

УДК 532.54+519.816

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СППР ПО УПРАВЛЕНИЮ КАСКАДОМ ВОДОХРАНИЛИЩ

С.В. Шатохин, М.И. Железняк, А.И. Заславский, О.В. Шатохина
Институт проблем математических машин и систем НАН Украины
e-mail: serj@env.com.ua

I. ВВЕДЕНИЕ

Государственным комитетом водного хозяйства была поставлена задача разработки СППР при управлении каскадом Днепровских водохранилищ.

Все известные из литературы модели водохозяйственных систем можно условно разделить на две большие группы: 1) имитационные, которые построены с использованием теоретических законов гидродинамики и используются для прогнозирования разнообразных процессов; 2) оптимизационные модели, которые используются для поиска в некотором понимании наилучших решений. Любая автоматизированная система управления (АСУ) должна представлять собой некоторое взаимодействие оптимизации и имитации, т.е. имитационную систему [1].

Разработка диспетчерских правил управления отдельным водохранилищем различного назначения достаточно широко освещена в литературе в отличие от теории работы каскадов водохранилищ и методики оптимизации их режимов. Попытка создания основ такой теории сделана в работе [2]. Из известных разработок можно упомянуть систему RiverWare [3], которая имеет уклон на оптимизацию выработки гидроэнергетики.

II. БАССЕЙН РЕКИ ДНЕПР

Водные ресурсы Днепра используются в Украине для навигации, производства гидроэлектроэнергии, водопользования, ирригации, коммерческого отлова рыбы. Для эффективного использования водных ресурсов было создано шесть водохранилищ от Киева до Каховки, общим объёмом около 44 куб. км. Гидротехнический комплекс водохранилищ включает низконапорные гидроэлектростанции, большие водозаборные насосные станции, водозаборные сооружения больших региональных каналов, защитные сооружения и противоточные системы вдоль берегов водохранилищ.

Основным документом, регламентирующим управление каскадом водохранилищ, на сегодняшний день является [4].

Для оперативного управления Днепровским каскадом раз в месяц собирается Межведомственная Комиссия. При необходимости, могут проводиться специальные заседания в зависимости от складывающейся гидрометеорологической или экономической ситуации. Управление Днепровским каскадом в течение конкретного месяца производится Государственным Комитетом водного хозяйства.

Комиссия принимает решения о:

- минимальных и максимальных расходах для водохранилищ каскада;
- минимальных уровнях воды в водохранилищах с учетом санитарных условий;
- диапазоне вариаций месячных уровней воды в водохранилищах;
- диапазоне суточных колебаний уровня вод в связи с работой гидроэлектростанций.

При этом учитывается использование водных ресурсов Днепра для: 1) водоснабжения населенных пунктов; 2) промышленного водоснабжения; 3) орошения и увлажнения земель; 4) гидроэнергетики; 5) рыбного хозяйства; 6) водного транспорта; 7) рекреации (включая спорт, туризм, охоту, рыболовство и другое).

Для определения модели управления Днепровскими водохранилищами ПЭВ требуется следующая базовая информация:

- годовой сток реки Днепр в створах дамб ГЭС и в устье реки с вероятностью превышения 10, 25, 50, 75, 95 %;
- уровни воды в водохранилищах в условиях нормальной сработки уровня, уровни мертвого объема, минимального навигационного уровня;
- регулирующая емкость водохранилищ (летом и зимой), кривые объемов и площадей водохранилищ;
- тип регулирования стока для каждого из водохранилищ: 1) Киевское, Кременчугское и Каховское водохранилища являются водохранилищами сезонного и годового регулирования; 2) Каневское, Днепродзержинское и Днепровское - водохранилища с суточным регулированием стока.

III. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В связи с сезонными колебаниями уровня воды на реке Днепр было построено 6 водохранилищ. Их цель - аккумулировать воду в период весеннего половодья и увеличивать уровень воды в реке в летний период. Задача состоит в оптимальном распределении водного ресурса по водохранилищам с учётом требований и ограничений различных отраслей народного хозяйства.

А. Водный баланс

Для построения математической модели использовалось уравнение водного баланса как модель для отдельно взятого водохранилища.

$$\frac{dV_i(t)}{dt} = Q_i(t) - q_i(t) + q_i^b(t) \quad (1)$$

где $Q_i(t)$ - количество воды, поступающее в i -ое водохранилище по Днепру,

$q_i(t)$ - количество воды, которое сбрасывается в нижний бьеф,

$q_i^b(t)$ - величина, отображающая суммарное изменение воды в водохранилище (испарение, осадки, водопотребление, боковые притоки и т.п.),

$V_i(t)$ - объём воды в i -ом водохранилище,

$t \in [0, T]$ - время.

При объединении водохранилищ в каскад получаем:

$$Q_{i+1}(t) = q_i(t), i = \overline{1, 6} \quad (2)$$

Начальные условия $V_i(0)$ - известны на момент начала расчёта, $Q_i(t)$ - берётся из прогноза гидрометцентра. $q_i^b(t)$ - рассчитывается на основе статистических данных исходя из прогноза гидрометцентра.

В. Целевые функции

Так как в управлении водохранилищами заинтересованы различные отрасли народного хозяйства, сформулировать одну целевую функцию не всегда возможно. Поэтому мы имеем многоцелевую задачу. На практике эксперты из различных отраслей обсуждают предложения по желаемому уровню в водохранилищах на определенную дату. Исходя из этого, основным критерием оптимизации является максимальное приближение уровней водохранилищ к желаемым уровням.

$$\sum_{i=1}^6 (H_i(t) - \bar{H}_i(t))^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

где $H_i(t)$ - уровень воды в i -ом водохранилище.

