

УДК 627.83:532.542:532:532

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПЛОТИНЫ МЕДЕО

**Бельгибаев Б.А., Букесова А.М.**

*ДГП «НИИ математики и механики» РГП «КазНУ имени Аль-Фараби»,  
Алматы, e-mail: aidabam@mail.ru*

Анализ гидравлических пропускных характеристик водосбросов показывает, что решающим объясняющим фактором при оценке адекватности теоретических и полуэмпирических расчетов является шероховатость стенок гидротехнических сооружений (ГТС). Цель исследования – пространственная визуализация «облака данных» бетонного покрытия, основанная на инструментальных измерениях с помощью лазерного роботизированного тахеометра типа TOPCON GPT 3100N и цифровой видеодосъемки. Обработка данных 3D-редакторами Topcon Image Master for IS и 3Ds max показывает наличие в морфологии поверхностей исследуемого ГТС метрических и фрактальных характеристик пространственной геометрии бетонных стенок. Разработанная методика, программно-аппаратное обеспечение упрощает и удешевляет методику прямого лазерного сканирования и применима для мониторинга шероховатости и оценки проектной пропускной способности для широкого класса ГТС, подверженных сильному разрушающему атмосферному воздействию.

**Ключевые слова:** лазерное сканирование, трехмерная цифровая визуализация, шероховатость, гидравлическое сопротивление

## COMPUTER MONITORING AND MODELLING HYDRAULIC STRUCTURES DAM MEDEO

**Belgibayev B.A., Bukessova A.M.**

*Scientific – Research Institute of Mathematics and Mechanics of the Kazakh National  
University named after Al-Farabi, Almaty, e-mail: aidabam@mail.ru*

Analysis of the hydraulic characteristics of spillway crossing shows that the decisive factor of explaining the assessment of the adequacy of the theoretical and semiempirical calculations associated with the roughness of the walls of the waterworks (GTS). The purpose of the study and spatial visualization of «database cloud» of concrete pavements based on instrumental measurements using a laser-type robotic takheometer TOPCON GPT 3100N and digital video and photo shots. Data Processing with 3D editors Topcon Image Master for IS and 3Ds max shows the presence of the spatial geometry in the morphology of the surface test GTS metric and fractal characteristics of the concrete walls. The developed method, firmware simplifies and reduces the cost of direct laser scanning technique and is applicable for monitoring and roughness and evaluation of design capacity for a wide class of GTS, subject to strong destructive weathering.

**Keywords:** laser scanning, three-dimensional digital imaging, roughness, hydraulic resistance

Республика Казахстан имела к началу 90-х годов XX века более 650 крупных гидротехнических сооружений. В настоящее время эти сооружения эксплуатируются на протяжении 30–40 лет. Проблемы стареющих ГТС остро обсуждались на научном семинаре по вопросам организации Международного учебного центра по безопасности гидротехнических сооружений на базе Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства (11–15 февраля 2013 г., г. Тараз, Казахстан). Безопасный сброс паводковых вод связан с обеспечением проектных пропускных режимов работы водосбросных сооружений. Однако в случае с плотиной Медео водосброс работает до прохождения селя в эксплуатационном режиме, при котором задействовано 5–10% от проектной пропускной способности водосброса. А в случае селя вода из селехранилища сбрасывается одновременно с максимальным расходом в 30 м<sup>3</sup>/с. Поэтому одной из главных задач грантного проекта Министерства образования и науки

Республики Казахстан «Компьютерное моделирование водосбросных сооружений», выполняемого в ДГП «Научно-исследовательский институт математики и механики» РГП «Казахский национальный университет имени Аль-Фараби», является разработка новых неразрушающих методик мониторинга и прогнозирования режимов работы ГТС с использованием дистанционного лазерного сканирования геометрических параметров гидротехнических сооружений и внедрение их в практику работы служб «Казселезащиты МЧС РК».

**Цель исследования** – пространственная визуализация «облака данных» бетонного покрытия, основанная на инструментальных измерениях с помощью лазерного роботизированного тахеометра типа TOPCON GPT 3100N и цифровой видеодосъемки.

