

**Д.А. Сорокин**

## **Моделирование режимов работ Токтогульского гидроузла на гидрологической модели бассейна реки Сырдарья**

**НИЦ МКВК**

### **Введение**

Гидротехническое строительство крупных водохранилищных гидроузлов требует всестороннего обоснования. Новые сооружения, включаемые в существующие схемы регулирования и использования стока, должны быть исследованы не только с точки зрения технических предложений, но и водохозяйственных условий, в увязке возможных вариантов их будущего использования. Чтобы эффективность работы новых сооружений была максимальной, они должны стать неразрывной частью всего бассейна, рассматриваемого как природно-техническая управляемая система (учет требований экологии, экономик стран и др.)

Важную, если не определяющую, роль в рациональном использовании гидроузлов бассейна Сырдарьи играют существующие объекты, в первую очередь Токтогульский гидроузел, а также другие водохранилища (Кайракумское, Чардаринское и др.), имеющие свои ограничения, определяемые техническими особенностями сооружений, главным образом в определении экстремальных (максимальных, минимальных) объемов наполнения и сработки водохранилищ.

В настоящее время режим работы Токтогульского гидроузла определяется договоренностью между тремя странами: Кыргызстаном, Казахстаном и Узбекистаном.

Каждый сезон (вегетация, межвегетация) режим работы Токтогульского водохранилища в увязке с другими водохранилищами бассейна Сырдарьи (Андижанским, Чарвакским, Кайракумским и Чардаринским) планируется БВО «Сырдарья» и утверждается МКВК.

Влияние Токтогульского водохранилища распространяется на весь бассейн Сырдарьи. От его работы зависит:

- Экологическая (санитарная) ситуация по руслам рек Нарын и Сырдарья, главным образом, в летний период;
- Величина дефицита оросительной воды и его распределение в маловодные годы, главным образом, в среднем течении Сырдарьи;
- Попуски в Арнасайскую систему озер из Чардаринского водохранилища, или чрезмерные (когда осенне-зимний режим Токтогула не согласован с

работой Чардаринского гидроузла), с соответствующими последствиями - затоплением орошаемых земель в Узбекистане, или рациональные сбросы в Арнасай, обеспечивающие поддержание Арнасайских озер как экологических объектов;

- Водохозяйственная ситуация в низовьях Сырдарьи в межвегетацию, когда вынужденные сбросы ниже Чардары могут привести к затоплению земель.

Исследование альтернативных вариантов многолетней работы Токтогула, с целью нахождения рациональных (оптимальных) решений, могло бы помочь в выработке правил работы каскадов водохранилищ бассейна Сырдарьи, востребованность которых на сегодня очевидна.

Наилучшим образом исследовать режимы работы Токтогульского гидроузла можно с помощью математических моделей, реализованных в виде компьютерных программ. Модели, описывающие только работу Токтогула неэффективны, необходимы бассейновые модели, построенные на принципах интегрированного управления, оценивающие последствия регулирования стока во всех отраслях экономики, а также в природном комплексе (подача воды в Приаралье и Аральское море), показывающие выходы из критических ситуаций.

В этом направлении существует ряд разработок, в той или иной степени учитывающих требования стран региона и экологии. Некоторые модели ограничены простыми балансовыми уравнениями вдоль русла реки, другие - чересчур сложны и малодоступны, к тому же имеют сложности в сборе и наборе исходной информации. Большинство моделей имеют мало эффективные пользовательские интерфейсы, не раскрывающие интересы пользователей.

