

8. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. – Москва: Недра, 1970. – 488 с.

9. Door J., Ben-Josef N. Monitoring effluent quality in the hypertrophic wastewater reservoirs using remote sensing. – *Appropri. Waste Manag. Technol. Dev. Countries: Technol Pap. Present // 3rd Int. conf., Nagpur, Febr., 25-26, 1995, T 1.* – Bombay, 1995. – p. 199-207.

Моделирование альтернативных сценариев рационального управления водными ресурсами бассейна реки Заравшан

Сорокин А.Г., Назарий А.М., Гаппаров Б.Х.

Научно-информационный центр МКВК

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 воды. Существуют резервы в регулировании водных ресурсов бассейна и развитии гидроэнергетики.

Программа развития гидроэнергетики Таджикистана разработанная ещё в Советское время (по которой планировалось строительство ГЭС в Заравшанском бассейне) не рассматривала размещение малых ГЭС, что было связано с существовавшей в то время стратегией развития гидроэнергетики, ориентированной только на крупные станции.

При ограниченных собственных средствах Таджикистана сегодня может встать вопрос о пересмотре некоторых приоритетов и стратегии развития гидроэнергетики Таджикистана. При этом, существующие объекты гидроэнергетики Таджикистана не потеряли своего значения, более того, при росте мировых цен на электроэнергию, они стали даже более эффективными. В то же время, необходимо помнить, что альтернативой отдельным крупным водохранилищным гидроузлов с ГЭС могут быть каскады малых ГЭС, вырабатывающих суммарную электроэнергию того же порядка.

В работах академика, заслуженного деятеля Таджикистана Г.Н. Петрова [1, 2] показано, что гидроэнергетика при правильном к ней отношении является не только не конкурентом ирригации, но, наоборот, может быть её союзником. В этом плане каскады малых ГЭС Таджикистана могут стать эффективным решением, снимающим все возможные риски у соседей по энергетическому регулированию стока.

В данной статье приводятся некоторые результаты комплексных исследований НИЦ МКВК для бассейна реки Заравшан, направленных на разработку аналитических инструментов, позволяющих оценивать альтернативные варианты регулирования 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 питьевым водоснабжением, гидроэнергетикой, орошаемым земледелием и промышленностью. Управление режимами работы водохранилищных гидроузлов с ГЭС заключается в выборе оптимального плана:

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

который удовлетворяет цели управления

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

и системе ограничений

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

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

Здесь: $W_{G,t}$ – оптимальный (рациональный) объем зарегулированного стока (попуск ниже водохранилищного гидроузла с ГЭС или каскада ГЭС), 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 водобалансовыми уравнениями. Система (4) представляет собой ограничения на допустимые объемы работы водохранилищ, экологические требования (попуски) и др.

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 (с 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 в низ по течению рек.

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

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

Для водохранилища:

$$WV_iN(V, i) = VV(V, i) + WV_OUT(V, i) \quad (6)$$

$$\sum_{N \in NVL} W(N,i) = WV_iN(V,i) \quad (7)$$

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

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

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

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 водохозяйственным районам - K_UR :

$$K_UR(UR,i) = \sum_{K \in URKL} WK(K,i) \quad (11)$$

Суммарный сброс возвратных вод из зоны планирования UR_R распределяется по участкам реки:

$$UR_R(UR,i) = \sum_{CR \in URCRL} WCR(CR,i) + \sum_{KR \in URKRL} WKR(KR,i) \quad (12)$$

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

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

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

Для участка реки должны выполняться ограничения:

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

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

Разработана компьютерная программа, реализующая математическую модель (1)-(4), которую можно использовать для анализа альтернативных сценариев регулирования и распределения стока, с целью:

- Планирования распределения стока между потребителями и водопользователями.
- Планирования режимов работы водохранилищ и ГЭС в сезонном и многолетнем разрезе.
- Составления водных балансов участков распределительной сети.
- Оценки водообеспеченности районов (водохозяйственных зон).

