

Уважаемый Председатель, Уважаемые коллеги!

Разрешите представить доклад «Оптимизационный подход к управлению Ангаро-Енисейским каскадом»

Слайд 2

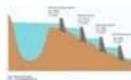
Будут рассмотрены методы построения наилучших правил управления, обеспечивающих устойчивое функционирование водохозяйственных систем, обсуждены методы построения оптимальных компромиссных ДГ, приведены методы оценки управления с использованием критериев статистической надежности.

Слайд 3

В бассейнах крупных рек с большим количеством водохранилищ необходимо, с одной стороны, принимать оперативные решения по пропуску половодий через гидротехнические сооружения, с другой - обеспечивать гарантированное водоснабжение всех водопользователей в период маловодья. При этом необходимо обеспечить соблюдение требований водопользователей к расходам и уровням воды.

Слайд 4

Типичным примером такой водохозяйственной системы является Ангарский каскад водохранилищ, включающий: озеро Байкал, Иркутское, Братское, Усть-Илимское и Богучанское водохранилища. В качестве примера будем использовать водохозяйственную систему, включающую озеро Байкал и Иркутское водохранилище.



Во многих случаях не существует однозначного правила регулирования и приходится принимать решение из нескольких компромиссных вариантов, учитывающих противоречивые требования водопользователей. Инструментом управления являются ДГ, разрабатываемые на основе многолетних гидрологических рядов и требований водопользователей. Однако, как показывает практика, методы оптимизации дают существенно лучшие показатели надежности, чем ДГ. Цель доклада – продемонстрировать программное обеспечение, позволяющее на основе методов оптимизации формировать как оптимальные в смысле Парето ДГ, так и попуски из водохранилищ в оперативном режиме.

Слайд 5

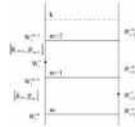
В Методических указаниях по разработке ПИВР приведены требования к построению ДГ, сформулирована процедура контроля и определены критерии оценки надежности. ДГ устанавливает правила определения попусков из водохранилища в зависимости от уровня воды и периода года. ДГ представляет собой набор кусочно-линейных функций (перебойных линий), определенных на дискретном наборе периодов времени. Для каждого периода и зоны между двумя соседними перебойными линиями указывается диапазон уровней и попусков. На слайде приведены координаты ДГ графической и табличной форме.





Слайд 6

Приняты следующие два принципа управления работой водохранилища по диспетчерским графикам: прямой и обратный. Уровень воды на плотине в конце расчетного периода времени определяется уровнем на начало периода, прогнозом притока и диапазоном допустимых попусков для зоны, в которой уровень находился в начале или в конце периода.



Слайд 7

В среде Excel на Visual Basic разработана программа для выполнения водохозяйственных расчетов Ангарского каскада водохранилищ с использованием многолетних рядов притоков на основе заданных координат диспетчерских графиков. На слайде представлен фрагмент таблицы Excel для водохозяйственных расчетов по ДГ.

Слайд 8

Основным показателем надежности является вероятность обеспечения потребителей водой. Надежность рассчитывается по формуле на слайде:

где M – количество ненарушенных лет (периодов), N – общее количество лет (периодов) в гидрологическом ряду.

Необходимо определить такую конфигурацию диспетчерского графика, которая обеспечит для каждого водопользователя нормативную надежность, показанную на слайде:

Слайд 9

Если все требования водопользователей удовлетворены с нормативной надежностью, то ДГ может быть введен в эксплуатацию. Если нет, то у разработчика есть четыре проблемы:

1. Правильно ли выбраны координаты ДГ.
2. Можно ли использовать такой ДГ?
3. Позволяет ли емкость водохранилища водосборной территории удовлетворить требованиям водопользователей?
4. Можно ли добиться лучших результатов, используя другие инструменты управления?

Первые две задачи решаются путем поиска оптимальных координат ДГ. Третья и четвертая проблемы связаны с решением сложной оптимизационной задачи большой размерности, требующей разработки специальных методов оптимизации.

Slide 10

Независимыми переменными являются сбросы. Зависимые переменные рассчитываются с использованием известных функций для комплекса “Озеро Байкал–Иркутское водохранилище”:

- Батиграфическая функция;

- Уровень Верхнего бьефа Иркутского водохранилища зависит от уровня озера Байкал и сброса в Нижний бьеф;
- Функция Q/h Нижнего бьефа;
- Функция расчета мощности ГЭС.

