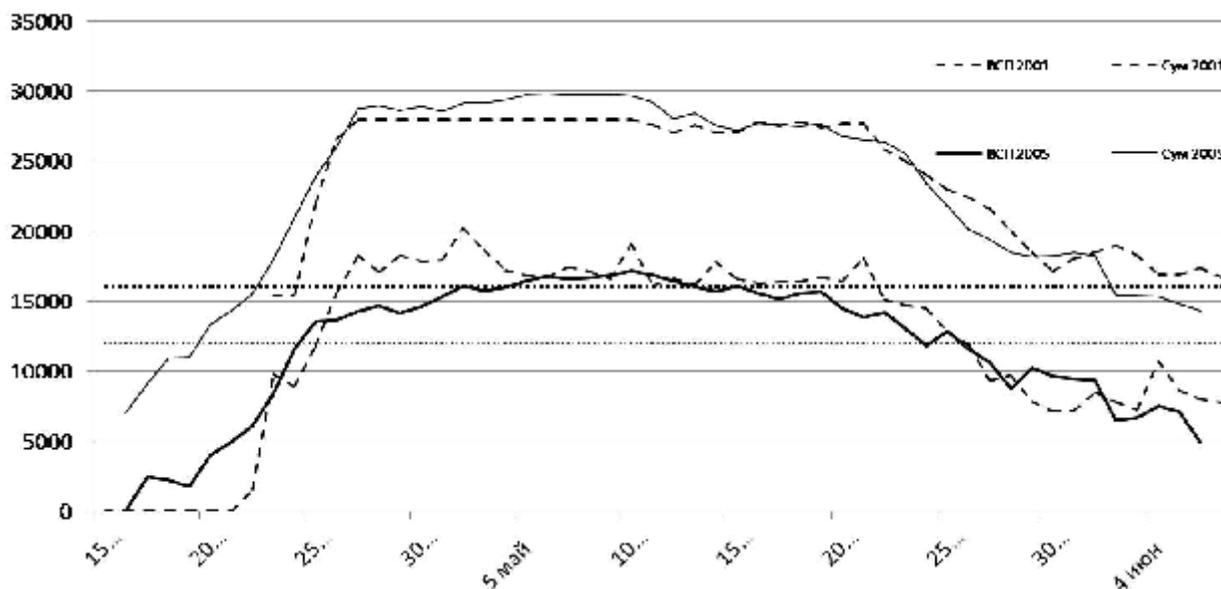


Рис. 1. Сравнение параметров пропуска половодья через гидроузел Жигулевской ГЭС в 2001 и 2005 г.

периодов некоторых волн в водной среде и в грунтах, слагающих берега.

Увеличение попусков через водосливную плотину вызовет усиление вибраций грунтов, увеличение динамической нагрузки на основания здания левобережья.

Приходится выбирать между ростом вибрационной нагрузки на территории г. Тольятти при увеличении попусков через водосливную плотину и активизацией русловых размывов непосредственно у здания ГЭС. С точки зрения безопасности гидроэлектростанции результаты действия интенсивных вибраций на левобережье проявляются медленнее, оставляя время для возможности ликвидации последствий. Однако в целом последствия могут оказаться сопоставимыми по масштабам.

Необходимо инициировать работы по пересмотру нормативной базы по порядку пропуска половодий, в том числе, экстремальных с учетом вероятности развития русловых деформаций

при использовании на данном этапе эксплуатации донных водосбросов в здании ГЭС на полную проектную мощность, и в то же время с учетом увеличения динамической нагрузки на здания левобережья при увеличении попусков через водосливную плотину. Должна быть создана модель оптимизации распределения рисков между угрозой усиления русловых размывов у здания ГЭС и угрозой усиления вибрация на левобережье при перераспределении попусков между ГЭС и водосливной плотиной.

