

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ОРТОТОКОЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ВОДНЫЙ БАЛАНС

*Суу сактагычтагы суунун денгээлинин термелүүсү анын суу балансы, башкача айтканда суунун агып кирүүсү жана сарпталышынын катышы, платинанын жардамы менен агымдын денгээлин жөнгө салуу жана ошондой эле суу сактагычтагы суунун массасына шамалдын таасир этиши аркылуу аныкталат.*

*Суу сактагычтагы суунун балансын аныктоонун негизи болуп, Чу дарыясындагы Кочкор жана Орто-Токой посторундагы суунун агымынын өлчөмүнө алынган маалыматтар кызмат кылат. Кочкор жана Орто-Токой посторундагы суулардын агымдарынын жана агып чыгышынын байланышы жок болгондуктан, андан тышкары суу сактагычтан агып чыккан суунун эсебинин жоктугу, суу сактагычтын түбүнө суунун синиши, Орто-Токой суу сактагычындагы суунун эсебинин канаттандыраарлык эмес денгээлде экендигин күбөлөндүрөт.*

*Колебания уровня воды в самом водохранилище определяются его водным балансом, то есть соотношением прихода и расхода воды, степенью регулирования стока с помощью плотины, а также действием ветра на массу воды в водохранилище.*

*Основой для суждения о водном балансе водохранилища служат данные замеров стока реки Чу на постах Кочкорском и Орто-Токойском. Отсутствие связи между притоком и сработкой воды по Кочкорскому и Орто-Токойскому постам, а также отсутствие учета оттока из водохранилища в подрусловом потоке и потерь на фильтрацию через чашу свидетельствует о неудовлетворительном состоянии учета воды на Орто-Токойском водохранилище.*

*Fluctuations of water level in the water basin are defined by its water balance, that is a parity of arrival and the water expenses, the degree of regulation of a drain by means of a dam, and also wind action on water weight in a water basin.*

*As basis for judgement about water balance of a water basin data of gaugings of a drain of the river Chu on posts Kochkorsky and Orto-Tokojsky serve. Absence of communication between*

*inflow and outflow waters on Kochkorsky and Orto-Tokojsky posts and absence of the account of outflow from a water basin in under river channel and losses on a filtration through a thicket testifies to an unsatisfactory condition of the account of water on the Orto-Tokojsky water basin.*

Ортотокойское водохранилище /8, 9/ было введено в эксплуатацию в 1963 году после проверки всего комплекса сооружений и устройства противофильтрационной завесы, которая была вызвана тем, что в результате отсыпки тела плотины /10/ не была достигнута однородность насыпи, в результате чего имело место повышенная фильтрация воды, превышающая проектные предложения. Устройство противофильтрационной завесы было начато в конце 1960 и закончено к концу 1962 года.

Водовыпуск /10/ Ортотокойской плотины позволяет осуществлять многолетнее, сезонное, недельное и суточное регулирование стока.

Многолетнее регулирование – это дополнительный попуск воды из водохранилища в маловодные годы.

Сезонное регулирование вызывается, в первую очередь, потребностями ирригации /7/, недельное и суточное – графиком производства электроэнергии.

Суточное и недельное регулирование ниже плотины создает зону резкого колебания уровня воды в течение суток и на протяжении недели. При суточном регулировании в 5-10 км от плотины наиболее низкие уровни воды наблюдаются в ранние утренние часы, наиболее высокие – в вечерние часы. С удалением от плотины суточные колебания уровня воды уменьшаются, а сроки наступления подъема и спада воды /7/ сдвигаются на величину времени добегания сброшенных масс воды.

При недельном регулировании минимальные уровни воды приходятся на субботу и воскресенье. На расстояниях в 30-40 км сроки наступления минимальных уровней могут наблюдаться в воскресенье и понедельник /7/. В межень колебания уровня ощущаются на расстоянии до нескольких десятков километров, в половодье и во время паводка – на расстоянии, намного меньшем.

