

Время бежит, и наука движется вперёд, изобретая всё новые и новые способы выработки электроэнергии. Множатся атомные станции, грядут им на смену ториевые. Однако человечество не спешит отказываться от куда более экологичных гидроэлектростанций. Они же, кстати, являются одними из самых распространённых и долговечных. Достаточно отметить, что, скажем, в Испании до сих пор функционирует около десяти плотин, которые сейчас используются для решения энергетических и сельскохозяйственных задач, а построены были почти тысячу лет назад! В нашей стране большая часть гидротехнических объектов была возведена в довоенные и послевоенные годы. Поныне, в этой связи, почему в последнее время всё острее встаёт вопрос о мониторинге их состояния.

Текст: Татьяна СКОМСКАЯ

Чудо инженерной мысли

...И не только в нашей стране. Соседний с нами Казахстан, напри-

Больше объект,

Группа учёных ИМКЭС СО РАН создала систему мониторинга колебаний стенок

мер, располагает тремя гидроузлами на Иртыше (так называемый Иртышский каскад ГЭС): Усть-Каменогорским, Бухтарминским и Шульбинским. Самый старший из них — Усть-Каменогорский — начал строиться в далёком 1939-м. 29 января Народный комиссариат утвердил техническое задание на строительство гидроузла, и уже 6 марта группа специалистов под руководством выдающегося инженера-гидростроителя Михаила Инюшина прибыла на место. Тогда только и успели, что осмотреться да наметить фронт работ, который в полной мере смог развернуться лишь по окончании войны в 1948 году. В основание плотины ГЭС заложили первый кубометр бетона (в ту пору армированный бетон начал находить широкое применение) и далее продолжали трудиться в круглогодичном режиме, независимо от погодных условий. Так, в декабре 1952 года запустили первый агрегат. А станция стала шедевром инженерного мастерства, потому что

65-метровая плотина оказалась самой высокой в СССР, а 47-метровый однокамерный шлюз — самым высоким однокамерным судоходным шлюзом в мире.

Надо отметить, как правило, перепада воды в 15–20 метров вполне достаточно для одной камеры. Если перепад больше, то шлюз возводят из нескольких камер. Именно так изначально и здесь хотели поступить. Но Совет министров в 1948 году решил сократить сроки строительства гидроузла, и Ленинградское отделение Главгидроэнергостроя пересмотрело проект. Сооружение и по сей день остаётся уникальным: несмотря на то, что появились в мире и более глубоководные шлюзы, ширина и длина шлюзового канала Усть-Каменогорского гидроузла (18 и 100 метров соответственно) при такой глубине всё ещё могут претендовать на единственность. А причиной неуспешного внимания и контроля в процессе эксплуатации является конструктивная особенность шлю-

за. Одна из его стенок (береговая) своей боковой поверхностью опирается через гравийно-песчаную засыпку в коренную скальную породу правого берега реки. Вторая же стенка (речная) представляет собой вертикальное железобетонное сооружение трапециевидного сечения высотой 28 метров над коренным грунтом берега реки. Объём воды при заполнении камеры шлюза составляет более 80 тысяч тонн, и вся эта масса при каждом пропуске очередного судна давит на стенки и приводит к периодическим деформациям (или отклонениям) поверхности стенок камеры. Влияют на процессы «хождения» стенок и сезонные колебания температур в интервале порядка 80 градусов (от -40 до +40 градусов по Цельсию). Как отследить техническое состояние столь сложного инженерного объекта и не пропустить аварийной ситуации, грозящей затоплением 350-тысячного города и расположенных в нём опасных производств?

Выше точность

камеры шлюза Усть-Каменогорского гидроузла — одной из крупнейших в мире

Инновации на службе у чудес

В эпоху СССР наблюдения проводились с помощью мерной проволоки. С её помощью измеряли положение верхней части стенок камеры в нескольких поперечных сечениях относительно наружной стены здания административно-бытового корпуса (АБК). Метод «грешил» длительностью и неудобством процедуры из-за температурных удлинений и учёта постоянного натяжения проволоки. Точность здесь тоже оставалась желать лучшего. И вот в начале двухтысячных руководство предприятия по рекомендации местных коллег обратилось в Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН за помощью.

