

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РИСКОВ

Абасов Н.В., Осипчук Е.Н.

*Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН, г. Иркутск,
nva@isem.sei.irk.ru, eugene.os@mail.ru*

APPLICATION OF RESERVOIR MODELING SUBSYSTEM FOR WATER-MANAGEMENT RISKS ESTIMATION

Abasov N.V., Osipchuk E.N.

Energy Systems Institute of the SB RAS, Irkutsk

Рассматривается подсистема моделирования водохранилища и её применение для оценки водохозяйственных рисков, связанных с маловодными периодами и повышенной водностью на проектируемых водохранилищах, являющейся базовой для разрабатываемой в ИСЭМ СО РАН системы предварительного проектирования и анализа гидроэнергетических схем развития.

The paper gives description of reservoir modeling subsystem and its application for water-management risks estimation. The risks are related to water-short and higher water periods on designed reservoir. The subsystem is fundamental part of the system, which are developed at the Energy Systems Institute of the SB RAS for preliminary designing and analysis of hydroelectric plans progress.

Экономическая реализация запасов гидроэнергоресурсов Сибирского и Дальневосточного округов может позволить увеличить выработку гидроэнергии страны в несколько раз. Несмотря на дороговизну проектов по созданию новых гидроэнергетических сооружений, продолжаются исследования по разработке планов гидроэлектрификации страны современного уровня (например, долговременный проект Б.В. Ерахтина [1]).

Опыт гидроэнергетического строительства показал, что многие возникающие впоследствии водохозяйственные и экологические проблемы рассматривались недостаточно глубоко на стадиях проектирования, а перепроектирование представляет еще более сложную задачу. В связи с этим целесообразным является проведение тщательных исследований по оценке различных рисков на предварительных стадиях проектирования ГЭС.

Современные информационно-вычислительные средства (ГИС, АСУ, системы имитационного моделирования и др.) позволяют на новом уровне исследовать безопасность и оперативно проводить оценки по различным потенциальным рискам проектируемых ГЭС. Существуют также специализированные системы управления водными ресурсами (например, программный комплекс МИКЕ11[2]), однако данные системы, как правило, являются коммерческими закрытыми разработками, которые сложно адаптировать к новым методам исследования.

В предлагаемом подходе [3] главный упор делается на создание мобильной кроссплатформенной технологии, основанной на компонентном подходе, с возможностью взаимодействия с различными свободно-распространяемыми программными продуктами.

Разрабатываемая в ИСЭМ СО РАН система Анализа, Проектирования и Имитационного Моделирования ГидроЭнергетических Схем развития энергетики (АПИМГЭС) опирается на

прогностические показатели различных вариантов притока, формируемые системой ГИПСАР [4]. Подсистема моделирования водохранилища, состоящая из компонентов АПИМГЭС, позволяет исследовать режимы работы одной или нескольких ГЭС и их взаимодействие, оценивать влияние ГЭС на окружающую среду, проводить оценки затопляемой территории во время повышенных паводков.

1. Структура и функции подсистемы для моделирования водохранилища. По данным спутникового зондирования рельефа местности высокого разрешения от NASA (с точностью $3'' \times 3''$ сеточного разрешения), крупномасштабных карт множества ГИС-проектов (ArcGIS, Mapinfo, SAGA и др.), распределённых точечных данных информационно-прогностической системы ГИПСАР [4] подсистема позволяет оперативно исследовать различные зоны затопления и характеристики водохранилищ проектируемых ГЭС различного класса: отображать границу затопления в пределах от уровня мертвого объема (УМО) до нормального (НПУ) и форсированного (ФПУ) подпорных уровней; рассчитывать площадь зеркала и объём водохранилища, устанавливать их зависимости от уровня воды; рассчитывать время наполнения водохранилища при различных прогностических показателях притока.

Подсистема включает следующие базовые компоненты: растрового и векторного моделирования рельефа и водохранилища; формирования модели плотины ГЭС; определения контура водохранилища с расчетом его характеристик.