### Материалы и методы исследования

Исходный материал исследования – эталонный образец бетонного покрытия водосброса плотины Медео. Исследование шероховатости данного

образца является модельной задачей для мониторинга состояния подводящих туннелей, шахты и отводящих каналов водосброса, в которых со временем под действием атмосферных процессов образуются рытвины, сколы, трещины, влияющие на турбулентность водного потока в виде вихрей и перехлестов потока жидкости, что снижает пропускную способность сооружения.

Методы исследования можно разделить две группы: контактные и бесконтактные. В проекте используются оба метода: контактный метод (измерение рельефа гипсового слепка эталона с помощью микрометрического глубиномера) реализуется только на эталонном участке бетонного покрытия, а в качестве бесконтактного метода измерения шероховатости на основе лазерного сканирования апробируется метод менее трудоемкой и затратной технологии неразрушающего контроля состояния бетонного покрытия с использованием роботизированного тахеометра типа TOPCON GPT 3100N и цифровой фото-, видеосъемки. Полученные табличные значения обрабатываются методами дисперсионно-регрессионного анализа (фрактальным методом Херста) с использованием надстроечного приложения MS Excel «Пакет анализа данных – Регрессия».

### Результаты исследования и их обсуждение

Как известно, технология лазерного сканирования нашла широкое применение

в геодезии, геострой изысканиях и основана на высокоточном измерении расстояния от лазерного дальномера до точки объекта. Данные дальномера с миллиметровой точностью поступают в программное обеспечение 3D-сканера, встроенного в прибор (лазерный сканер или тахеометр). На выходе из лазерного сканера или тахеометра получаем оцифрованное 3D «облако данных» в формате MS Excel или MS Office-Блокнот. Проблема широкого применения лазерного сканера заключается в его дороговизне, поэтому в процессе выполнения проекта используется более дешевый и доступный прибор – тахеометр с функцией «сканирование», который при большей производительности имеет меньшую плотность точек. Эти данные в проекте предлагается дополнить данными, основанными на обработке цифровой видео- и фотосъемки.

Итак, лазерные сканеры позволяют значительно упростить работу по созданию 3D-модели ГТС плотины Медео (рис. 1).

В результате измерений получаем пространственные координаты массива точек (облако точек), положение которых определено на поверхностях объектов, попавших в рабочую зону сканера.

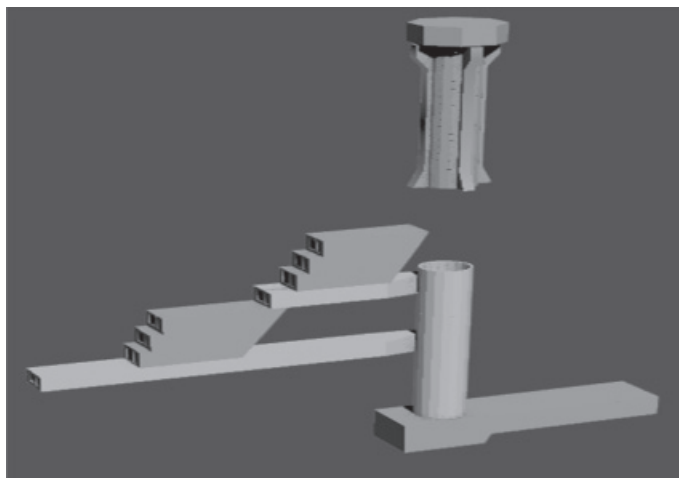


Рис. 1. 3D-модели водосброса плотины Медео

Основная идея 3D-сканирования гидротехнических сооружений (ГТС) состоит, прежде всего, в определении эксплуатационной шероховатости поверхности, обнаружении трещин и видимых обрушений стенок шахты водосброса, а также в получении адекватной 3D-картины модели ГТС с последующим его мониторингом. Важность определения шероховатости шахты водосброса заключается в том, что со временем под действием атмосферных процессов в ней образуются дефекты поверхности, которые влияют на турбулентность водного

потока в виде в виде крупномасштабных завихрений потока жидкости, сильная турбулентность приводит к снижению пропускной способности сооружения.

Принцип 3D-сканирования с использованием цифрового тахеометра достаточно хорошо известен, однако обработка полученных результатов осуществляется по разным методикам [1, 2]. В нашем случае для обработки данных сканирования используется программа Topcon Image Master for IS, представляющая собой многофункциональное программное обеспечение. При

управлении программой с использованием средств Wi-Fi соединения между ноутбуком и тахеометром можно производить сканиро-

вание, получение облака точек, цифровую видео- и фотосъемку объекта. На рис. 2 приведены первичные результаты сканирования.

