

**А.Г Сорокин, А. Назарий**

**Исследование альтернативных сценариев и разработка предложений по рациональному управлению трансграничными водными ресурсами бассейна реки Заравшан**

**НИЦ МКВК**

**Математическая модель и алгоритм расчета регулирования и распределения стока в бассейне реки Заравшан**

Была поставлена задача оценки многолетних и внутригодовых режимов работы водохранилищных гидроузлов с ГЭС, которые при соблюдении определенных требований природного комплекса в рамках установленных лимитов максимально удовлетворяли бы потребности водохозяйственного комплекса, представленного зонами планирования (орошаемое земледелие, питьевое водоснабжение, промышленность) и гидроэнергетикой. Управление режимами работы водохранилищных гидроузлов заключается в выборе оптимального плана

$$W_{G,i} \quad G = 1, k \quad i = 1, R \quad \dots \dots (1)$$

который удовлетворяет цели управления

$$F \longrightarrow \max \quad \dots \dots (2)$$

и системе ограничений

$$C_n(W_{G,i}) = 0, \quad n = 1, u \quad \dots \dots (3)$$

$$Q_s(W_{G,i}) > 0, \quad s = 1, p \quad \dots \dots (4)$$

Здесь:  $W_{R,t}$  - оптимальный объем зарегулированного стока (попуск ниже гидроузла);  $G$  - индекс гидроузла;  $k$  - количество гидроузлов;  $u, p$  - количество ограничений;  $i$  - шаг расчета (месяц);  $R$  - количество шагов (месяцев) в периоде планирования;  $F$  - целевая функция.

Ограничения (3) описывают характер функционирования системы и могут быть представлены водосолебалансовыми уравнениями. Система (4) представляет собой ограничения на допустимые объемы водохранилищ, расходы в реке (экологические требования).

Моделируемая система представлена в виде ориентированного графа, для которого направленные дуги соответствуют объемам: стока реки в расчетных створах -  $W$ ; попусков из водохранилищ -  $WV$ ; водозабора из реки -  $WK$ ;

боковой приточности - WI; сброса коллекторного стока в реку - WCR; сброса в реку оросительной воды (из каналов) - WKR; потерь стока - WP, а узлы - речные участки, водохранилища, места слияния рек, в которых потоки распределяются и для которых решаются балансовые уравнения.

Модель реализована с помощью алгоритма, позволяющего рассчитывать водный баланс водохранилищ и речной системы последовательно по участкам сверху вниз по течению рек.

Для участка реки без водохранилища уравнение водного баланса записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \sum_{N\_UP \in NNL} W(N\_UP, i) + \sum_{I \in INL} WI(I, i) + \sum_{CR \in CRNL} WCR(CR, i) + \sum_{KR \in KRNL} WKR(KR, i) + \sum_{V \in NVL} WV\_OUT(V, i) = \\ = \sum_{K \in NKL} WK(K, i) + \sum_{L \in NLL} WL(L, i) + \sum_{N} WP(N, i) + W(N, i) \end{aligned} \quad \dots (5)$$

Для водохранилища:

$$WV\_iN(V, i) = VV(V, i) + WV\_OUT(V, i) \quad \dots (6)$$

$$\begin{aligned} \sum_{N \in NVL} W(N, i) = WV\_iN(V, i) \end{aligned} \quad \dots (7)$$

$$VK(V, i) = VN(V, i+1) \quad \dots (8)$$

$$VK(V, i) = VN(V, i) + VV(V, i) \quad \dots (9)$$

$$VN(V, i = 1) = VN1(V) \quad \dots (10)$$

где: VV(V, i) - объём наполнения (+) или сработки (-) водохранилища, VN(V, i), VK(V, i) - наполнение водохранилища в начале и конце месяца. Здесь индексы, объекты, и связи L между объектами соответствуют обозначениям, принятым при описании структурного блока.

Водозаборы из реки WK суммируются по агрегированным зонам планирования - K\_UR :

$$\begin{aligned} K\_UR(UR, i) = \sum_{K \in URKL} WK(K, i) \end{aligned} \quad \dots (11)$$

Суммарный сброс возвратных вод из зоны планирования UR\_R распределяется по участкам реки:

$$UR\_R(UR, i) = \sum_{CR} WCR(CR, i) + \sum_{KR} WKR(KR, i) \quad \dots (12)$$

$$CR \in \text{URCRL} \quad KR \in \text{URKRL}$$

Баланс водных ресурсов для зарегулированного участка (водохранилище) вычисляется при условии:

$$V_{\max}(V,i) \geq V(V,i) \geq V_{\min}(V,i) \quad \dots (13)$$

где:  $V_{\max}(V,i)$ ,  $V_{\min}(V,i)$  - максимальные и минимальные допустимые объёмы наполнения водохранилищ.