Компонент растрового моделирования (рис.1а) по задаваемому соответствию цветовой палитры и диапазону высот опорных точек спутникового зондирования позволяет интерактивно визуализировать карты с расположением гидроэнергетических и пространственных объектов (организованных в виде слоев), менять масштаб отображения, определять координаты задаваемых узлов, находить минимальные и максимальные высоты выбранного региона, уточнять русла рек с использованием метода наискорейшего спуска. Компонент векторного моделирования (рис.1б) позволяет выбирать необходимый ракурс обзора через углы поворота, смещение и масштабирование в трёхмерном пространстве.

2. Технология работы подсистемы моделирования водохранилища. Разработанная технология для моделирования водохранилища проектируемой ГЭС включает: 1) выбор блока данных исследуемого региона из хранилища; 2) построение растровой и векторной моделей рельефа с нанесением пространственных объектов; 3) ввод параметров плотин (двух опорных узлов на границах створа реки, толщины, высоты гребня плотины и др.); 4) ввод параметров водохранилища (УМО, НПУ, ФПУ и др.); 5) моделирование заполнения и расчёт характеристик водохранилища.

Для формирования контура водохранилища, нахождения его площади $S(h)$ и объёма $V(h)$ для заданной высоты верхнего бьефа h разработаны алгоритмы на растровой (аналогично алгоритму закрашки многосвязной области в машинной графике) и векторной моделях рельефа.

Пусть множество узлов сетки зондирования: $\Omega = \{p_j : i \in I, j \in J\}$, $I = \overline{1, n}$, $J = \overline{1, m}$. Массив узлов водохранилища: $R(h) = \{a_{x(k), y(k)} : k = \overline{1, N^R(h)}, x(k) \in I, y(k) \in J\}$, $R(h) \subset \Omega$, где $N^R(h)$ – число узлов водохранилища. $\tilde{R}(h_1, h_2) = R(h_1) - R(h_2)$, $h_1 > h_2$ – узлы затопления между уровнями h_1 , h_2 .

Для режимов водохранилища определяются: $\tilde{R}(H^{\text{ФПУ}}, H^{\text{НПУ}})$ – территория затопления форсированного режима; $\tilde{R}(H^{\text{НПУ}}, H^{\text{УМО}})$ – территория затопления нормального режима, $\tilde{R}(H^{\text{УМО}}, h_0)$ – территория полного затопления.

Площадь водохранилища оценивается: $S(h) \approx s \cdot (N^R(h) + \frac{K(h)}{2})$, где $K(h)$ – количество граничных узлов с берегом, s – площадь узла регулярной сетки. Объём водохранилища:

$$V(h) \approx s \cdot \sum_{k=1}^{N^R(h)} (h - a_{x(k) y(k)})$$

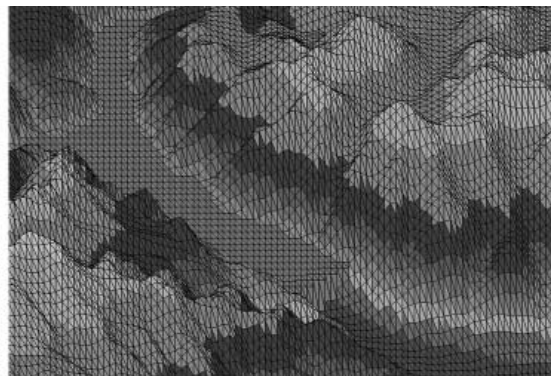
Формируемая зависимость $V(h)$ передается компоненту АПИМГЭС для моделирования гидроэнергетического потенциала, который по данным прогноза притока, критериев оптимизации и ограничений проводит основные энергетические и водные расчёты: высоту верхнего и нижнего бьефа, фактическую и потенциальную выработку электроэнергии ГЭС и др.

Гидроэнергетический потенциал $E(t)$ за период t определяется в виде: $E(t) = m \cdot \int_0^t w(t) \cdot h(t) \cdot dt$, где m – некоторый постоянный коэффициент, $w(t)$ – суммарный приток в водохранилище.