Дополнительные возможности компьютерной программы (пользовательского интерфейса):

- Подключение/отключение новых водохранилищ и ГЭС (с назначением максимальных регулирующих емкостей) для реки Заравшан и её притоков.
- Подключение/отключение режима оптимизации регулирования стока, назначение режимов работы водохранилищ пользователем (имитация).
- Ввод функций русловых потерь/фильтрационного притока в русло реки пользователем, с возможностью последующей корректировки.
- Ввод коэффициентов урезки лимитов на водозаборы.
- Ввод ограничений по санитарным/экологическим попускам.

Нами были выполнены численные модельные и ГИС исследования по сравнительной оценке показателей крупных водохранилищ с ГЭС и их альтернатив – каскадов малых ГЭС, имеющих водохранилища с малыми регулируемыми емкостями. Например, на участке планируемого расположения 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 размещения альтернативных ГЭС. Использованы программы AutoCad, Surfer и GIS. Подобные работы выполнены и для участка планируемого размещения Дупулинской ГЭС (рис. 1). Сравнение вариантов (табл. 1) показывает эффективность альтернатив (строительные затраты не оценивались).

При оценке водопотребления Таджикистана следует иметь в виду, что по “Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов р. Амударьи” на долю Таджикистана приходится 9.9 км^3 воды, из которых на местные источники (к которым по “Схеме” относится Заравшан) – $0,4 \text{ км}^3$. Таким образом, без пересмотра данного водodelения и согласования нового, увеличить свою долю по Заравшану в 0.4 км^3 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 с антропогенным фактором - возможным увеличением водозабора и изменением режима реки Заравшан и ее притоков водохранилищными гидроузлами с ГЭС (Яванская ГЭС, Матчинская ГЭС, Дупулинская ГЭС).

Водохранилища, входящее в состав Яванской ГЭС, Матчинской ГЭС, Дупулинской ГЭС, смогут зарегулировать сток реки Заравшана по энергетическому графику в сезонном режиме, и создать искусственное маловодье в вегетацию для Республики Узбекистан. Насколько велико может стать энергетическое влияние Яванской ГЭС, будет зависеть от емкости этого водохранилища.

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

Таблица 1

Основные показатели Дупулинских и Матчинских ГЭС

№	Наименование гидроузлов и ГЭС	НПУ, м	Высота подпора, м	Ёмкость вод-ща, млн.м3	Длина деривации, км	Быт. Гор. В н.б., м	Длина зеркала вод-ща, м	Расчетная длина по гребню створа, м	Напоры ГЭС			Расч. Расход ГЭС, м3/с	Установлен-ная мощ. Тыс.кВт	Выработка эл.энергии млрд.кВт.ч
									Max. Qр., м	Min. Qр., м	Расч. Мет., м			
1	Матчинская	2320	160	800	11	2055	21810	573	265	205	220	48	90	0,56
	<i>Альтернатива</i>													
	ГЭС№1	2262	30	10,4	12,18	2149	3950	335			108	48	44	0,27
	ГЭС№2	2149	30	13,8	12,21	2017	3880	356			127	48	52	0,32
	Итого													0,6
2	Дупулинская	1155	90	1600		1055	30300	1907	100	65	85	280	200	1
	<i>Альтернатива</i>													
	ГЭС№1	1155	49	118,29	10,611	1087,6	9656	500			59	280	139	0,69
	ГЭС№2	1087,6	30	73,97	0,6	1055	9862	500			27	280	64	0,32
	Итого		79	192,25	11,211	2142,6	19518	1000					202	1,01