Колебания уровня воды в самом водохранилище определяются его водным балансом /4/, то есть соотношением прихода и расхода воды, степенью регулирования стока с помощью плотины, а также действием ветра на массу воды в водохранилище. Изменения уровня воды в связи с водным балансом и сезонным регулированием /2, 4/ доходят до нескольких метров в год. Обычно уровень воды повышается весной, когда водохранилище заполняется талыми водами. В течение лета уровень понижается.

Недельное регулирование вызывает более заметное изменение уровня в нижней части водохранилища, чем суточное. Длительный и сильный ветер может вызвать переко

зеркала воды в водохранилище: в одной его части наблюдается нагон воды, в противоположной – сгон. На мелководных водохранилищах это явление выражено сильнее /9/. Наибольший подъем уровня бывает в начале нагона. В это время колебания уровня воды могут достигать до 1 м.

Течения на водохранилищах /8/ возникают под действием ветра и стока воды. Ветровые течения наблюдаются вдали от берегов, их скорости сравнительно невелики. Стоковые течения зависят от участка водохранилища и вегетационного периода. В нижней части водохранилища течение может быть достаточно быстрым во время весеннего паводка и сброса воды через плотину. В половодье скорость течения в узких местах водохранилища может быть сравнима со скоростью течения рек.



Рис. 1. Вид с верхнего бьефа



Рис. 2. Гребень плотины



Рис. 3. Правый борт водохранилища

Исследование в бьефах русловых процессов плотины велось по направлениям:

- изучение условий эксплуатации водохранилища, плотины и приплотинных сооружений;

- изучение характера течений, переформирования русловых участков и состава донных отложений в зоне выклинивания кривой подпора, в чаше водохранилища и в нижнем бьефе;

- на реке Чу /10/ оборудовано два гидрометрических поста: Кочкорский – верхний и Ортокойский – нижний. Следует отметить, что Кочкорский пост не отвечает требованиям опорного поста и требует дооборудования;

- на низовом откосе плотины кооптировано до 40 родников, оборудованных приспособлениями для замера их дебита объемным способом /10, 2/;

- наблюдения за динамикой переформирования подводящего и отводящего русла и за заилением чаши водохранилища производятся путем вертикальной съемки 42 створов, закрепленных металлическими реперами.

Общая протяженность исследуемого руслового участка составляет 44 км.

Под чашу водохранилища при полной его емкости 470 млн м<sup>3</sup> использована Ортокойская долина, замыкающаяся плотиной высотой 52 м /10/ (объем насыпи составил 2,1 млн м<sup>3</sup>).

Основой для суждения о водном балансе водохранилища служат данные замеров стока реки Чу /1/ на постах Кочкорском и Орто-Токойском. Учитывая, что Орто-Токойским постом фиксируются потери на фильтрацию через тело и борта плотины, а также определяется испарение с водной поверхности водохранилища и количество осадков на водосборной площади /3/ бассейна ниже Кочкорского поста (по данным метеорологических наблюдений), статья суммарного притока-оттока может быть подсчитана. Однако для получения полного баланса водохранилища не учитываются такие статьи, как приток и отток подрусовых вод и потерь на фильтрацию через чашу водохранилища.

Данные притока водохранилища и оттока (по гидрометрическим постам) /5/ за 2005-08 гг. приводятся в табл.1, из которой следует, что водохранилище работало в различные по мощности годы с общим притоком по Кочкорскому посту 1050 млн м<sup>3</sup> (2008 г.), 1046 млн м<sup>3</sup> (2007 г.), 895 млн м<sup>3</sup> (2006 г.), 726 млн м<sup>3</sup> (2005 г.) и 720 млн м<sup>3</sup> (2004 г.) при соответствующих сбросах по Орто-Токойскому посту 950, 982, 870, 954 и 680 млн м<sup>3</sup>.

Из приведенных данных следует, что отток из водохранилища по Орто-Токойскому посту намного превышает объем притока по Кочкорскому посту – в 2008 г. на 101 млн м<sup>3</sup>, в 2006 г. – на 89, в 2007 г. – на 113 и в 2005 г. – на 39 млн м<sup>3</sup> (подсчет притока и оттока произведен с учетом начального и оставшегося объема воды в водохранилище).