Slide 11

Основные критерии

- Навигационный сброс;
- Противопаводковый сброс;
- Мощность ГЭС в зимний период;
- Уровень воды в Байкале на 1 мая.

Slide 12

Мы использовали два алгоритма для нахождения оптимальных координат ДГ.

"Вертикальный" - вычисление оптимальных координат выполняется для всех узлов периода последовательно для всех периодов.

"Горизонтальный" - вычисление оптимальных координат выполняется для всех точек перебойной линии последовательно для всех линий.

Комбинированный алгоритм оптимизации предполагает попеременное использование вертикального и горизонтального алгоритмов.

Slide 13

Результаты оптимизации

- Исходный ДГ 1988;
- ДГ, полученный только с помощью горизонтальной оптимизации;
- ДГ, полученный с помощью горизонтальной и вертикальной оптимизации.

Хотя последний ДГ дает лучшие показатели надежности, управлять по нему невозможно.

Slide 14

Для формирования правил управления на основе оптимизационных методов был разработан специальный алгоритм под названием «Метод пульсирующей пружины».

Необходимо определить сбросы, минимизирующие определенную целевую функцию.

Итерационный алгоритм поиска оптимального решения следующий:

- Первоначальное решение определяется ДГ.
- Нечетный проход. Значения объемов в первом и последнем периоде нечетной двухлетки (1, 3, 5 и т.д.) фиксируются, и Solver-Excel решает задачу минимизации целевой функции соответствующего двухлетки.
- Четный проход – (2, 4, 6 и т.д.) фиксируются при дальнейшей оптимизации.
- Вторая и третья итерации повторяются до тех пор, пока не будет достигнута сходимости целевой функции.

Таким образом, исходная задача оптимизации большой размерности разбивается на оптимизацию двухлетних подзадач, которые можно решить самостоятельно. Такая декомпозиция позволяет использовать многозадачный и многопроцессорный режимы компьютера. На рисунке показано пошаговое изменение целевой функции в результате расчета четырех циклов четных и нечетных проходов.

Slide 15

Для обоснования предложенных подходов были выполнены водохозяйственные расчеты для двух рядов притока 1932-1976 и 1976-2020 гг. с использованием ДГ и оптимизации.

Расчеты показали:

- ДГ хорошо работает для ряда, на котором он создан, и практически не работает на современных рядах;
- Оптимизация обеспечивает хорошую надежность для обоих рядов.

Выводы следующие:

- Генезис климата сильно изменился;
- ДГ следует разрабатывать только с использованием рядов за последние 20-30 лет;
- ДГ необходимо обновлять каждые 10-15 лет;
- Можно обеспечить нормативную надежность даже в маловодные периоды, если правила управления будут построены близко к оптимальным.

Slide 16

На основе оптимизационных методов разработана вычислительная технология, позволяющая формировать режимы работы водохранилища на текущий расчетный период (месяц) в соответствии с регламентом принятия решений Межведомственной рабочей группой. Алгоритм математически строго изложен в статье на слайде.

Slide 17

Для долгосрочного многолетнего прогноза мы рекомендуем использовать данные о притоке за последние 11 лет, поскольку количество осадков довольно хорошо коррелирует с 11-летним солнечным циклом Швабе. На слайде представлен алгоритм формирования прогнозируемого ряда притоков.

Slide 18

Ряд $\alpha + \gamma$ будет использоваться для расчета сбросов методом оптимизации.

Slide 19

Для ряда 1914-1924 гг. экспериментально доказано преимущество предложенного метода. Расчеты проводились по Диспетчерскому графику, оптимизацией по всему ряду и оптимизацией по предложенному алгоритму. Ожидаемый результат получен: надежность по предложенному алгоритму выше, чем по ДГ, но, конечно, хуже, чем при оптимизации для всего ряда.

Slide 20

Основные выводы

- Управление с помощью оптимизации лучше, чем по ДГ.
- Разработано эффективное программное обеспечение для управления с использованием оптимизации.
- Разработан уникальный алгоритм оптимизации, позволяющий быстро решать сложные нелинейные задачи больших размеров.