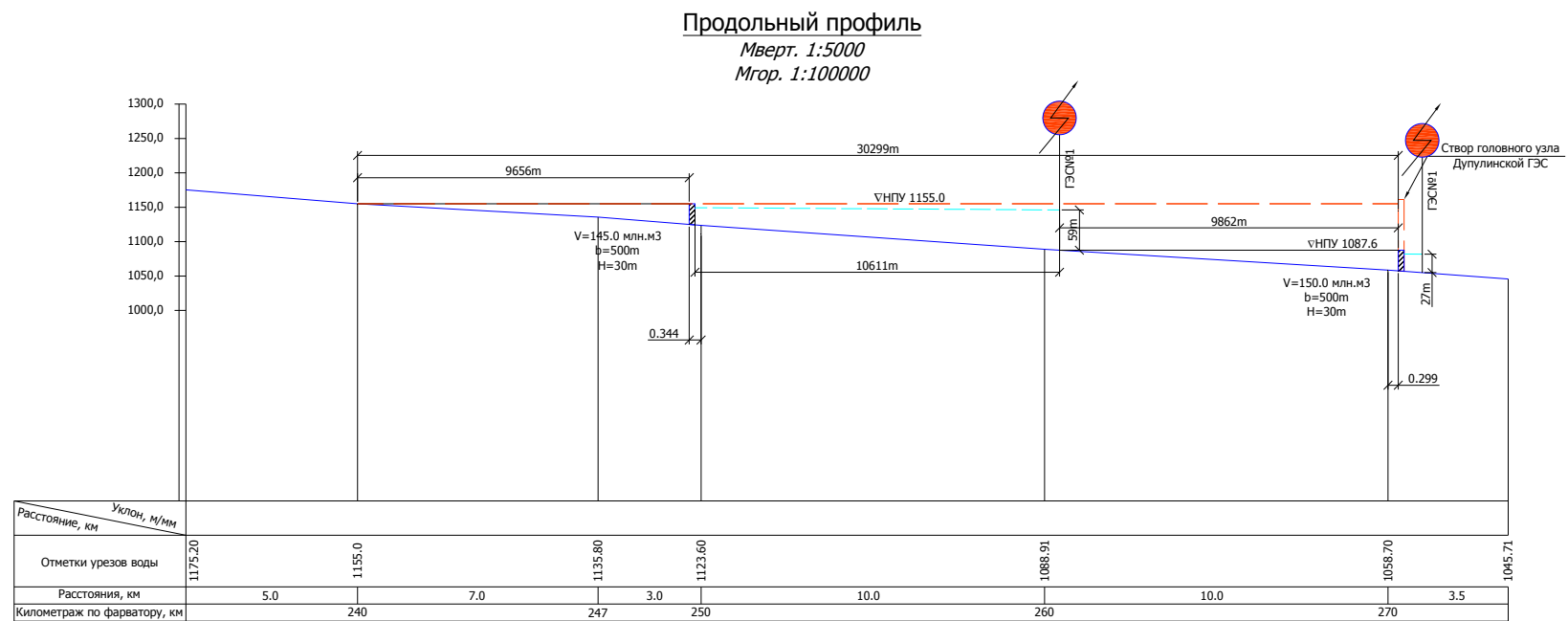


Рис. 1. Продольный профиль реки Заравшан (участок 1)