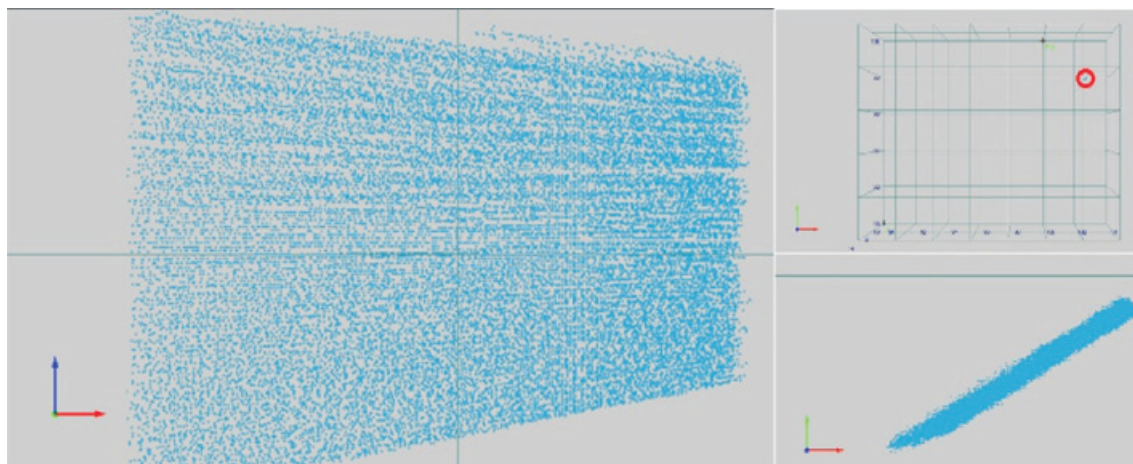


Рис. 2. Облако точек шероховатой поверхности

После получения результата (облака точек) можно приступить к моделированию. Для этого используем специальные инструменты программы Торсон. Посред-

ством инструментов этой программы меняем цвет, задаем текстуру, убираем лишние неровности. Процесс моделирования показан на рис. 3.

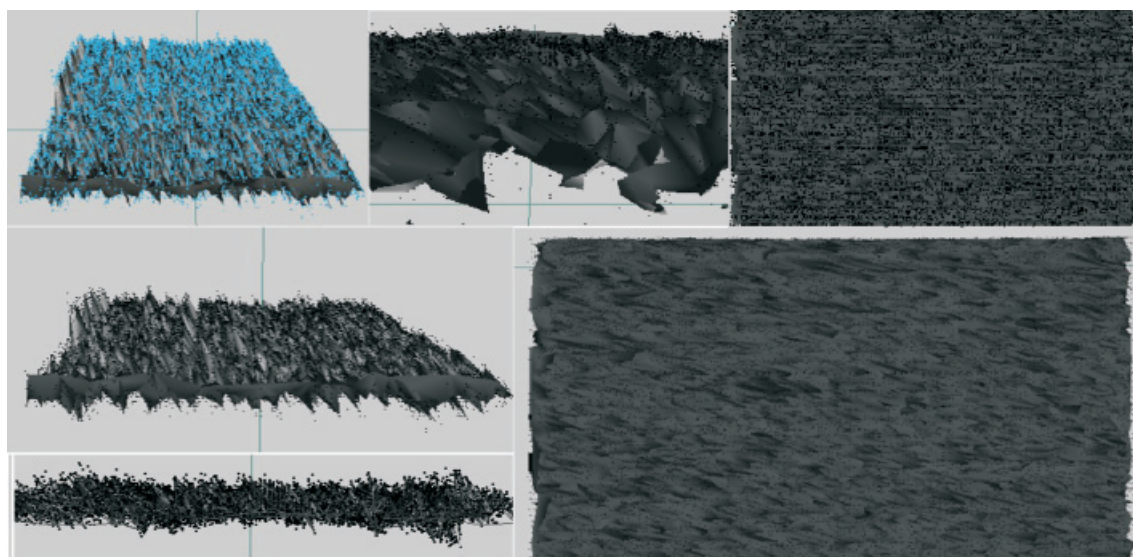


Рис. 3. Этапы моделирования в системе 3D-программы Торсон

Определение шероховатости поверхности методом цифровой видео- и фотосъемки является относительно новым и перспективным направлением исследований в неразрушающем мониторинге ГТС. Основная идея данного метода заключается в получении цифровых видео и фото шероховатой поверхности, «привязка» ее к системе трехмерных координат, получение облака точек и моделирование посредством инструментов распространённых программ 3D-редактирования (3ds max, Bryce 7). Выгода от полученно-

