



УДК 626, 627

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАВОВЫХ ОСНОВ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИПЛОТИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СВЯЗИ С
ДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ КРУПНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ В РФ И КНР**

Шумакова Елена Михайловна, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории охраны вод Института водных проблем РАН. 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

Митина Наталья Николаевна, д.г.н., проф., ведущий научный сотрудник лаборатории охраны вод Института водных проблем РАН. 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

Сведения о финансировании работ

Работа выполнена в рамках темы ИВП РАН № FMWZ-2025-0002 Проект 7.2 Анализ охраны и использования природных вод в Китайской Народной Республике и странах Центрально-Азиатского региона в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов и регулирования стока. № государственной регистрации: 125030703344-8

Аннотация. На основе экспериментальных данных проведена оценка параметров динамического воздействия нескольких крупных гидротехнических сооружений РФ и КНР на прилегающие территории. Показаны схожие черты и особенности, в том числе, не имеющие объяснения в рамках существующих научных представлений. Проведена оценка возможности изучения выявленных закономерностей в рамках представления гидроузлов как сложных систем, которые они образуют с геолого-геоэкологической средой. Изучена нормативно-правовая основа эксплуатации территорий, прилегающих к крупным гидроузлам, показана ее недостаточность, необходимость совершенствования

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, плотина, ГЭС, пропуск половодья, пропуск паводка, вибрации грунтов, динамическое воздействие, сложные системы, система плотина/геологическая среда, закономерности сложных систем

Безопасности территорий вблизи крупных плотин традиционно уделяется много меньше внимания, чем безопасности самих гидротехнических сооружений (ГТС). Точкой соприкосновения традиционно служит моделирование зоны затопления в случае аварий/аварийных сбросов на плотине. Природная геодинамика, наведенная сейсмичность и вибрации работающих гидросооружений, совершенно различным образом рассматривается с точки зрения обеспечения безопасности ГТС и селитебных территорий. Существующие регламенты гражданского строительства явно недостаточны в случае приплотинных территорий, так как не учитывают действие факторов как известных на

момент строительства, так и проявившихся относительно недавно и малоизученных, а также нелинейный результат их взаимодействия.

Вибрации грунтов при попусках через крупные ГТС изучаются в РФ с конца XX века, в КНР с 10-х годов XX века [1-3]. Отправной точкой исследования послужили сильные вибрации плотин при экстремальных попусках, а также жалобы жителей на вибрации зданий. Изучаются условия возникновения вибраций, пространственная картина воздействия, связь с факторами среды, специфика разрушений в зданиях, предпринимаются попытки моделирование ситуации, оптимизации вибрационного воздействия, в КНР работают над созданием принципов виброзащиты зданий.

Правовая неопределенность приплотинных территорий, явно включенных в область влияния гидроузлов, но никак ими не контролируемая, приводит к абсурдным результатам, когда в зоне сезонного либо аварийного затопления находятся жилые объекты, здания вовлекаются в процесс интенсивных вибраций при работе гидроузлов, а их расположение осложняет работу гидросооружений [4].

Материалы и методы Материалы для исследования – научные публикации, архивные и справочные материалы КНР. В РФ использовались авторские материалы.

Цель исследования – возможность использования опыта и наработок КНР для регламентирования эксплуатации приплотинных территорий в РФ. Задача – на максимальном числе объектов выявить общие закономерности и различия параметров вибрационного воздействия работающих ГТС.

Результаты и обсуждение

Сравнение результатов измерений вибраций грунтов вблизи плотин РФ и КНР и изучение процесса в целом показало, что ситуация в районе всех ГТС практически идентична, начиная от причины возникновения столь интенсивных вибраций, что они вторгаются в жизнь человека, процесса их распространений вглубь приплотинной территории, возможности регулирования интенсивности вибраций гидротехническими мероприятиями; схожим образом вибрации действуют на здания, вызывая характерные явления и разрушения строительных конструкций. Наблюдается также схожая административно-правовая основа регулирования создавшейся ситуации, точнее, отсутствие таковой, как в РФ, так и в КНР. Наблюдается достаточно равнодушное отношение к проблеме влияния вибраций зданий на самочувствие их жителей, отсутствие интереса к оценке возможного влияния вибраций на здоровье населения в зоне вибрационного воздействия.