При нересте рыбы очень важно избегать резких изменений скорости течения. Это описывается следующим критерием:

$$\max_{i=1,6} q_i(t) \rightarrow \min \quad (4)$$

Возможны и другие критерии, связанные с оценкой экологических или экономических показателей.

С. Ограничения

Ограничения могут быть наложены на максимальный и минимальный уровень каждого водохранилища в течение заданного промежутка времени. Так, например, слишком низкий уровень может мешать судоходству, а слишком высокий может вызвать подтопление жилых территорий. Также ограничения могут быть наложены на минимальный и максимальный сброс воды в нижний бьеф. Малый сброс не позволит гидроэлектростанциям вырабатывать необходимое количество энергии, а слишком большой может вызвать разрушение строений.

IV. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Задача представляет собой задачу многокритериальной нелинейной оптимизации. Так как некоторые критерии заранее неизвестны, то задача решалась в общем виде. Для решения был использован программный модуль DONLP2 [5]. Пакет предназначен для решения задач нелинейного программирования на основе SQP метода и построен на компромиссе между простыми (быстрыми) и сложными (медленными) методами.

Этот пакет был выбран, исходя из следующих соображений: 1) возможность решать задачи оптимизации при нелинейной целевой функции и нелинейных ограничениях; 2) наличие подробной документации по использованию и настройке; 3) доступность исходных кодов и сравнительно простая адаптация под разные платформы; 4) отсутствие лицензионных ограничений при использовании в научных целях; 5) наличие встроенного аппарата расчёта градиентов различной степени точности с возможностью задания градиентов аналитическими функциями; 6) наличие в Интернете большого числа позитивных отзывов различной степени давности, что говорит о стабильности продукта.

При выборе пакета также рассматривались: CONOPT, Excel and Quattro Pro Solvers, GINO, GRG2, SQP, Harwell Library, ILOG, LANCELOT, LINGO, What'sBest, NLPJOB, NLPQL, NLPQLB, NOVA, OPTIMA Library, PROC NLP, COOOL, StarFLIP.

Многокритериальная задача сводилась к однокритериальной задаче с помощью весовых коэффициентов согласно [6].

Время рассматривалось как дискретная величина. Даты, на которые необходимо произвести расчёт, считаются известными. На практике используются расчёты на каждую декаду месяца.

Уровень воды в водохранилище связан с объёмом воды в нём. Учитывая сложную форму профиля водохранилищ, пересчёт уровней в объёмы и, наоборот, объёмов в уровни с помощью формул даёт очень большие погрешности, поэтому для этих целей использовались таблицы соответствий. Наличие достаточно подробных таблиц позволило ограничиться линейной интерполяцией.

V. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Программная реализация была построена на основе пакета DONLP2 [7]. Программа состоит из двух частей.

Первая часть – математическая, она реализована на Фортране и описывает задачу для применения метода DONLP2.

Вторая часть обеспечивает графический интерфейс для работы с пользователем. Графическая часть обеспечивает просмотр, подготовку данных, подготовку входных файлов для математической части, запуск математической части, разбор и интерпретация выходных файлов с предоставлением пользователю результатов расчёта в виде таблиц и графиков. Графическая часть также отвечает за проверку корректности данных, выдачу рекомендаций по вводу данных, предоставление статистических данных, формирование отчётов.

Графическая часть также отвечает за преобразование данных из единиц измерений, удобных пользователю в единицы измерения, используемые при расчёте. При подготовке данных относительные веса критериев переводятся в абсолютные веса.

Графическая часть была реализована на платформе .NET используя язык C#.

Для хранения расчётов использовались XML-файлы. Это позволило держать в одном файле как входные данные, так и результаты расчётов. Такой подход позволил легко создавать, хранить и иметь возможность проанализировать несколько вариантов расчёта на один период при различных значениях прогнозируемых данных либо весовых коэффициентов.

VI. ВЫВОДЫ

Сочетания современных достижений в области оптимизации с современными техническими возможностями позволило построить систему, которая не только может решать конкретную задачу, но и обеспечивает удобное использование полученной информации через графический интерфейс. Большое количество проверок на корректность совместно с большим количеством статистической информации, которую можно загрузить из шаблонов, позволяет использовать систему как специалисту для точных, подробных расчётов, так и человеку, который лишь поверхностно ориентируется в этой области.

Расчёт занимает порядка секунды, что позволяет оценить большое количество альтернатив в течение короткого времени. Так как количество инстанций, принимающих участие в управлении водохранилищами, достаточно велико, возможность быстрой прикидки имеет очень большое значение.

Разработанная система может быть использована для создания модификаций по управлению каскадами водохранилищ на других реках. Примером такой модификации может служить программа управления каскадом Днестровских водохранилищ, которая была создана позже.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный программный продукт успешно используется в Государственном Комитете водного хозяйства Украины.

Литература

1. Моисеев Н.М., ред. Современное состояние теории исследования операций М.: Наука, - 1979.- 464 с.
2. Ветков Е.В. и др. Оптимальные режимы гидроэлектростанций в энергетических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1984.- 303 с.
3. RiverWare” Center for Advanced Decision Support for Water and Environmental Systems <http://cadswes.colorado.edu/riverware/>
4. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду, Міністерство екології та природних ресурсів України; Державний комітет України по водному господарству; Український науково-дослідний інститут водогосподарсько-екологічних проблем. 2001.
5. P. Spellucci. A new technique for inconsistent QP problems in the SQP method. Math. Meth. Oper. Res., 47(3):355-400, 1998.
6. В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов, Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем. Нижний Новгород, 2001 <http://www.nntu.sci-nnov.ru/RUS/Amf/BOOK/titul.htm>
7. “DONLP2” Peter Spellucci <http://www.netlib.org/opt/donlp2/>