Вибрационное воздействие при работе гидроэлектростанций (в случае Тольятти при работе водосливной плотины) - это принципиально новое воздействие, последствия которого в настоящий момент трудно предсказать. Здесь требуется организация сейсмического мониторинга вблизи всех крупных гидроузлов (сейчас он практически отсутствует), разработка специальных нормативов. Вибрационное воздействие не ограничивается зданием ГЭС, а захватывает зна-



Рис. 2. Характерный вид разрушений строительных конструкций домов в районе Жигулевской ГЭС:

- а) косые и X-образные трещины в торцовых панелях зданий;
- б) косые трещины от углов оконных проемов в ограждающих панелях;
- в) обрушение торцов кирпичной кладки лоджий, выступающих в плане;
- г) трещины в несущих конструкциях крупнопанельных зданий (проявляются через ~20 лет эксплуатации).

чительные территории в радиусе до нескольких километров. Первоначально это явление получило известность на примере Жигулевской ГЭС, в дальнейшем схожие процессы отмечены в районе Волгоградской ГЭС, Загорской ГАЭС. Вибрации, действуя аналогично сейсмической нагрузке, могут приводить к нарушению устойчивости склонов и разрушению расположенных там объектов. Кроме того, в районе Жигулевской ГЭС частоты вибраций, генерируемых водосливной плотиной, совпали с частотами собственных колебаний практически всех жилых домов, расположенных в радиусе 2-4 км. Из расположенных здесь ~300 жилых домов около 200 относительно новых (в основном, введенных в эксплуатацию после 1978-1979 гг.) домов имеются различные разрушения строительных конструкций (рис. 2).

При наличии уклонов местности, например, на прибрежных склонах, вибрации усиливаются, появляются деформации оснований и самих зданий, разрушения межпанельных стыков. Наблюдается динамика разрушений (рис. 3), здания постоянно требуют поддерживающего ремонта.

Район Жигулевской ГЭС оказалась фактически единственным, где осуществляется с 1998 г. непрерывный сейсмический контроль, организованный администрацией ближайшего к плотине района г. Тольятти в связи с жалобами населения на ощутимые вибрации.

Данные этого контроля позволили установить основные закономерности вибрационного воздействия гидроузла. Наиболее масштабную нагрузку на территории левобережья создает пропуск половодья. Интенсивность вибрации приповерхностных слоев грунтов прямо пропорциональна мощности холостых попусков через водосливную плотину (рис. 4).

Экстраполируя зависимость интенсивности вибраций в область предельных холостых попусков через водосливную плотину ($55000 \text{ м}^3/\text{с}$ при пропуске половодья обеспеченностью $0,01\%$), получаем значения средних скоростей вибраций приповерхностных слоев грунта $73 \text{ мкм}/\text{с}$, тогда как значения более $10 \text{ мкм}/\text{с}$ уже считаются значимыми, а сейчас средние значения скоростей вибраций на уровне грунта составляют $25-27 \text{ мкм}/\text{с}$. Таким образом, увеличение попусков через водосливную плотину может привести к существенному увеличению интенсивности вибраций грунтов на окружающей территории.

Вопросы обеспечения безопасности гидроэлектростанции, жилого фонда долгое время отодвигали на задний план вопросы обеспечения комфортности проживания населения на приплотинных участках. Однако уже при холостых попусках $10000-12000 \text{ м}^3/\text{с}$ вибрации превышают санитарные нормы, установленные для жилых помещений. Воздействие вибрации именно это-