## **1. Анализ моделируемой ситуации**

В бассейне реки Сырдарья выделяются бассейны рек Нарына и Карадарьи, бассейны ее левых и правых притоков в пределах Ферганской долины, в среднем течении реки - справа по течению бассейны Ахангарана, Чирчика, Келеса, а в нижнем течении - бассейн реки Арысь. Реки Чу и Талас в настоящее время до Сырдарьи не доходят, хотя раньше они являлись ее правыми притоками. Наиболее крупные реки бассейна Сырдарьи (Нарын, Карадарья, Чирчик) и большинство мелких притоков относятся к рекам снегово-ледникового питания, реки ледниково-снегового питания встречаются только в верховьях реки Нарын и на северных склонах Туркестанского и Алайского хребтов (реки Аксу, Ходжабакирган, Исфара, Сох, Шахимардан, Исфайрам, Акбура). Этим бассейн Сырдарьи отличается от бассейна Амударьи, где преобладают реки ледниково-снегового питания. Вторая особенность бассейна Сырдарьи - его значительно меньшая водоносность по сравнению с бассейном Амударьи (средний модуль формирования стока в бассейне Сырдарьи оценивается в  $8 \text{ л/с км}^2$ , а в бассейне Амударьи -  $11 \text{ л/с км}^2$ ).

В 1975 году было введено в эксплуатацию Токтогульское водохранилище, а в 1980 году - Андижанское. Токтогульское водохранилище было ориентировано

на компенсацию нехватки стока для орошения в Ферганской долине и среднем течении, энергетические и экологические попуски. Ввод в эксплуатацию Токтогульского водохранилища позволил произвести прирост орошаемых земель в количестве 400 тыс. га и повысить водообеспеченность существующего орошения на площади 900 тыс. га в Узбекистане и Казахстане.

Токтогульское водохранилище первоначально проектировалось и строилось для накопления ирригационной воды, требующейся странам Центральной Азии в сезон вегетации хлопчатника. Концепция этого проекта заключалась в том, что воду будут сливать из водохранилища и использовать для орошения полей в весенние и летние месяцы, но эта же сливаемая вода будет одновременно использоваться для выработки электричества, которое будет поставляться в Центральноазиатские республики. Отпуск воды из Токтогульского водохранилища будет прекращаться в конце лета с тем, чтобы заполнить его водой для следующего сезона вегетации хлопчатника. В течение всего этого времени потребности Центральной Азии в электроэнергии будут покрываться его выработкой на других станциях Нарынского каскада.

Анализ показывает, что фактические попуски из Токтогула за последние 10 лет не соответствуют проектному режиму и находятся ближе к энергетическому режиму. За последние годы (5...6 лет) наблюдается тенденция ежегодной сработки Токтогульского гидроузла, что может в будущем привести к возникновению глубоких дефицитов не только в орошаемой земледелии, но и к значительным потерям мощности ГЭС.

Токтогульский гидроузел по проекту должен (как многолетний и сезонный регулятор) предупреждать возможные перебои в маловодные годы в водообеспеченности расположенных ниже орошаемых земель. Этого как раз и не происходит в последнее время.

Опыт последних 10-15 лет показывает, что одним из основных негативных факторов, отрицательно влияющих на равномерность распределения воды, потери и устойчивость управления водными ресурсами, является природная и антропогенная изменчивость стока, последняя непосредственно связана с водохозяйственной политикой независимых государств бассейна.

Если исходить из теории, то наиболее эффективными подходами справедливого регулирования и распределения водных ресурсов бассейна можно признать целевое управление и управление на основе компромисса.

При целевом управлении (планировании) определяется набор планов, один из которых выбирается как наилучший, по заранее определенному набору оценок. Используются имитационные модели, с помощью которых организуются численные эксперименты. Наряду с имитационным моделированием применяется оптимизационное, когда цели выражаются в виде критерия (целевой функции) и исследователь пытается получить оптимальное решение, подбирая для данной задачи приемлемую математическую процедуру.

При компромиссном планировании предполагается, что до начала процесса поиска решения цель не обязательно точно определена. Выполняется ряд итерационных вычислений, когда на некоторой итерации можно получить новое

представление о целях и откорректировать процесс поиска. Исследователь ориентируется на выборе альтернатив, имеющих различные (противоположные) цели, а также выборе уступок и оценок, которые позволяют очертить возможные компромиссы.

