

## **УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМ И НАНОСНЫМ РЕЖИМАМИ ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА АМУДАРЬИ: ИНСТРУМЕНТЫ И ОЦЕНКА**

**Сорокин А.Г.**

*Научно-технический центр “Тоза Дарье” (Чистая река), Узбекистан, 700187,  
Ташкент, м-в Карасу-4, 11*

Настоящий доклад подготовлен в рамках работ по проекту Джайхун INCO-СТ-2005-516761 - Управление рисками межгосударственных водных ресурсов: навстречу устойчивому будущему для Аральского бассейна (Джайхун - старинное название реки Амударьи).

Особенность региона – концентрация потенциальных гидроэнергетических ресурсов в горной местности. Ирригационные земли расположены в долинах ниже по течению рек. Использование водных ресурсов непосредственно связано с экономикой пяти независимых стран: Афганистана, Киргизстана, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана. Реальные технические возможности регулирования стока для ирригации в настоящее время определяются, главным образом, полезными объемами Нурекского водохранилища и Тюямуонского (включает русловое водохранилище и три наливных – Капарас, Султансанджар и Кошбулак). С учетом заиления водохранилищ и использования водохранилища Капарас в интересах питьевого водоснабжения, общая полезная емкость Нурека и Тюямуона оценивается в 7.3 км<sup>3</sup>, что достаточно для зарегулирования стока Амударьи в объеме 51 км<sup>3</sup>/год. Нурекская ГЭС (мощностью 2.7 млн. кВт) является одним из высоко эффективных энергетических объектов бассейна Аральского моря.

Национальные интересы Таджикистана в бассейне связаны с Нурекским водохранилищем. До распада СССР водохранилище работало в увязке с другими водохранилищами и играло роль ирригационного регулятора. Гидроэнергетика носила подчиненный характер. Избытки электроэнергии транспортировались в другие республики, а зимой электроэнергия возвращалась для покрытия дефицита. Сегодня такая схема не гарантирует выполнения требований энергетики Таджикистана. Начиная с 1991 года, водохранилище практически ежегодно наполняется до максимальной отметки и срабатывается до минимума. ГЭС работает в энергетическом режиме, но не оптимально. Интересы Таджикистана диктуют необходимость исправления режимов Нурека и координации с другими странами бассейна, с целью предотвращения дефицитов воды и потенциальных конфликтов между странами.

Главная функция Тюямуона - удовлетворить потребности питьевого водоснабжения (емкость Капарас) и ирригации Туркменистана и Узбекистана и предотвращение дефицита воды в низовьях Амударьи в маловодные периоды. Эффективность управления водохранилищем зависит от надежности прогноза “остаточного” притока к Тюямуонскому водохранилищу, объективной оценки потерь стока.

Основная задача – разработка гибкого инструмента (методология, модели, компьютерные программы) для управления режимами водохранилищ в бассейне, выбора и анализа альтернатив использования водно-земельных ресурсов.

Моделирование в проекте Джайхун включает расчет водно-солевого и наносного баланса для рек Малого Амударьинского Бассейна (МАБ), водохранилищ и расчет режимов каскада водохранилищ и ГЭС (Нурекское, Тюямуюнское). Комплекс моделей (модули реки и водохранилища) разрабатывается для решения следующих задач:

- Расчет и оценка будущих изменений аккумулирующих емкостей водохранилищ и эффектов управления их заилением в МАБ,
- Расчет и оценка основных альтернатив долгосрочной стратегии распределения водных ресурсов и управления рисками в МАБ, включая экстремальные и реальные сценарии регулирования стока и потерь полезного аккумулирующего объема водохранилищ.

Моделируемая система представляет стволы основных рек бассейна Амударья (Вахш, Пяндж, Кафирниган, Сурхандарья, Шерабад, Амударья), разбитые на балансовые участки, с расположенными на них, водохранилищами, ГЭС, присоединёнными водохозяйственными зонами, которые имеют взаимосвязь по водозаборам и сбросам возвратных вод с речной сетью. Водохозяйственные участки являются специфическими зонами бассейна с природными и административными особенностями, которые имеют ирригационные системы и земли. Система разбивается на расчетные участки и створы, которые в алгоритме имитируются сетью дуг-узлов. Граф  $G(J,I)$  определен как два множества:  $J=\{1,...,j\}$  - вершин (узлов) и  $I=\{1,...,i\}$  - дуг. Каждая дуга  $i$  характеризуется двумя узлами  $(j,k)$ : начальным  $j$  и конечным  $k$ , где  $j \in J$ ,  $k \in J$ ,  $i \in I$ . Модель основывается на уравнениях сохранения количества воды и соли. Соль рассматривается как консервативная примесь. Уравнения решаются для каждого узла.

$$\frac{dW_j}{dt} = \sum_{(k,j) \in I_j^+} Q_{k,j} - \sum_{(j,k) \in I_j^-} Q_{j,k}$$

$$\frac{d(S_j * W_j)}{dt} = \sum_{(k,j) \in I_j^+} (S * Q_{k,j}) - \sum_{(j,k) \in I_j^-} (S * Q_{j,k})$$

Задача заключается в поиске управления  $W_u(t)^*$ ,  $t \in \{0:T\}$ , которое удовлетворяет критерию качества управления и ограничениям. В качестве критерия может выступать (по выбору пользователя) различные условия, в частности - максимум суммарного годового чистого дохода от использования водных ресурсов в водохозяйственных районах, рассчитываемый по продуктивности использования воды в водохозяйственных районах (доход от продажи продукции сельского хозяйства минус затраты) и объему подаваемой воды.