Если принять во внимание, что расходы воды на Кочкорском посту /1/ фиксируются по рейке 8, 13 и 20 часов без регистрации колебаний уровней в течение суток (самописцами), то превышение объема притока над сбросом будет меньше. Указанное подтверждается тем, что паводковые расходы в створе Кочкорского поста проходят в ночное время (в 3-5 часов), поэтому среднесуточные расходы воды занижаются.

Сопоставляя данные Орто-Токойского, Кочкорского и Рыбачинского постов, можно установить /3/, что недостаток насыщения по Орто-Токойскому посту соответствует недостатку насыщения по Кочкорскому посту с поправкой плюс-минус 2,1 (средняя величина).

Указанная величина недостатка насыщения для расчета испарения /2/ бралась по Кочкорскому посту из тех соображений, что величина среднемесячных температур и осадков по Орто-Токойскому посту ближе соответствует Кочкорским данным. Значения испарения за апрель-октябрь по расчетной зависимости сведены в табл. 1.

Распространяя указанные данные испарения по зависимости суммарного испарения составили: в 2005 г. – 13,9 млн м<sup>3</sup>, в 2008 г. – 25,5 млн м<sup>3</sup>, в 2007 г. – 17,8 млн м<sup>3</sup> и в 2006 г. – 12,6 млн м<sup>3</sup>.

Отметим, что приток в водохранилище за счет осадков с водосборного бассейна, замкнутого створом Кочкорской МС и плотиной, составляет в среднем около 6,0 млн м<sup>3</sup> или 20-30 % от потерь на испарение с водной поверхности водохранилища /3, 5/. Анализ приведенных данных свидетельствует, что потери на испарение значительны и при балансовых расчетах ими нельзя пренебрегать.

Отсутствие связи между притоком и сброской воды по Кочкорскому и Орто-Токойскому постам, а также отсутствие учета оттока из водохранилища в подруловом потоке и потерь на фильтрацию через чашу свидетельствует о неудовлетворительном состоянии учета воды на Орто-Токойском водохранилище /8/.

Если воспользоваться данными наблюдений за колебанием расходов воды в течение суток на других реках, то можно установить, что максимальные расходы приходят в ночное время /1/, в среднем в течение 6 часов (с 24 до 6 часов) с увеличением расхода в указанный промежуток до 10 % против среднесуточного расхода, определяемого обычным способом, если примем среднегодовой расход реки Чу равным 30 м<sup>3</sup> и за год 23,6 млн м<sup>3</sup>.

Таблица 1

Данные об испарении с поверхности водохранилища

Даты	Слой площадь зеркала испарения водохранилища, сутки мм/км <sup>2</sup>		Испарение, м <sup>3</sup>	Примечание
	2007 год			
1/VII - 15/VII	6,5	11,6	319750	
16/VII - 31/VII	6,5	9,4	978500	
1 VIII -15 VIII	7,5	7,4	828500	
16 VIII -31 VIII	7,5	4,55	546000	
1 IX -27 IX	8,0	3,0	650000	
Итого			3322750	
	2008 год			
1 V -15 V	7,7	20,4	104400	
15 V -25 V	7,7	20,4	381200	
25 V -14 VI	15,6	19,2	1116000	

15 VII -27 VII	15,6	15,9	584000	
27VI - 12 VII	23,5	11,9	653000	
12 VII -30 VII	23,5	9,3	600000	
30VII - 13VIII	18,6	6,2	343000	
13 VIII -27 VIII	18,6	4,4	213000	
27 VIII -14 IX	17,9	3,1	235000	
14 IX - 3 X	17,9	2,8	136000	
Итого			4365600	

Распространяя указанные данные испарения на зависимость суммарного испарения, определим, что они составили: в 2005 г. 13,9 млн м<sup>3</sup>, в 2008 г. – 25,5 млн м<sup>3</sup>, в 2007 г. – 17,8 млн м<sup>3</sup> и в 2006 г. –12,6 млн м<sup>3</sup>.