— Мой отец был гидростроителем, и в своё время я вместе с ним ещё при Сталине объехал множество объектов, — говорит **Александр ТИХОМИРОВ**, заведующий лабораторией экологического приборостроения ИМКЭС, доктор технических

наук. — На моих глазах вырастали Цимлянский, Куйбышевский и другие гидроузлы. И сама возможность сделать что-то полезное для сохранения и долгой службы таких сооружений наполняла меня настоящей энтузиазмом. В содружестве с моими коллегами — сотрудником ИМКЭС Валерием Татуром и главным инженером УКШ Виктором Ляпуновым — мы взяли за дело. Вначале казахстанские заказчики посетили нас с деловым визитом, затем и мы отправились на место. Так было принято решение создать лазерную систему дальнего мониторинга (ЛСДМ), которая представляла собой не только более простой и удобный метод изучения колебаний стенок, но и давала точность в пределах 1,5 мм. Но и это ещё не всё: система фиксирует и передаёт полученную информацию в цифровом качестве, а компьютерная программа к тому же заносит данные о состоянии камеры (наполнена, опорожнена) и сама автоматически вычисляет среднее значение результатов измерений.

— Высокую точность и длительную работу приборов мы только обеспечили только при тщательном и детальном подходе к ре-

Иртыш — самая длинная река-приток в мире, зарождающаяся на границе Монголии и Китая. Далее протекает через Восточный Казахстан и Россию. В районе Ханты-Мансийска впадает в Обь в качестве главного притока. Длина Иртыша составляет 4248 километров, что превышает длину самой Оби. Обе реки вместе представляют собой самый протяжённый водоток в России, второй в Азии и шестой в мире (5410 км).

шению задачи, — отмечает **Валерий ТАТУР**, заведующий конструкторско-технологической лабораторией, кандидат технических наук. — Поэтому лазерная система дальнего мониторинга изготавливалась по индивидуальному техническому заданию. И по её готовности мы приехали на место для установки, для чего в стенах здания АБК выдолбили ниши, поставили и закрепили оборудование. Немало времени потребовалось и для грамотной настройки юстировочных узлов. В результате вот уже десять лет всё исправно работает, позволяя получить целостную картину изменений, происходящих в камере шлюза.

Результаты многолетних измерений

Как показали проведённые исследования, на протяжении десяти лет изменение положения верхних частей береговой стенки между состояниями «зима-лето» составляло 2–2,5 см относительно здания АБК, а в более холодные зимы смещение увеличивалось. Максимальное «выпирание» береговой стенки в сторону камеры шлюза совпадало с минимумом температуры окружающей среды. Летом же, напротив, стенка смещалась в сторону коренного берега. Максимум летнего смещения достигался в июне каждого года.

Наибольшие смещения речной стенки между состояниями «зима-лето» превышали 6 см. И максимальные показатели колебаний в сторону берега приходились на конец января — февраль каждого зимнего сезона, то есть совпадали с достижением годового температурного минимума. Максимальное отклонение верха речной стенки в сторону реки приходилось на конец лета — начало осени. В целом, в одном из контролируемых сечений шлюза наблюдается тенденция наклона верхней части речной стенки в сторону берега, то есть ширина шлюза медленно, но верно уменьшается: за десять лет примерно на 0,1 процента, то есть около 2 см.

Интересными оказались и результаты измерений при наполнении и опорожнении камеры шлюза. Выяснилось, что секции стенки смещают-



Валерий Татур



Александр Тихомиров

ся в сторону и возвращаются в прежнее положение после опорожнения камеры по принципу колебания затухающего маятника. И дельта смещения также зависит от сезонности.

Таким образом, на практике была подтверждена эффективность и точность лазерного дальнего мониторинга при наблюдении за состоянием объектов гидротехнических сооружений. И полученные данные могут послужить основой для создания подобных систем, позволяющих персоналу шлюза определять опасные тенденции в направлении смещения секций стенок камеры и своевременно реагировать на внештатные ситуации.

Публикация подготовлена с использованием материала статьи «Многолетний лазерный дальний мониторинг отклонений стенок высоконапорного однокамерного Усть-Каменогорского шлюза» (Тихомиров А. А., Татур В. В., Ляпунов В. М.), журнал «Гидротехническое строительство» № 8, 2015 год.