Сегодня на основе целевого управления национальными и региональными организациями для бассейна Сырдарьи рассматриваются различные варианты (сценарии) управления, например:

- Вариант, основанный на оптимизации использования водных ресурсов по отдельным государствам и наличия жестких связей между государствами по обмену ресурсами.
- Вариант, основанный на поиске регионального оптимума в распределении ресурсов между государствами и природными комплексами, предполагающий оптимумы по государствам и кооперацию между ними.
- Вариант, игнорирующий государственные границы и рассматривающий регион как единое целое, имеющее единые водно-энергетические ресурсы и производственные мощности.

Наиболее приемлемым признан второй вариант. Он наилучшим образом снижает риск появления таких ситуаций, когда одни государства оказываются в лучшем положении по сравнению с другими (в силу приобретенных ранее выгод).

## **2. Результаты моделирования**

Разработанный комплекс включает:

- Гидрологическую модель, реализованную в виде компьютерной программы,
- Базу данных,
- Пользовательский интерфейс.

Моделируемая система представляет собой стволы основных рек бассейна Сырдарья, разбитые на балансовые участки, с расположенными на них озёрами, водохранилищами, ГЭС, присоединёнными зонами планирования, которые имеют взаимосвязь по водозаборам и сбросам возвратных вод.

Метод представления речной системы - метод графов. Речная система разбиваются на расчетные участки и створы, водохранилища, озера, с агрегированными на них водозаборами в каналы и коллекторные сбросы, которые в алгоритме имитируются сетью дуг-узлов.

На гидрологической модели бассейна Сырдарьи поставлены и проведены серии численных экспериментов по оптимизации режимов работы каскадов водохранилищ и ГЭС бассейна Сырдарьи.

Первая серия была направлена на исследование режимов при существующем составе сооружений, вторая серия – исследование будущих возможных режимов при вводе перспективных водохранилищ.

Первая серия ограничивалась расчетами по четырём вариантам:

- Ирригационному, предусматривающему максимальное удовлетворение требований орошаемого земледелия, с попусками в вегетацию из Токтогула –  $3...8.5 \text{ км}^3$ , в межвегетацию –  $3...5 \text{ км}^3$ ;
- Энергетическому, предусматривающему максимальное удовлетворение требований гидроэнергетики (Кыргызстан), с попусками из Токтогула в межвегетацию  $7...9 \text{ км}^3$ , в вегетацию –  $3.5...4.5 \text{ км}^3$ ;
- «Жесткому» ирригационно-энергетическому, предусматривающему попуски в вегетацию из Токтогула в объеме  $6...7.5 \text{ км}^3$ , в межвегетацию –  $4.5...5.0 \text{ км}^3$ , покрытие (компенсацию) энергетического дефицита в межвегетацию за счет дополнительной выработки электроэнергии (сверх нужд Кыргызстана) в вегетацию;
- «Плавающему» ирригационно-энергетическому, предусматривающему более широкий диапазон попусков, в вегетацию -  $4...8 \text{ км}^3$ , в межвегетацию -  $4.5...6.5 \text{ км}^3$ , улучшенный «жесткий» вариант в направлении снижения дефицитов, ущербов (Арнасай, низовья Сырдарьи) и объемов энергетических компенсаций.