Попытки охарактеризовать течение в чаше водохранилища не дали желаемых полных и детальных результатов из-за несовершенства поплавочного способа регистрации направления и величин скоростей в условиях постоянного волнения водной поверхности и ветров, достигающих в среднем 3-х баллов.

Применяемые поплавки /5/, а также специальная вертушка системы Алексева искажали представление о действительной картине течений под влиянием даже незначительного ветра. Поэтому эти работы приходились на отрезок времени, когда наблюдалась смена направления ветров.

Определение характера течений проводилось при трех наполнениях водохранилища.

Данные о поступающих в водохранилище расходах воды и сброса, а также длинах кривых подпора при производстве съемок приводится в табл. 2.

Таблица 2

Длины кривых подпора

Год	Дата производства съемок	Горизонт воды в водохранилище	Поступающий расход, м <sup>3</sup> /с	Сброс из водохранилища, м <sup>3</sup> /с	Длина кривой подпора, м
2006	25.07 -10.07	727,3	55,0	60,0	5020
2007	19.07 -25.07	741,5	48,5	71,0	10600
2008	6.07 -12.07	748,8	30,0	115,0	12200

При отметке воды в водохранилище 727,3 м, после трехкратного наполнения и сработки вышеуказанной отметки, скорости течения, на участке выклинивания кривой



подпора /6/ (на расстоянии 5000 м от плотины) составили 1,4-1,1 м/с против бытовых в реке 2,4-2,7 м/с. Ниже по течению от начального створа на 330 м скорости убывают до 0,8 м/с, а еще ниже на 260 м становятся равными 0,6 м/с. При этом отметим, что большие значения скорости в рассматриваемых створах наблюдаются на участках затопленного русла реки, а меньшие – на участках затопленной поймы.

Такая картина распределения скоростей наблюдается при расходе в реке 55,0 м<sup>3</sup>/с и сбросе 60,0 м<sup>3</sup>/с.

При отметке воды в водохранилище 741,5 м скорости течения на участке выклинивания кривой подпора /6/ (выше створа плотины 10600 м) и ниже 120 м (створ 8) снижаются до 2,0 м/с против бытовых в реке 2,8-3,0 м/с.

Ниже створа 8 на 700 метров скорости не превышают 0,35-0,06 м/с и в створе 6 снижаются до 0,045-0,06 м/с.

Аналогичная динамика распределения скоростей в зоне выклинивания кривой подпора /6/ наблюдается при наполнении водохранилища до отметки 748,8. Если скорости течения в бытовых условиях колеблются в пределах 2,5-2,8 м/с (створ 12), то ниже по течению на 1200 м (створ 11) скорости убывают до 1,4-1,6 м/с и в зоне выклинивания кривой подпора между створом 9 и 10 в расстоянии от плотины 12200 м снижаются до 0,6-0,8 м/с, в непосредственной близости от створа 9 скорости достигают 0,1-0,08 м/с.

Отметим, что скорости и направления течения замерялись вертушкой инженера Алексеева /5, 6/. Однако из-за встречающихся трудоемкостей использования указанной вертушки, а также несовершенства плавательных средств указанные работы выполнены только между 11 и 9 створами.

При наполнении водохранилища до отметки 727,3 (мертвый объем) и транзитном сбросе воды 55 м<sup>3</sup>/с скорости заметно возрастают только в непосредственной близости от плотины. Так, если в створе 4 (4000 м от плотины) скорости равны 0,008 м/с, на расстоянии 300 м от плотины их значение 0,2-0,3 м/с, на расстоянии 60 м – 0,5 м/с и непосредственно перед эксплуатационным тоннелем 1,3-1,8 м/с.

Из результатов анализа данных о скоростном режиме водохранилища /9/ можно сделать заключение, что наибольшие скорости течения в различных створах водохранилища наблюдаются над затопленным бытовым руслом.