$$\sum_1^Z \left[ P_Z * \int_0^T \sum_{(j,Z) \in I_Z^+} Q_{j,Z} dt \right] \rightarrow \max$$

Основные ограничения:

$$Q_Z^{\max} \geq Q_{j,Z} \geq Q_Z^{\min}$$

$$W_u^{\max} \geq W(t)_u \geq W_u^{\min}$$

где:  $W_j$  – объем воды в  $j$ -ой вершине ( $\text{м}^3$ ),  $S_j$  – минерализация ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $Q_{j,k}$  - расход между вершинами  $j$  и  $k$  ( $\text{м}^3/\text{сек}$ );  $Q_{k,j}$  - расход между вершинами  $k$  и  $j$  ( $\text{м}^3/\text{сек}$ );  $Q_{j,z}$  - расход между вершинами  $j$  и  $z$  ( $\text{м}^3/\text{сек}$ );  $Q_z$  - требуемый приток к узлу  $z$  ( $\text{м}^3/\text{сек}$ );  $z \in J$  - узел потребления (водохозяйственный район, зона Южного Приаралья, Большое Аральское море),  $z \in Z$ ;  $Z$  - количество водохозяйственных районов;  $W_u$  – объем воды в  $u$ -ой вершине ( $\text{м}^3$ ),  $u \in J$  - узел управления (водохранилище),  $u \in U$ ;  $U$  - количество узлов управления,  $I_j^+, I_j^-$  - множества дуг входящих в вершину  $j$  и выходящих из нее;  $P_z$  – продуктивность оросительной воды ( $\$/\text{м}^3$ ),  $t$  – текущая координата времени;  $\theta$  и  $T$  – начало и конец расчетного периода времени.

Другие целевые функции:

- минимум отклонений расчетных значений водозаборов на орошение от установленных лимитов (современные требования),
- максимум суммарного чистого дохода в гидроэнергетике и орошаемом земледелии.

Основой для расчета заиления (входящего в алгоритм модуля водохранилищ) является метод баланса потока наносов по участкам водохранилища. Существуют различные формулы для расчета транспорта наносов (взвешенных, донных) в реках и водохранилищах. Для условий МАБ рекомендуются методы Алтунина С. И Бузунова И. [1], Шамова Г. [2], Лапшенкова В. [3], Скрыльникова И. [4]. Часто в основные методы включаются эмпирические элементы. Для водохранилищ МАБ существует опыт использования коэффициента осветления воды, иначе – изменения (перехода) мутности. Физический смысл коэффициента осветления следующий:

$$P = \frac{t_{in} - t_{out}}{t_{in}}$$

где  $P$  - коэффициента осветления,  $t_{in}$  - мутность воды на входе в водохранилище,  $t_{out}$  - тоже на выходе. Размерность  $t$  г/л или  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Коэффициент  $P$  определяется по различным гипотезам, например, в зависимости от отношения полезного объема водохранилища ( $V_{res}$ ) к объему притока воды в водохранилище ( $W_{riv}$ ), то есть:

$$P = P \frac{V_{res}}{W_{riv}}$$

В середине 50-х годов Бруне Г, исследуя 44 водохранилища в мире, построил данную зависимость (кривые) [4]. Кривые Бруно (они отличаются по размеру наносов) были рекомендованы для оценки заиления водохранилищ Комитетом по заилению водохранилищ Международной комиссии по большим плотинам. Кривые Бруно не плохо характеризуют процессы, происходящие в Нурекском водохранилище [5], но совершенно не пригодны для оценки заиления руслового водохранилища Тюямуонского гидроузла [4]. В конце 80-х годов в САНИИРИ была построена следующая кривая для руслового водохранилища Тюямуонского гидроузла [6]:

$$P = \frac{a + (H - H_{\min})^n}{b + (H - H_{\min})^n}$$

где  $H$  – текущая отметка уровня воды в водохранилище,  $H_{\min}$  – минимальная отметка, близкая к отметке дна водохранилища у плотины,  $a$ ,  $b$ ,  $n$  – эмпирические параметры.

Важно отметить следующее. Кривая  $P(H, H_{\min})$  была исследована в начале 90-х годов для использования при прогнозировании заиления руслового водохранилища Бузуновым Г. в Научно-техническом центре “Тоза Дарье”. Работа выполнялась по договору с Министерством Сельского и Водного Хозяйства Узбекистана. Сегодня параметры  $a$ ,  $b$ ,  $n$  требуют уточнения, что и будет сделано в рамках проекта Джайхун. Для расчета мутности воды в реке Амударья и характеристик нагрузки потока могут быть использованы формулы Гостунского А., Россинского К. [2] и САНИИРИ [6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтунин С.Т. Водозаборные узлы и водохранилища. Москва, Колос, 1964, 431 с.
2. Указания по расчету заиления водохранилищ при строительном проектировании. Ленинград, Гидрометеиздат, 1973, 54 с.
3. Лапшенков В.С. Проектирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. Ленинград, Гидрометеиздат, 1979, 238 с.
4. Скрыльников В, Кеберле С, Белесков Б. Повышение эффективности эксплуатации водохранилищ, Ташкент, Мехнат, 1987, 242 с.
5. Шерман С.С, Рафиков В.А. Заиление Нурекского водохранилища. Гидротехническое строительство. № 3, Москва, Энергоатомиздат, 1990, с. 59-62.
6. Зубарев С.Л., Савицкий А.Г., Сорокин А.Г., Тихонова О.Н. Оперативное и перспективное управление стоком р.Амударьи в Тюямуюнском гидроузле. Проблема Арала и Приаралья. Ташкент, САНИИРИ, 1991, с. 114-122.