Из положительных результатов следует отметить выявление факта, что наиболее интенсивные вибрации в пределах селитебных территорий ощущаются при холостых попусках, хотя и связаны с различными природными явлениями – пропуск весеннего половодья в РФ и пропуск паводковых вод после сезонных дождей в КНР. В связи с этим и в РФ, и в КНР определен диапазон величин попусков, при которых интенсивность вибраций поддается регулировке путем снижения величин попусков, приблизительно установлены пороговые значения, выше которых ситуация выходит из-под контроля, предпринимаются эксплуатационные меры, чтобы избежать перехода в опасный в плане вибраций режим попусков.

Можно говорить о следующих закономерностях:

величины попусков, вызывающих интенсивные вибрации, различна для каждого ГТС;

непосредственным источником вибраций грунтов по мнению гидротехников и в РФ, и в КНР являются вибрации водобоев, **водоводов**, оборудования;

происходит перенос энергии вглубь территории в виде упругих волн, вызывающих вибрации приповерхностных слоев грунтов;

вибрации распространяются без значительного затухания на неожиданно для создателей плотин расстояния, причем, происходит это в рыхлых грунтах;

в рыхлых грунтах не только не происходит ожидаемого теоретически затухания вибраций, но даже зафиксировано усиление вибраций при переходе со скальных грунтов в рыхлые, как показали исследования в КНР;

расстояние, где вибрации грунтов требуют учета в связи с негативным воздействием на здания, приблизительно одинаково вблизи всех изучаемых ГТС и составляет приблизительно 5 км;

старые русла (предположительно приуроченные к тектоническим разрывным нарушениям) могут играть роль волноводов, увеличивая дальности распространения вибраций в отдельных направлениях;

влияние инженерно-геологических условий показано лишь на примере Жигулевской ГЭС (РФ), где показано изменение вибраций грунтов и зданий в пределах гравитационно неустойчивых участков местности (склонов);

амплитудно-частотные характеристики вибраций грунтов очень близки для всех изучаемых ГТС.

Многие из выявленных закономерностей на данном этапе не соответствуют имеющимся теоретическим представлениям о возникновении вибраций при работе ГТС и распространении вибраций в грунтах, носят характер вызовов.

Плотины изучаемых ГТС существенно отличаются по высоте, длине, конструкции плотины и водосбросов, заявленной мощности, климатическим и гидрологическим характеристикам района расположения (Рис.1, Табл. 1).