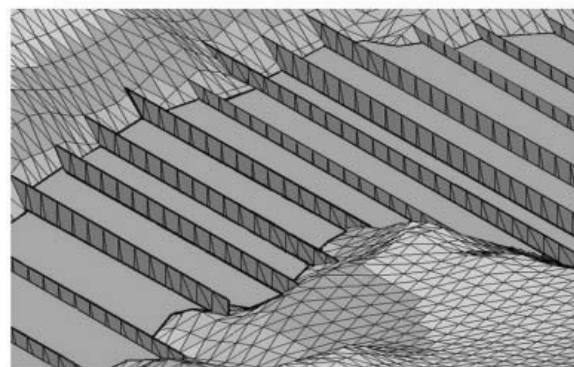
Режим работы ГЭС определяется регулированием объёма водохранилища вида: $\int_{t_0}^t w(t) dt - \int_{t_0}^t q(t) dt = V(t) - V(t_0) - u(t, t_0)$, где $q(t)$ – расход, пропускаемый через турбины ГЭС, $u(t, t_0)$ – объём воды, связанный с испарением, фильтрацией и подземным стоком.



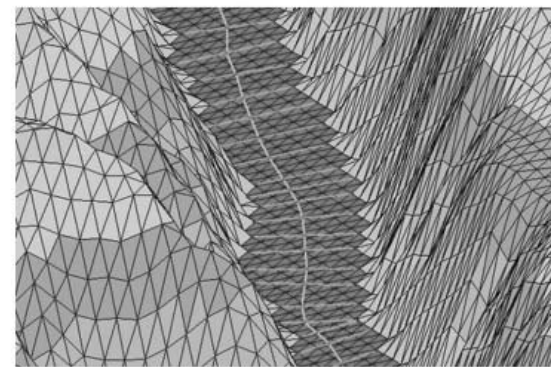
а)



б)



в)



г)

Рис.1. Примеры использования подсистемы моделирования водохранилища:

- а) исследование территории Тункинской долины, чувствительной к поднятию уровня воды,
- б) моделирование Мондинской ГЭС [1], в) размещение виртуального каскада для моделирования наводнений, г) формирование направляющей русла реки Иркут для моделирования наводнений.

Специальные компоненты АПИМГЭС для оценки рисков проводят анализ полученных гидрологических и энергетических характеристик с учётом энергетических, экологических, водохозяйственных и других требований.

3. Моделирование паводков. При формировании прогностических показателей повышенной водности, создающих угрозу наводнений, подсистема может использоваться для их моделирования в различных створах реки. В настоящее время разрабатывается компонент гидродинамического моделирования на основе двумерных уравнений Сен-Венана [5]. Для упрощённых оценок зон затопления разработан подход, включающий формирование виртуальных плотин. При этом в выбранном створе размещается виртуальная плотина, моделируется виртуальное водохранилище, определяется площадь и объём затопления, исследуется затопляемая территория для разного уровня подъёма реки. Для более точного определения контура затопления может быть размещён виртуальный каскад (рис.1в) с указанием шага расположения плотин. Также для моделирования паводков используется компонент поднятия уровня воды на одинаковую высоту вдоль русла реки (рис.1г).

Заключение. Разработанные компоненты моделирования водохранилища позволяют оперативно формировать калибровочные показатели его объёма и площади зеркала для различного уровня верхнего бьефа, что является основой исследований по анализу территорий, подвергающихся регулярному воздействию его проектируемой призмы сработки. Использование технологий виртуальных водохранилищ и компонента гидроэнергетического моделирования позволяет исследовать зоны затопления нижнего бьефа при различных прогностических и моделируемых паводках.

Литература

1. Ерахтин Б.М., Ерахтин В.М. Строительство гидроэлектростанций в России. Учебно-справочное пособие для вузов и инженеров гидростроителей. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. - 732 с.
2. Описание MIKE 11 – http://www.volgaltd.ru/images/docs_file/mike_11.pdf
3. Абасов Н.В., Осипчук Е.Н. ГИС-поддержка моделирования гидроэнергетического потенциала проектируемых ГЭС // Сб. трудов межд. научно-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», Санкт-Петербург, т.2. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - С.66-70.
4. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Резников А.П. Долгосрочный прогноз природообусловленных факторов энергетики в информационно-прогностической системе ГИПСАР // Известия РАН, Энергетика, 2000, №6, С. 22-30.
5. Абдураимов М., Музафаров Х.А., Путтиев А.А. Движение вод в открытых руслах (уравнения Сен-Венана) // Математическое моделирование. Вычислительные алгоритмы и методы. - 1998, Т.10, №6 С.97-106.