Такой характер течений свидетельствует о наличии большой емкости застойных зон /8/ (в затопляемой пойме) по длине водохранилища, в которых, очевидно, создаются благоприятные условия для отстоя мельчайших частиц взвешенных наносов /3, 10/.

Отметим, что приток в водохранилище за счет осадков с водосборного бассейна, замкнутого створом Кочкорской МС и плотиной, составляет в среднем около 6,0 млн м<sup>3</sup>



или 20-30 % от потерь на испарение с водной поверхности водохранилища. Анализ приведенных данных свидетельствует, что потери на испарение значительны /3, 4/ и при балансовых расчетах ими нельзя пренебрегать.

Отсутствие связи между притоком и сбросом воды по Кочкорскому и Орто-Токойскому постам, а также отсутствие учета оттока из водохранилища в подрусловом потоке и потерь на фильтрацию через чашу свидетельствует о неудовлетворительном состоянии учета воды на Орто-Токойском водохранилище.

Расчет водного баланса Орто-Токойского водохранилища приводится в табл. 3 /4/.

### **Выводы**

1. Среднемесячные температуры Орто-Токойского МС превышают в среднем данные Кочкорской МС на  $+4^{\circ}\text{C}$ , количество же осадков в районе водохранилища в 2,7 раза меньше, чем в Кочкорской долине /2/.

2. Максимальные среднемесячные температуры воздуха приходятся на период май-август и достигают  $+27, +31^{\circ}\text{C}$ .

3. При водобалансовых расчетах /2, 4/ среднегодовое количество осадков с площади, замкнутой Кочкорским постом и плотиной, принять в среднем 5 млн  $\text{м}^3$  и испарения с водной поверхности Орто-Токойского водохранилища 17 млн  $\text{м}^3$ .

4. Расчет испарения с водной поверхности водохранилища по данным метеорологических наблюдений (дефицита влажности) /2/ следует производить по зависимости  $E = 0,65\Sigma d$ , дающей результаты, наиболее близко отвечающие натурным наблюдениям /3, 6/.

Таблица 3

## Водный баланс водохранилища

### Список литературы

1. Бассейн реки Чу (физико-географическая характеристика) /Под ред. Р.Д. Забирова и В.А. Благообразова. – Фрунзе: Изд-во АН Кирг. ССР, 1960. – 229 с.
2. Строительные нормы и правила. СНиП 2.01.14–83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985.

Приходные статьи баланса						Расходные статьи баланса				
год	Приток воды Кочкорского Г.П., млн. м <sup>3</sup>	Остаток воды в водохранилище на начало года, млн. м <sup>3</sup>	Осадки за год млн. м <sup>3</sup>	Подрусловой поток воды створе Кочкорского Г П	Итого приход	Сорос воды из водохранилища млн. м <sup>3</sup>	Остаток воды в водохранилище на конец года, млн. м <sup>3</sup>	Испарение, млн. м <sup>3</sup>	подрусловой поток створе Г П Ортогокой, млн. м <sup>3</sup>	Итого расхода, млн. м <sup>3</sup>
2007	1046	8	6	x	1060+ x	982	165	14	У	1161+y-101+/x-y
2006	895	165	5	x	1065+ x	870	259	25	У	1154+y-89+/X-У
2005	726	259	7	x	922 + x	954	134	17	У	1105+y-113+/x-y
2004	720,0	134	2	x	856 + x	681	202,0	12	У	895,4+y-39+/x-y

3. Леви И.И. Инженерная гидрология. – М.: Госэнергоиздат, 1986.
4. , Бахтиаров В.А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. – М.: Стройиздат, 1988.
5. Пашков Н.Н., Долгачев Ф.М. Основы гидрометрии.. – М.: Энергоиздат, 1989.
6. Григоренко А.Г., Киселев М.И. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 1989.
7. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1972.
8. Авакян А.Б., Шарапов В.А. Водохранилища ГЭС. – М.: Энергия, 1986.
9. Авакян А.Б. Водохранилища мира. – М.: Энергия, 1986.
10. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. – Л.: Энергия, 1984.