го метода очевидна. Прежде всего, метод дает возможность сканировать не все пространство, а ту часть, где было визуально обнаружено повреждение поверхности, что возможно после получения видео- или фотоматериалов сканируемой поверхности, особенно в труднодоступных местах. Кроме того, данный метод можно применить при определении шероховатости поверхности в «микро» и «нано» диапазоне, без использования различных трудоемких и достаточно затратных полуэмпирических способов.

В основе предлагаемого метода определения шероховатости поверхности лежит многофункциональная программная система Autodesk 3ds max, используемая для создания и редактирования 3D-графики и анимации.

Например, для апробации методики визуализации шероховатости в среде 3ds max, во-первых, фотографируем цифровым фотоаппаратом эталон шероховатого объекта (рис. 4).



Рис. 4. Цифровое фото эталонной шероховатой поверхности

На втором шаге создаем объект в среде 3Ds max, например, стену, а затем импортируем изображение, сфотографированное ранее. После чего непосредственно приступаем к моделирова-

нию [3]. С помощью функций 3Ds max можно увеличить, уменьшить высоту неровностей, разгладить или заострить неровности, тем самым изменяя шероховатость (рис. 5).

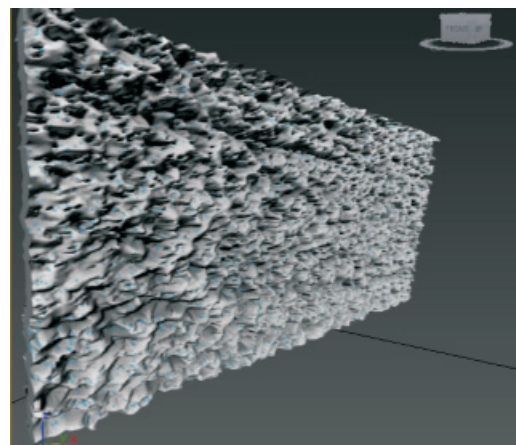
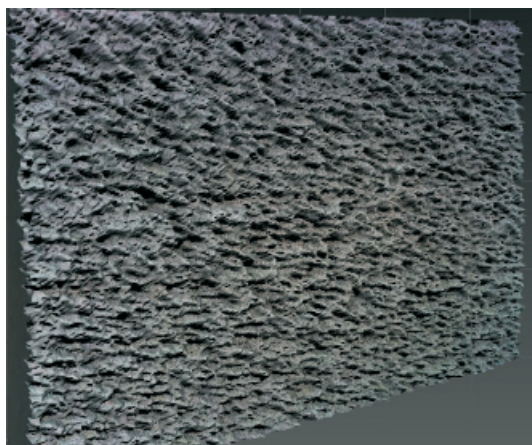


Рис. 5. Шероховатость поверхности в системе Autodesk 3dsMax

Третий шаг заключается в измерении шероховатости поверхности гипсового слепка эталонного шероховатого объекта с помощью глубиномера. Данное измерение проводится для сравнения шероховатости поверхности, полученной 3D-лазерным сканером с поверхностью исследуемого объекта – эталона, обработанной в системе 3Ds max.

Для измерений сверху слепка была помещена тонкая плексигласовая пластина с координатной сеткой, аналогичной шагу измерений тахеометра. Высота (глубина) определялась с помощью микрометрического глубиномера. Использование контактно-

го метода измерения рельефа поверхности с помощью глубиномера оправдывает себя в микронном диапазоне, точность полученных данных достаточна для оценки статистической значимости эксперимента, так как интервал измерений находился в миллиметровом диапазоне [4, 5]. Полученное облако точек было обработано в 3D-редакторах Autodesk 3Ds max, MatLab 7. Затем был осуществлен регрессионный анализ с использованием фрактального метода Херста, реализованного с помощью пакета прикладных программ Excel «Анализ данных – Регрессия».