### **3. Анализ результатов моделирования и рекомендации по режимам работы водохранилищ**

Основные результаты исследования режима работы Токтогульского гидроузла по первой серии расчетов:

- Вариант № 1 - Ирригационный режим – дефицит в орошаемом земледелии практически отсутствует. Дефицит в гидроэнергетике – в среднем за период – 25 % от требуемой нагрузки, с максимальным значением – 38 %, средний попуск в дельту Сырдарьи (Казалинск) составляет  $4,6 \text{ км}^3/\text{год}$ ;
- Вариант № 2 - Энергетический режим – дефицит в орошаемом земледелии – 80 % по числу перебойных лет, в среднем за период 4,5 % от лимита, с максимальным значением – 11 %, дефицит в гидроэнергетике практически отсутствует, средний попуск в дельту Сырдарьи –  $5,1 \text{ км}^3/\text{год}$ ;
- Вариант № 3 – «Жесткий» ирригационно-энергетический режим - дефицит в орошаемом земледелии – незначителен, дефицит в гидроэнергетике – в среднем за период 21 % от требуемой нагрузки, с максимальным значением – 26 % (компенсируется объемом – 1,94 млрд кВтч, что меньше, чем установленные 2,2 млрд кВтч), попуск в дельту –  $4,4 \text{ км}^3/\text{год}$ ;
- Вариант № 4 – «Плавающий», ирригационно-энергетический режим - дефицит в орошаемом земледелии практически отсутствует, дефицит в

гидроэнергетике меньший, чем в 3-м варианте и составляет в среднем 13,7 % от требований, (компенсация не превышает 1,5 млрд кВтч), попуск в дельту – 4,7 км<sup>3</sup>/год.

Автором не рассматривался сценарий, при котором попуски из Токтогула в межвегетацию превышают 8...9 км<sup>3</sup> (при выдерживании попусков в вегетацию в районе 6..6,5 км<sup>3</sup>). Такой режим приводит к сработке водохранилища, потерям в напоре ГЭС и ущербам, главным образом, в энергетике.

Данные результаты не претендуют на точность, поскольку в некоторые исходные данные заложены осредненные по бассейну значения продуктивности водных ресурсов, цены на электроэнергию и стоимости эксплуатационных затрат (пользователь ГМ сам может вводить данные показатели по своему усмотрению или импортировать их из других моделей, скажем, из модели зон планирования, где эффективность использования воды рассчитывается). Главное – сравнительный анализ и выявление общих тенденций и особенностей.

**Расчетные варианты на перспективу**

<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>Характеристика</b>
1	Энергетический	Оптимизация по критерию: максимум чистого дохода от выработки Нарынских ГЭС
2	Ирригационный	Оптимизация по критерию: максимум чистого дохода в орошаемом земледелии
3	Ирригационно-энергетический	Фиксированный режим работы Токтогульского водохранилища по договорённости между государствами. Оптимизируются режимы других водохранилищ.
4	Ирригационно-энергетический	Оптимизация по критерию: максимум суммы чистых доходов в орошаемом земледелии и гидроэнергетике минус ущербы от недодачи воды в Приаралье.
5	Ирригационно-энергетический (рекомендуемый)	То же, что и 4-й вариант плюс компенсация Кыргызстану при возникновении дефицита на Нарынском каскаде.
6	Энергетический + ирригационные компенсаторы	То же, что и 1-й вариант, но при вводе в эксплуатацию ирригационных компенсаторов (Резаксай, Кенкульсай, Арнасай, Коксарай).
7	Энергетический + Камбарата	То же, что и 1-й вариант, но при вводе в эксплуатацию Камбаратинских ГЭС
8	Ирригационно-энергетический + Камбарата	То же, что и 4-й вариант, но при вводе в эксплуатацию Камбаратинских ГЭС.

Таблица 2

**Дефициты в орошаемом земледелии (км<sup>3</sup>/год) и гидроэнергетике (млрд кВтч) в Узбекистане, Казахстане и Кыргызстане при различных вариантах работы водохранилищ бассейна - выборка из расчетного ряда (20 лет)**