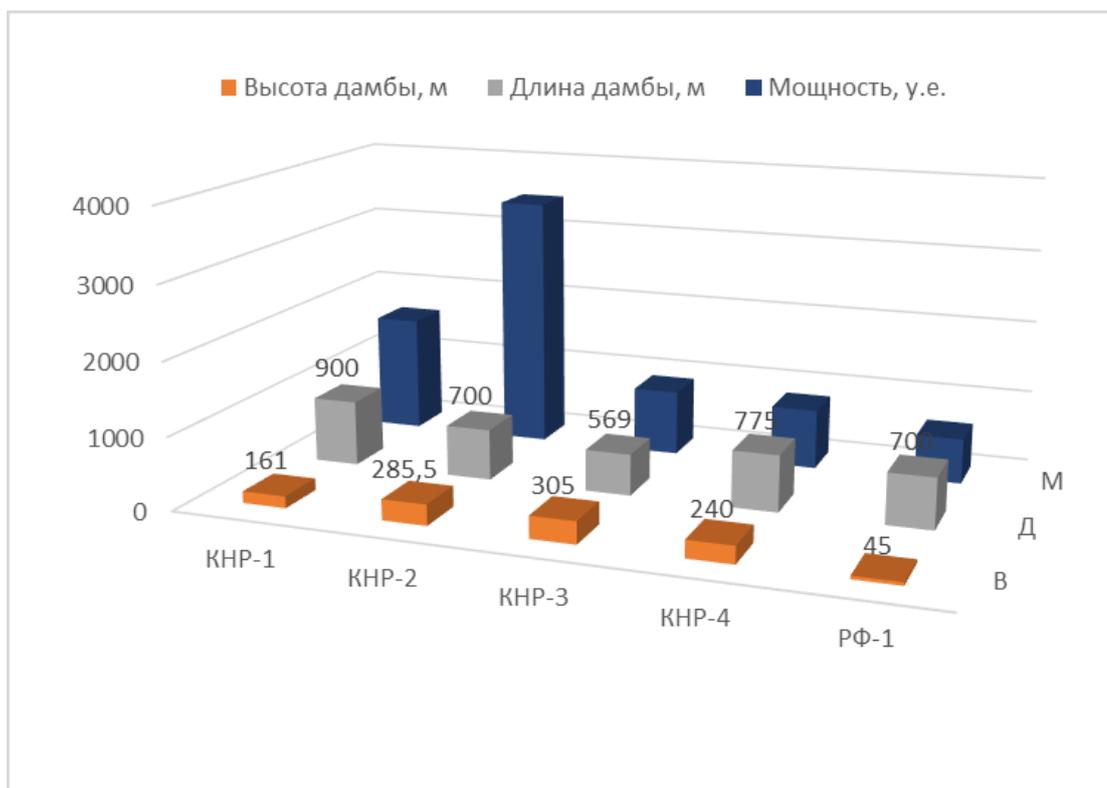


Рис. 1. Сравнение параметров исследуемых плотин. РФ-1 - водосливная плотина.

Конструкция водосливов для холостых пусков

ГЭС	Конструкция водосливов для холостых пусков
КНР-1	для сброса и отвода воды используются в том числе гидроагрегаты
КНР-2	-
КНР-3	на гребне плотины до 3000 м ³ /с; пять нижних выпускных отверстий до 5470 м ³ /с; тоннель до 3650 м ³ /с
КНР-4	водосбросы на гребне, два туннеля - 6260 м ³ /с и 7400 м ³ /с; средние и донные отверстия - 6930 м ³ /с и 2084 м ³ /с
РФ-1	отдельная водосливная плотина 40* 980 м из 10 секций до 38 000 м ³ /с

При таком разнообразии ГТС наблюдается идентичность характеристик возникающих характеристик вибраций грунтов.

Амплитудно-частотные характеристики возникающих вибраций близки - это широкополосные квазипериодические колебания с концентрацией энергии в пределах 5 Гц, с основной частотой в диапазоне 2-3 Гц (для РФ-1) и 1,5 - 3,5 Гц (для КНР-1-4) и наличием «биений» на более низких частотах (Рис. 2).

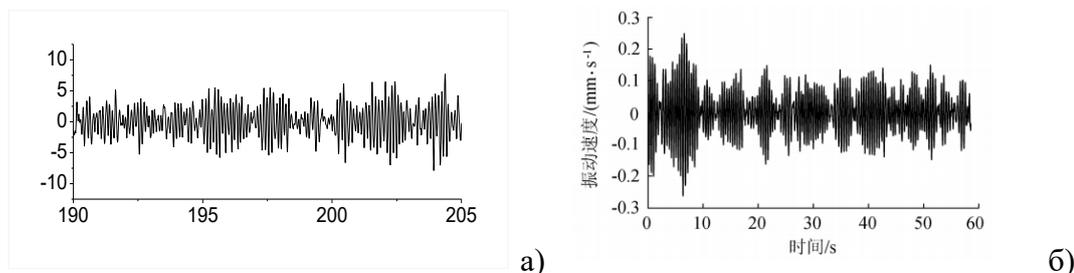


Рис. 2. Характерный вид записи скоростей вибраций грунтов в РФ (а) и в КНР (б): по вертикали скорости вибраций грунтов в мкм/с (а) и мм/с (б), по горизонтали – время, с

Амплитуды скоростей вибраций не сравнивались, так как нет данных о параметрах измерений – расстоянии до ГТС, вибрациях на самой ГТС, но они находятся в близком диапазоне – сотые – десятые доли мм/с на уровне грунта.

Таким образом, характеристики возникающих вибраций определяются иными факторами, чем технические характеристики конкретного ГТС, вероятнее всего, более общими, приблизительно одинаковыми для изучаемых ГТС.