Для участка реки должны выполняться ограничения:

$$W_{\max}(N,i) \geq W(N,i) \geq W_{\min}(N,i) \quad \dots (14)$$

где:  $W_{\max}(N,i)$ ,  $W_{\min}(N,i)$  - максимальные и минимальные объёмы стока в реке.

### **Компьютерная программа**

Компьютерная программа, реализующая математическую модель, построена для анализа альтернативных сценариев регулирования и распределения стока. Ее можно использовать с целью:

- Планирования распределения стока между потребителями.
- Планирования режимов работы водохранилищ и ГЭС.
- Составления водных балансов участков распределительной сети и водохранилищ.
- Оценки водообеспеченности районов (зон планирования).
- Выявления рисков негативного влияния Яванской ГЭС и др. на водообеспеченность земель Узбекистана и обоснования эффективных режимов регулирования стока водохранилищами, снижающих и предупреждающих эти риски.

Компьютерная программа разработана в системе GAMS.

### **Тестовые расчеты и оценка рисков регулирования стока**

Были выполнены тестовые расчеты, позволившие оценить особенности водохозяйственной ситуации в бассейне в зонах формирования и распределения стока, в частности – значительные неувязки руслового баланса, которые можно отнести на неучтенные потери и боковой приток, а также на неточность измерения стока в отдельных створах.

После проведения тестовых расчетов также было принято решение по *внесению новых дополнений* в компьютерную программу, открывающих поль-

зователю новые возможности по управлению (планированию режимов работы водохранилищ и распределению стока). Такими возможностями являются:

- Подключение/отключение новых водохранилищ и ГЭС (с назначением максимальных регулирующих емкостей).
- Подключение/отключение режима оптимизации регулирования стока, назначение режимов работы водохранилищ пользователем (имитация).
- Ввод функций русловых потерь/фильтрационного притока в русло реки пользователем (в табличной форме), с возможностью последующей корректировки.
- Вывод информации по суммарному бассейновому дефициту (по условному конечному створу) для последующего решения по урезке выделяемых лимитов.
- Ввод коэффициентов урезки лимитов на водозаборы.
- Ввод ограничений по санитарным/экологическим попускам.

Альтернативой отдельных крупных водохранилищ (представляющих определенный риск в части энергетического зарегулирования стока) могут быть каскады малых ГЭС, вырабатывающих суммарную электроэнергию того же порядка.

На примере Матчинской ГЭС были выполнены работы по сравнительной оценке показателей крупного водохранилища и его альтернатив – каскада малых ГЭС, имеющих малые регулирующие емкости. На участке Матчинской ГЭС была исследована возможность расположения малых ГЭС 1 и 2 в двух вариантах – деривационная схема, без деривации. Построено более 200 поперечных сечений реки, продольные профили, схемы альтернативных ГЭС. Используются программы AutoCad, Surfer и GIS.

Сравнение вариантов показало, что в случае замены Матчинского водохранилищного гидроузла с ГЭС емкостью 1 км<sup>3</sup> на две ГЭС с емкостями водохранилищ 0,12 км<sup>3</sup> и 0,15 км<sup>3</sup> по схеме без деривации, потери электроэнергии не превысят 30 %.

При оценке водопотребления Таджикистана следует иметь в виду, что по «Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов р. Амударья» на долю Таджикистана приходится 9,9 км<sup>3</sup> воды, из которых на местные источники (к которым по «Схеме...» относится Заравшан) – 0,4 км<sup>3</sup>. Таким образом, без пересмотра данного вододеления и согласования нового, увеличить свою долю по Заравшану в 0,4 км<sup>3</sup> в год Таджикистан не должен.

Основные риски управления водными ресурсами реки Заравшан связаны с колебаниями стока, которые в будущем будут менее предсказуемы под влиянием климатического фактора, а также в связи с антропогенным фактором - возможным увеличением водозабора и изменением режима реки Заравшан и ее

притоков водохранилищными гидроузлами с ГЭС (Яванская, Матчинская и Дупулинская ГЭС).

Среднемноголетний сток в створе Яванской ГЭС (мощностью 150 МВт, и годовой выработкой 600 млн кВтч) в материалах предварительного ТЭО составляет 4,9 км<sup>3</sup>. Водоохранилище, входящее в состав Яванского г/у, сможет зарегулировать этот сток по энергетическому графику в сезонном режиме, и создать искусственное маловодье в вегетацию для Республики Узбекистан. Насколько велико может оказаться энергетическое влияние Яванской ГЭС, будет зависеть от емкости этого водохранилища.