Варианты	Дефицит в орошении		Дефицит в энергетике	
	Узбекистан + Казахстан		Кыргызстан	
	Средн.	Макс.	Сред.	Макс.
1. Энергетический (оптимизация)	2,14	3,14	0,30	1,37
2. Ирригационный (оптимизация)	0,39	1,77	2,20	5,40
3. Ирригационно-энергетический (имитация)	0,50	2,19	0,90	2,00
4. Ирригационно-энергетический (оптимизация)	0,40	1,69	1,00	2,30
5. Ирригационно-энергетический (компенсация)	0,40	1,69	0,30	1,35
6. Энергетический + ирригационные компенсаторы	0,97	2,26	0,30	1,37
7. Энергетический + Камбарата	1,00	2,28	0,00	0,00
8. Ирригационно-энергетический + Камбарата	0,10	0,60	0,00	0,00

### Общие выводы

Разработанная гидрологическая модель и соответствующее программно-информационное обеспечение имеет элементы системы принятия решений - модель создана с целью ответа на вопросы «что будет, если...». Какие требования на воду могут быть у государств бассейна в перспективе, если развиваться они будут, ориентируясь исключительно на собственные потенциалы и возможности? А если государства будут интегрированы в единое экономическое пространство, предполагающее координацию управления водой, с целью достижения регионального благополучия и безопасности?

Разработанная модель, интерфейс и предлагаемые режимы управления водными ресурсами ориентируются на пользователя, в качестве которого могут выступать, главным образом, исследователи, а также лица, принимающие решение. Однако, современные требования к управлению предполагают его более демократический характер, с вовлечением в его процессы самих водопользователей и водопотребителей. Поэтому, диапазон лиц и организаций, заинтересованных в использовании данного инструмента, может быть расширен.

Анализ показывает, что назрела необходимость в разработке долгосрочного соглашения между государствами бассейна, где должны быть гарантированы обязательства по режимам работы водохранилищ за ряд лет, включающих маловодные и многоводные периоды. Для этого было бы хорошо обосновать и согласовать между странами перспективный состав водохранилищ и ГЭС. Такого рода обоснования необходимо выполнять на основе детальных модельных исследований.

В этом плане выполненную работу по разработке гидрологической модели можно рассматривать как один из возможных элементов будущей системы рационального управления водными и энергетическими ресурсами в бассейне Сырдарьи.

### Литература

1. Духовный В., Сорокин Д.. Проблема изменения климата или проблема управления? (Водообеспеченность Центральноазиатского региона в свете современных волнений) // Экономический вестник Узбекистана. - 2004. - № 1-2. – С. 45-49.
2. Резниковский А.Ш., Рубинштейн М.И.. Диспетчерские правила управления режимами водохранилищ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. - 105 с.
3. Оптимизационная модель бассейна Аральского моря (ASBOM). Описание и руководство. - Ташкент, 2002. (Royal Haskoning).
4. Программа бассейна Аральского моря (Проект Управления Водными Ресурсами и Окружающей Средой. Подкомпонент А1). RIBASIM, Учебное пособие по водно-энергетическим вопросам для семинара стран Центральной Азии. - Ташкент, 2002. (Royal Haskoning. Агентство GEF МФСА.)
5. Resource Analysis, SIC/ICWC, UNDP, World Bank. ASBmm the Aral Sea Basin management model, Version 2.3. Delft, 2002.
6. Сорокин Д.А.. Варианты интегрированного управления водохранилищами бассейна реки Сырдарья // Материалы Центральноазиатской международной научно-практической конференции. - Алматы, 2003. – С. 79-85.
7. Хамидов М.Х.. Организация управления водными ресурсами в бассейне реки Сырдарья. Бассейновое водохозяйственное объединение «Сырдарья» // Материалы Центральноазиатской международной научно-практической конференции. -Алматы, 2003. – С. 55-59.
8. Леннартс А., Ганн С., Смит У.. Инструментарий принятия решений для управления водными ресурсами бассейна реки Сырдарья. Проект по трансграничным водам и энергетике / РА Consulting Group. // Материалы Центральноазиатской международной научно-практической конференции. - Алматы, 2003. – С. 69-79.