Существенные вибрации отмечаются в радиусе приблизительно 5 км в рыхлых грунтах и вновь не зависят от технических характеристик конкретных гидроузлов.

Согласно представлениям, принятым в РФ, вибрации должны быстро затухать в рыхлых грунтах, в случае ГТС - предположительно в пределах промышленной площадки.

Расстояние осязательного проявления вибраций грунтов 5 км и более считалось в РФ сверхдальним, предположительно объяснялось напряженно-деформированным состоянием геологической среды в зоне современных движений земной коры в наиболее амплитудной части современно активного глубинного Жигулевского разлома; сжатие изменяло условия распространения упругих волн, увеличивало дальность [5]. Совпадение радиуса наиболее интенсивного вибрационного воздействия в районе различных ГТС требует более детального изучения геологии и современной геодинамики районов их расположения, выявления возможно иных причин и механизмов распространения упругих волн, так как маловероятно совпадение геодинамических условий в районе столь различных объектов.

Причина возникновения идентичных по амплитудно-частотным характеристикам вибраций грунтов при столь разных технических системах организации попусков и их мощности также подлежит объяснению. Идентичные вибрации возникают при холостых расходах, которые различаются для изучаемых гидроузлов в несколько раз: от 1500 м³/с в КНР до ~10000 м³/с в РФ.

Возможно, имеет место частота некоего процесса, происходящего в сложной системе ГТС-геологическая среда, состав которой точно неизвестен, и все процессы проявляются отличным от парных взаимодействий образом.

Такой взгляд на процессы, происходящие вблизи плотины, предлагался ранее в условиях, когда вибрационное воздействие ГТС изучалось на примере одного объекта – плотины Жигулевской ГЭС в РФ. Сложная система предположительно включала плотину, водохранилище, геологическую и инженерно-геологическую среду, русло водотока, ближающую приплотинную территорию с расположенными здесь жилыми объектами. Сложная система получила условное название «прилотинная территория».

Использование общих закономерностей сложных систем позволило тогда оценить направленность и устойчивость изменений (скачкообразного роста) вибраций грунтов при прочих равных условиях, интерпретировать изменения как «слом системы», необратимый, что и доказал мониторинг последующих лет (Рис. 3), а также принять необычное проявление иных процессов в условиях вибрационного воздействия ГТС [6].

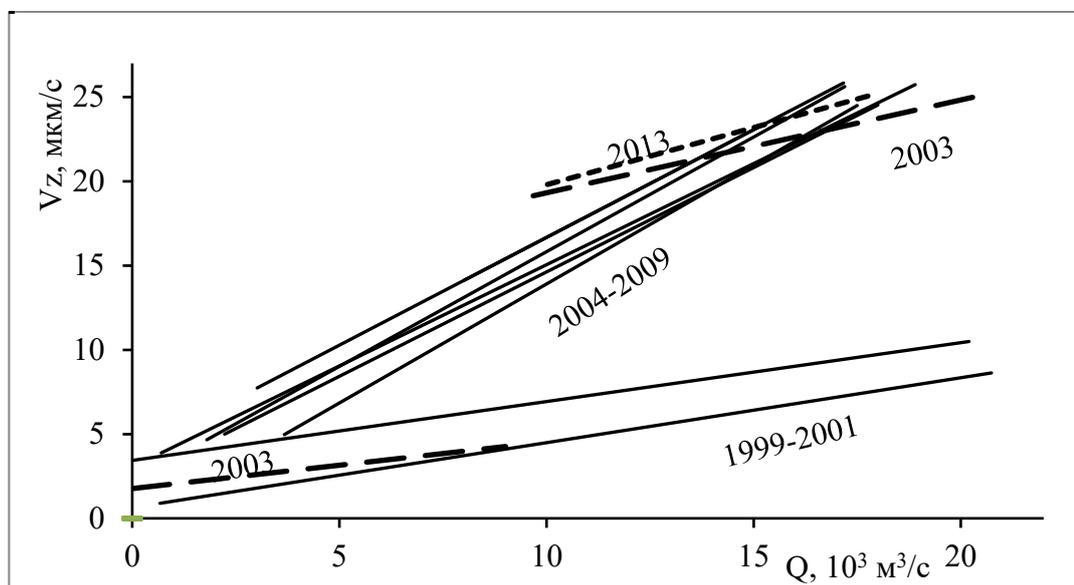


Рис. 3 Изменение зависимости интенсивности вибраций V_z от расходов через ВСП Q за весь период наблюдений (1999-2013 гг.)