Если принять вариант в 300 млн м<sup>3</sup> (оценка НИЦ МКВК), то водохранилище, максимально срабатываясь к вегетации, может изъять в первые месяцы вегетации (апрель, май) около 30 % естественного стока, создав соответствующий дефицит. При этом, в апреле приток к Раватходжинский г/у может быть уменьшен до нуля или, в лучшем случае не выше 50 м<sup>3</sup>/сек. Энергетическое перерегулирование стока водохранилищем Яванской ГЭС приведет к увеличению стока в межвегетацию, однако из-за ограниченных регулирующих возможностей водохранилищ Узбекистана не удастся полностью перехватить этот сток, а значит полностью использовать его в вегетацию.

В случае реализации проекта по Яванскому г/у, предусматривающему строительство ирригационного тоннеля расходом 50 м<sup>3</sup>/сек для освоения новых земель Таджикистана в Ура-Тюбинской долине (100 тыс. га), дефицит воды на территории Республики Узбекистан может возрасти на 0,6 км<sup>3</sup> в год или в среднем на 10 % от требуемого водозабора. При неравномерном распределении дефицита по времени он может возрасти для отдельных месяцев в несколько раз.

В случае строительства Матчинской ГЭС, имеющей по проекту водохранилище полезной емкостью 0,8 км<sup>3</sup>, риск снижения водообеспеченности в вегетацию для Республики Узбекистан возрастает. Данное водохранилище в состоянии энергетически зарегулировать 20-25 % вегетационного стока реки Заравшан. Еще больший ущерб может нанести строительство Дупулинской ГЭС с водохранилищем полезной емкостью в 1,6 км<sup>3</sup>.

Сегодня использование водных ресурсов реки Заравшан между Таджикистаном и Узбекистаном не оговорено никакими договорами или соглашениями. Современное суммарное водопотребление в бассейне почти в 1,3 раза превышает поступающий сюда сток. Покрывается такое водопотребление, частично, за счет повторного использования на орошение возвратных вод. В будущем ситуация может осложниться.

Поэтому, необходимо инициировать проекты, снижающие непроизводительные потери стока и риски по регулированию стока (водосбережение, автоматизация распределения воды, альтернативы по каскадам малых ГЭС, подготовка соглашения между Таджикистаном и Узбекистаном).

## Выводы

Бассейн реки Заравшан имеет достаточно сложную морфологическую структуру и отличается несколькими принципиальными особенностями:

- главные источники естественного поверхностного стока бассейна - реки Таджикистана сегодня не зарегулированы, но в будущем это может произойти;
- величины располагаемых водных ресурсов по бассейну зависят от ряда факторов, основными из которых являются естественные колебания водности рек, колебания возвратного стока, русловые потери и др.

В бассейне реки Заравшан функционируют сложные водохозяйственные комплексы, работа которых в последние 10-15 лет затруднена из-за нарастания дефицита водных ресурсов. Ситуацию можно улучшить, если повысить эффективность использования водных и земельных ресурсов, снизить потери. Существуют резервы в регулировании водных ресурсов бассейна, впрочем, как и риски, связанные с возможным зарегулированием стока новыми водохранилищами Таджикистана и увеличением водозабора.

Строительством Заравшанского г/у (плотина, ГЭС, водохранилище, ирригационный тоннель) создаются условия для освоения новых земель (100 тыс. га в Ура-Тюбинской долине) и возможного энергетического зарегулирования стока реки. По предварительной оценке дефицит электроэнергии Таджикской территории бассейна составляет 4 млрд кВт/час в год.

Водоохранилище Заравшанского г/у с объемом 300 млн м<sup>3</sup> может зарегулировать сток реки Заравшан по энергетическому графику в сезонном режиме, создав искусственное маловодье в вегетацию. В то же время, при согласованном ирригационно-энергетическом многолетнем режиме и ограничениях на водозабор работу г/у можно направить на покрытие дефицитов воды в маловодные годы на территории Республики Узбекистан.

Современный водохозяйственный баланс в бассейне р. Заравшан напряженный, а рост численности населения Самаркандской и Навоийской областей требует развития площадей орошения, так как сегодня на душу населения приходится всего 0,14 га орошаемых угодий.

В то же время, объем требуемого водопотребления по бассейну р. Зарафшан за счет развития орошения и промкомбыта в будущем может возрасти, как на территории Узбекистана, так и на территории Таджикистана, что еще больше осложнит водохозяйственный баланс и потребует мер по:

- водосбережению,
- соблюдению минимальных экологических требований к стоку реки,

- жесткому лимитированию водозаборов на бассейновом (между Таджикистаном и Узбекистаном) и национальном уровнях (между областями),
- организации многолетнего регулирования стока и согласованию режимов работы Заравшанской (Яванской) ГЭС.