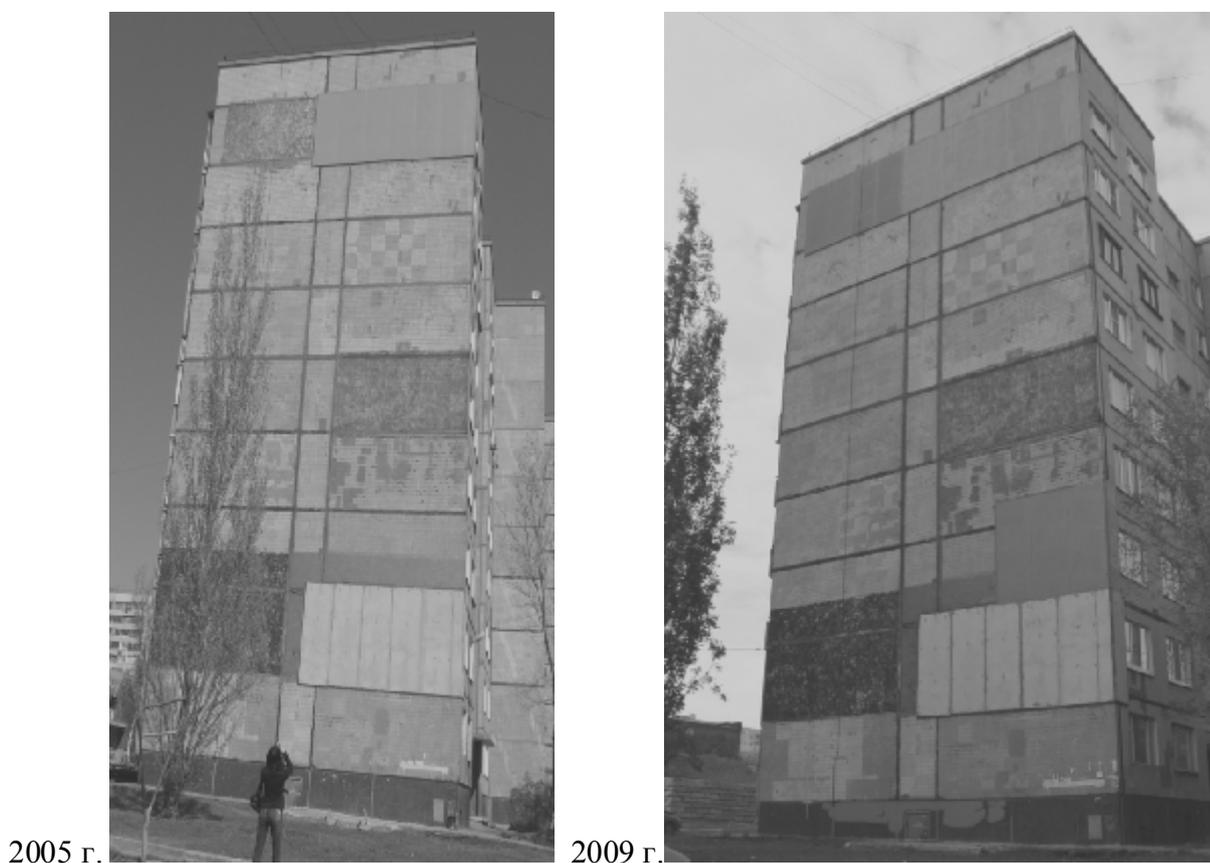


Рис. 3. Динамика разрушений на примере одного из зданий

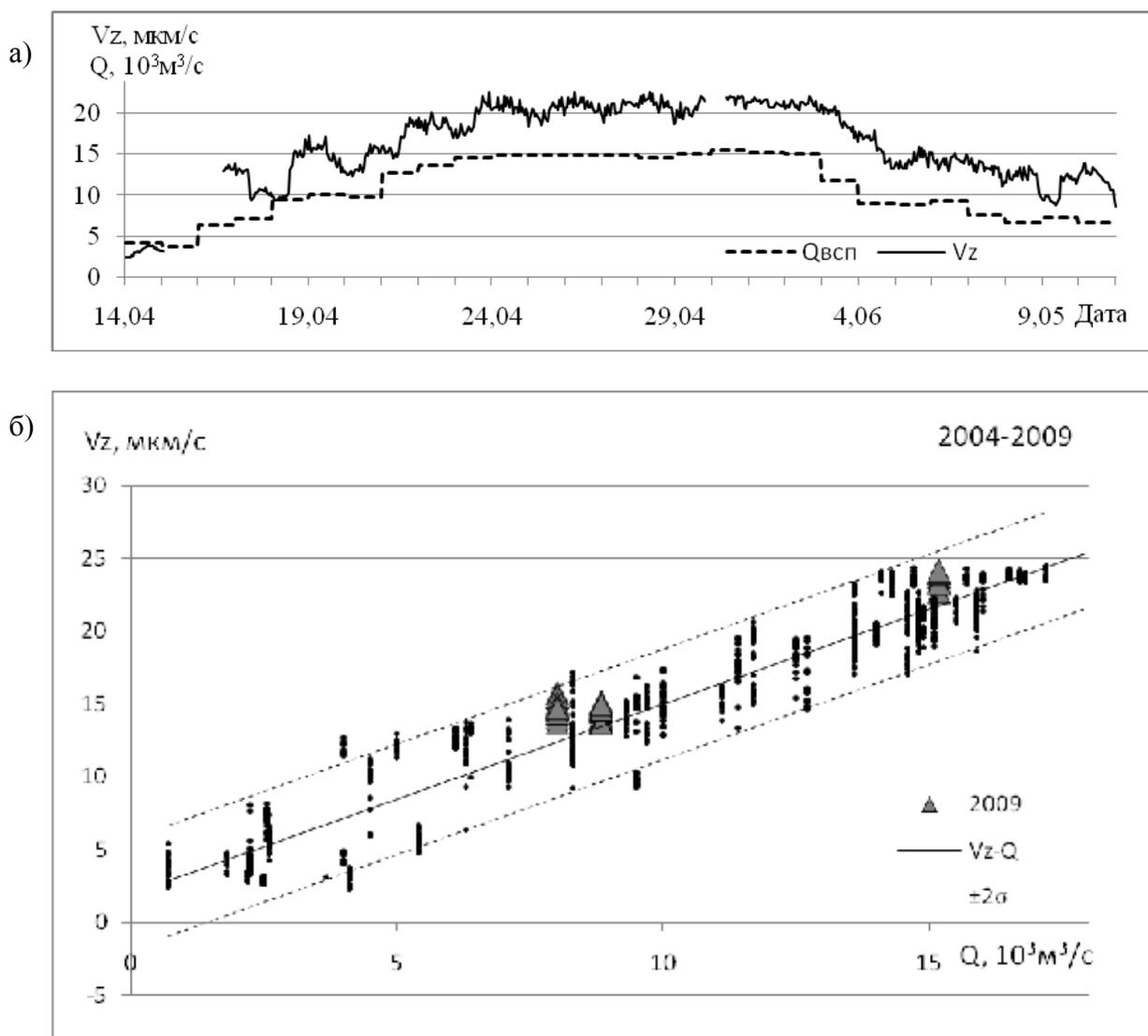


Рис. 4. Характерный график изменения (а), зависимости (б) интенсивности вибраций грунтов и расходов воды через водосливную плотину Жигулевской ГЭС (2004-2009 гг.)

го амплитудно-частотного диапазона и продолжительности непрерывного воздействия никогда не изучалось. Проведенный в 2009 г. опрос жителей одного из жилых домов показал, что из жителей верхних этажей 79% замечают ухудшение состояния здоровья в период работы водосливной плотины, на 32% вибрация действует угнетающе, головокружение отмечают 53% опрошенных, чувство тошноты – 32%, изменения АД – 42%, чувство тревоги, страха – 42%, ухудшение сна – 32%. То есть налицо все симптомы, отмечаемые при воздействии интенсивных промышленных вибраций. Вопрос воздействия вибрации на жителей требует самого серьезного внимания.