### Заключение

На основании проведенных исследований трехмерных картин шероховатости, полученных с помощью тахеометра и обработанных программой Topcon Image Master, можно сделать вывод об адекватности трехмерной картины шероховатости, инструментально измеренной и визуализированной при помощи программы Autodesk 3Ds max с гипсового слепка эталона, что свидетельствует о практической ценности разработанной методики визуализации для определения влияния шероховатости на турбулентную структуру потока.

### Список литературы

1. Бельгибаев Б.А., Коржаспаев А.Е., Рамазанов Е.Т., Researcha technical condition spillway of dam «Medeo» with the possibility of 3D laser scanning// ИКТ: Образование, наука и инновации: III-я международная научно-практическая конференция. – Alatau IT City, 20 мая, 2013. – С. 380–382.
2. Бельгибаев Б.А., Рамазанов Е.Т., Коржаспаев А.Е., Даирбаев А.М.-М. Расчетная схема для компьютерного моделирования водосбросных сооружений плотины Медео // ИКТ: Образование, наука и инновации: материалы III-ей международной научно-практической конференции. – Alatau IT City, 20 мая 2013. – С. 503–506
3. Вальдовский А., Хмелевский М., Есиновский В., Шакин И., Оверченко Е. Технология лазерного сканирования и 3D-моделирования гидротехнических сооружений // Речной транспорт (XXI век). – 2010. – № 6.
4. Даирбаев А.М.-М., Даирбаева М.А., Бельгибаев Б.А. Методика определения шероховатости гидротехнических сооружений / Применение информационно-коммуникационных технологий в образовании и науке: материалы международной научно-практической конференции, посвященных 50-летию Департамента информационно-коммуникационных технологий и 40-летию кафедры «Информационные системы» КазНУ им.Аль-Фараби. 20 ноября 2013 г. – Алматы: Казак университеті, 2013. – С. 90–92.

5. Кликушин Ю.Н. Фрактальные идентификационные шкалы // Рук.депон. в ВИНТИ, № 3870-В98, Омский гос. техн. университет. – Омск, 1998. – 16 с.

### References

1. Belgibaev B.A., Korzhaspaev A.E., Ramazanov E.T., Researcha technical condition spillway of dam «Medeo» with the possibility of 3D laser scanning // III-ya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «IKT: Obrazovanie, nauka i innovacii». Alatau IT City, 20 maya, 2013, pp. 380–382.
2. Belgibaev B.A., Ramazanov E.T., Korzhaspaev A.E., Dairbaev A.M.-M. Raschetnaya sxema dlya komp'yuternogo modelirovaniya vodosbrosnyx sooruzhenij plotiny Medeo // Materialy III-ey mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «IKT: Obrazovanie, nauka i innovacii». Alatau IT City, 20 maya 2013, pp. 503–506.
3. Valdovskij A., Xmelevskij M., Esinovskij V., Shakin I., Overchenko E. Texnologiya lazernogo skanirovaniya i 3D modelirovaniya gidrotexnicheskix sooruzhenij // Rechnoj transport (XXI vek). 2010. no. 6.
4. Dairbaev A.M.-M., Dairbaeva M.A., Bel'gibaev B.A. Metodika opredeleniya sheroxovatosti gidrotexnicheskix sooruzhenij / Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Primenenie informacionno-kommunikacionnyx texnologij v obrazovanii i nauke», posvyashhennyx 50-letiyu Departamenta informacionno-kommunikacionnyx texnologij i 40-letiyu kafedry «Informacionnye sistemy» KazNU im.Al'-Farabi. 20 noyabrya 2013 g.-Almaty: Kazak universiteti, 2013. pp. 90–92.
5. Klikushin Yu.N. Fraktal'nye identifikacionnye shkaly// Ruk.depon. v VINITI, no. 3870. Vol. 98, Omskij gos.texn. universitet, Omsk, 1998, 16 p.

### Рецензенты:

Куралбаев З.К., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Компьютерные технологии» Алматинского университета энергетики и связи Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Алматы;

Искакова С.К., д.т.н., профессор кафедры «Информационные технологии» Международной академии бизнеса Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Алматы.

Работа поступила в редакцию 13.01.2014.