Анализ информации по всем объектам показывает, что проявление процессов неожиданным образом подтверждается и расширяется. Таким образом, вместо предполагаемого прояснения ситуации с вибрационным воздействием ГТС за счет привлечения информации по новым объектам, получены сложные необъяснимые при современном состоянии теории закономерности, которые следует попытаться объяснить с позиции теории систем. В теории систем известно, что каждый уровень сложности системы порождает закономерности, не сводимые напрямую с закономерностями нижележащего уровня. Расширение используемой информации расширило список таких закономерностей.

Положительный результат – предложение использовать для изучения вибрационного воздействия ГТС закономерности сложных систем актуально, как и предложение выделять приплотинную территорию как отдельный объект научных интересов, так и административно-правового регулирования. Без общего понимания процессов, происходящих в сложной системе, когда часть из них проявляются иным образом, чем в

действующих нормативах, и изменяется во времени, а часть не обеспечены ни моделями, ни принципами административно правового регулирования, делает сложной и/или невозможной задачу обеспечения безопасности объектов системы ГТС/геологическая среда.

Выводы и предложения:

1. Следует продолжить изучение процессов вибрационного воздействия ГТС с позиций сложных систем.
2. Использовать системные результаты для рекомендации по административно-правового регулирования эксплуатации приплотинных территорий.

Список литературы:

1. Ground vibration characteristics induced by flood discharge of a high dam: an experimental investigation/ Y. Zhang, G. Zhang, Y. Liu, S. Li, J. Lian, M. Song// Journal of Renewable and Sustainable Energy. 2021. V. 13. No 1.
2. Ma, B., Ge, J., Liang, S., Lian, J. Study on characteristics of vibration in the foundation and induced by flood discharge and optimization of flood discharge scheme of high arch dam/ B. Ma, J. Ge, S. Liang, J. Lian// Tianjin Daxue Xuebao. 2020. V. 53. No 1. P. 27-34.
3. Wang, X., Hu, Y.-A., Luo, S.-Z., Zhang, L.-C., Wu, B. Prototype observation and influencing factors of environmental vibration induced by flood discharge/ X. Wang, Y.-A. Hu, S.-Z. Luo, L.-C. Zhang, B. Wu // Water Science and Engineering. 2017. V.10. No. 1. P. 78-85.
4. Mitina N., Vashchenko M., Shumakova E. Modern problems of state regulation of operation of state regulation of operation of a large hydroelectric plants dams area. В сборнике: E3S Web of Conferences. 4th Vinogradov Conference "Hydrology: from Learning to Worldview" in Memory of Outstanding Russian Hydrologist Yury Vinogradov, VC 2020. 2020. С. 03011.
5. Яковлев В.Н., Шумакова Е.М., Трегуб Н.В. Сейсмическая активность и геодинамика Самарской области. Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т.16.№ 1. С-27-34.
6. Разумовский Л.В., Шумакова Е.М. Метод графического анализа возможных трансформаций территориальных биофонических систем природного и антропогенного генезиса. Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т.16. № 5-5. С. 1561-1570.

STUDY OF THE THEORETICAL AND LEGAL FOUNDATIONS OF GEOECOLOGICAL SAFETY OF NEAR-DAM AREAS IN CONNECTION WITH THE DYNAMIC IMPACT OF LARGE HYDRAULIC STRUCTURES IN THE RUSSIAN FEDERATION AND CHINA

Elena M. Schumakova, Natalia N. Mitina

Abstract. The article is the result of studying and assessing on the basis of experimental material the possibility and consequences of the influence of the operation of the spillway dam of the Zhigulevskaya hydroelectric station on the vibrations of buildings depending on their orientation relative to the dam; shows the presence of a new pattern that requires consideration in the regulations for the development of dam areas.

Keywords: hydraulic structure, dam, HPP, flood discharg, soil vibrations, dynamic impact, complex systems, dam/geological environment system, patterns of complex systems