Это еще раз подчеркивает важность задачи создания модели оптимизации распределения рисков между угрозой усиления русловых размывов у здания ГЭС и угрозой усиления динамических эффектов в водной среде и вибраций грунтов на левобережье.

Отдельно существует вопрос о причинах скачкообразного усиления интенсивности вибраций, которое произошло в 2003 г. Несмотря на попытки, это явление пока не получило объяснения. Оно фиксируется аппаратурой сейсмостанции как в меженный, так и паводковый период. Усиление носит нелинейный характер, зависит от мощности попусков. Так, для водосливной плотины при попусках 5 тыс. m^3/c коэффициент усиления составляет 1,7; при 10 тыс. m^3/c – 2,2; при 15 тыс. m^3/c – уже 2,5.

Возможно, что на интенсивность возникающих при попусках динамических эффектов могут оказывать существенно влияние конструктивные особенности гидросооружений, в том числе, очертания фрагментов изменяемой геометрии (ямы размыва). В этом случае оптимизация их формы и ее поддержание может привести к существенным эффектам. В связи с этим предлагается провести лабораторные экспери-

менты по изучению возможности оптимизации возникающих при попусках гидродинамических эффектов ИГ - диапазона.

В связи с тем, что вибрации - принципиально новое воздействие, последствия которого в настоящий момент трудно предсказать, требуется разработка специальных нормативов, в том числе по строительству на приплотинных участках. К сожалению, информация о наличии вибрационно-го воздействия не останавливает процесс застройки ближайших приплотинных участков.

ВЫВОДЫ

Для обеспечения безопасности Жигулевской ГЭС необходимо в ближайшее время решить ряд гидрологических задач, уже обозначенных в связи с эксплуатацией гидроузлов:

1) разработать (ввести в действие) автоматизированную систему планирования пропуска половодья через каскад Волжских ГЭС;

2) инициировать работы по пересмотру нормативной базы по порядку пропуска половодий, в том числе, экстремальных, с учетом вероятности развития русловых деформаций при использовании на данном этапе эксплуатации гидроузла донных водосбросов в здании ГЭС на полную

проектную мощность;

3) создать модель оптимизации распределения рисков между угрозой усиления русловых размывов у здания ГЭС и угрозой усиления вибрация на левобережье при перераспределении попусков между ГЭС и водосливной плотиной и увеличении последних;

4) продолжить мониторинг приплотинной зоны Жигулевской ГЭС, разработать нормативы по строительству новых и поддержанию в исправном техническом состоянии уже существующих здесь зданий;

5) изучить действие вибрации на жителей домов, расположенных вблизи Жигулевской ГЭС, обеспечить соблюдение санитарных норм и комфортности проживания населения;

6) уделить серьезное внимание вопросу о причинах скачкообразного усиления вибраций грунтов с 2003 г. по настоящее время;

7) провести специальные, в том числе, лабораторные, исследования гидродинамических эффектов, возникающих при попусках, для их оптимизации, снижения риска русловых деформаций;

8) распространить опыт проведения вневедомственного вибрационного (сейсмического) контроля в районе Жигулевской ГЭС на другие крупные гидроэлектростанции.

HYDROLOGICAL ISSUES OF SAFETY OF ZHIGULYOVSKAYA HYDROELECTROSTATION AND JOINING TERRITORIES

© 2010 S.V. Simak¹, E.M. Shumakova²

¹Samara Municipal Najanova University

²Institute of Water Problems of Russian Academy of Science, Moscow

Issues of complex safety provision during exploitation of Zhigulyovskaya hydroelectrostation are considered.

Key words: hydromounts, exploitation, safety, provision

*Sergey Simak, Candidate of Biology, Associate Professor, Deputy Rector on Science. E-mail: mnu@nayanova.edu.
Elena Shumakova, Candidate of Technical Science, Scientific Collaborator. E-mail: iwapr@aqu.laser.ru*