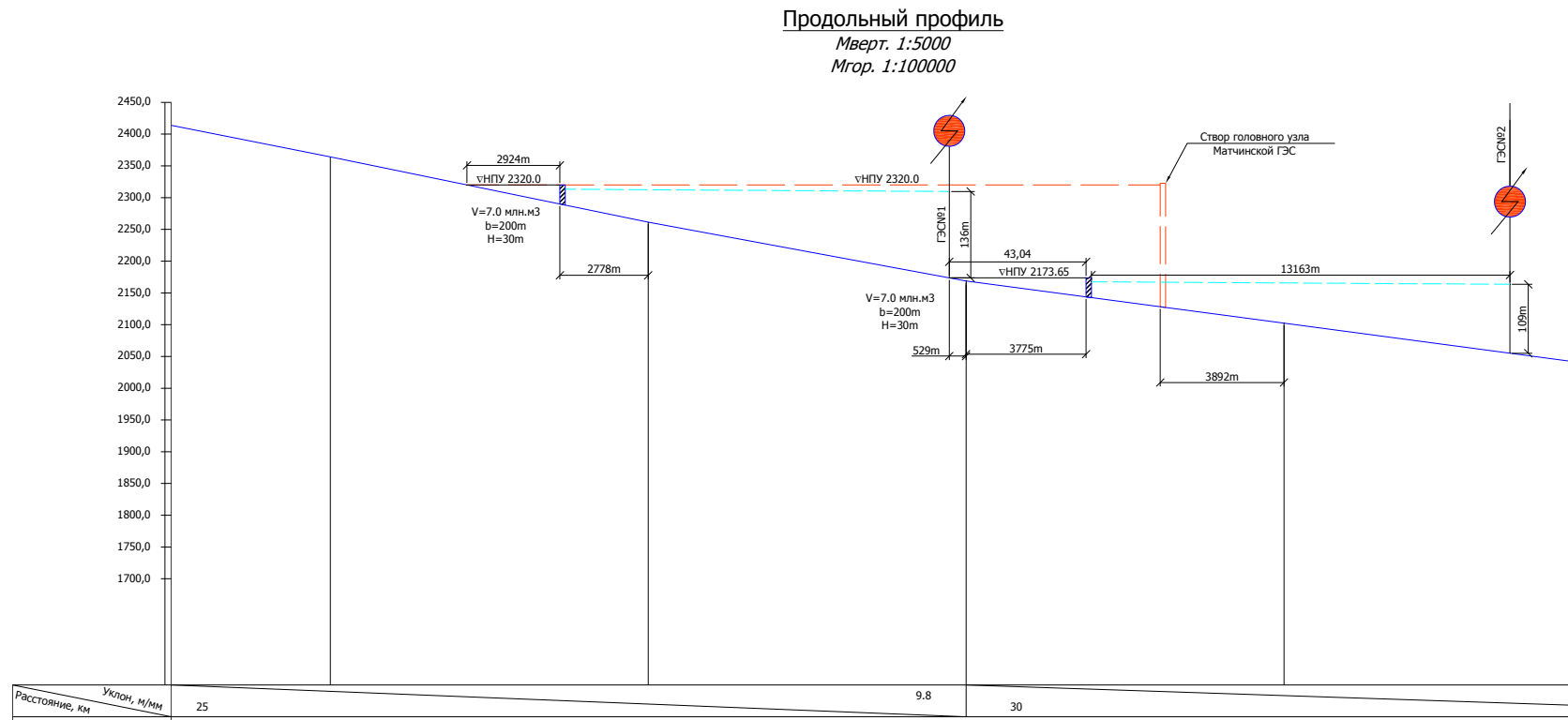


Рис. 2. Продольный профиль реки Заравшан (участок 2)



Рис. 3 Линейная схема бассейна реки Заравшан

В случае реализации проекта по Яванскому г/у, предусматривающему строительство ирригационного тоннеля расходом $50 \text{ м}^3/\text{сек}$ для освоения новых земель

Таджикистана в Ура-Тюбинской долине (100 тыс.га), дефицит на территории Республики Узбекистан может возрасти на 0.6 км^3 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^3 , 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^3 .

Выводы

Сегодня использование водных ресурсов реки Заравшан между Таджикистаном и Узбекистаном не оговорено никакими договорами или соглашениями. В тоже время, современное суммарное водопотребление в бассейне почти в 1,3 раза превышает поступающий сюда сток. В будущем ситуация может осложниться. Поэтому, необходимо инициировать проекты, снижающие непроизводительные потери стока и риски по регулированию стока.

Для разработки эффективных мероприятий развития гидроэнергетики Таджикистана в бассейне реки Заравшан, необходим комплексный анализ размещения ГЭС и альтернативных сценариев регулирования стока. Необходимой составляющей данного анализа должны стать ГИС-исследования. Такие исследования позволят обосновать новую эффективную схему размещения малых ГЭС соответствующую сегодняшним реалиям и разработать с использованием компьютерной модели эффективные режимы регулирования стока водохранилищами.

Литература

- 1.Петров Г.Н. Проблемы использования водно-энергетических ресурсов трансграничных рек в ЦА и пути их решения. Душанбе, 2009 г.
- 2.Петров Г.Н. Гидроэнергетика и её роль в региональной интеграции стран ЦА. Евразийская экономическая интеграция. Научно-аналитический журнал. ЕАБР, Алматы, № 4, 2009 г.