

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14498438>

УДК 628.83

НАДЕЖНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Муродов Ш.О.,

доктор технических наук, профессор,
Каршинский инженерно-экономический институт,

Бекмамадова Г.А.

доцент кафедры «Гидротехники и геотехнических технологий»,
Ташкентский архитектурно-строительный университет

***Аннотация.** В стране большинство из водохранилищ построено 50-60 лет назад и в настоящее время наблюдается техническое устаревание данных гидротехнических сооружений. В связи с чем, эрозия конструкций и снижение прочности плотины во время эксплуатации водохранилища, является на сегодняшний день серьезной проблемой и влияет на экологическую безопасность страны. В данной статье изучены основные факторы, влияющие на надежную эксплуатацию водохранилищ, в частности Ташкентского водохранилища. В этой связи, посредством пьезометров, как основного инструмента контроля фильтрационного режима водохранилища, была изучена и рассчитана фильтрация в плотине, то есть кривая депрессии. Кроме того, исследовано воздействие водной агрессии на техническое состояние водохранилища, что может привести к коррозии бетонных и металлических конструкций плотины. Также, в статье особое отмечены критерии прочности и надежности эксплуатации сооружений водохранилищ.*

***Ключевые слова:** экологическая безопасность, пьезометр, водохранилище, кривая депрессии, фильтрация, водная агрессия, эрозия.*

***Annotation:** In the country, most of the reservoirs were built 50-60 years ago, and at present there is a technical obsolescence of these hydraulic structures. In this connection, erosion of structures and a decrease in the strength of the dam during the operation of the reservoir is a serious problem today and affects the environmental safety of the country. This article examines the main factors affecting the reliable*

operation of reservoirs, in particular the Tashkent reservoir. In this regard, by means of piezometers, as the main tool for monitoring the filtration regime of the reservoir, the filtration in the dam, that is, the depression curve, was studied and calculated. In addition, the impact of water aggression on the technical state of the reservoir was investigated, which can lead to corrosion of the concrete and metal structures of the dam. Also, the article specifically notes the criteria for the strength and reliability of the operation of reservoir structures.

Key words: *environmental safety, piezometer, reservoir, depression curve, filtration, water aggression, erosion.*

Введение.

В Узбекистане проводятся широкие реформы по охране окружающей среды, рациональному использованию водных ресурсов и обеспечению экологической безопасности страны.

Так, Указом Президента Республики Узбекистан от 30 октября 2019 года № УП–5863 утверждена Концепция охраны окружающей среды Республики Узбекистан до 2030 года, в которой для улучшения качественного состояния окружающей природной среды помимо других мер предусмотрено строительство новых водохранилищ для повышения водообеспеченности орошаемых земель. [10]

Кроме того, Концепцией развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020 – 2030 годы, утвержденной Указом Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № УП–6024, определено, что приоритетными направлениями Концепции является обеспечение безопасности и надежной эксплуатации водохранилищ, паводковых водохранилищ и других объектов водного хозяйства, в частности защита водохранилищ, селе- и водохранилищ и других объектов водного хозяйства от воздействия антропогенных, техногенных и природных факторов, обеспечение их безопасности и надежной эксплуатации, изучение и внедрение на практике передового опыта зарубежных стран по обеспечению безопасности и надежной эксплуатации водохранилищ и других объектов водного хозяйства.

В контексте обеспечения экологической безопасности неспроста важное значение уделяется водохранилищам и их водным ресурсам, так как они играют существенную роль в развитии промышленности и сельского хозяйства, устраняя дефицит воды, возникающий в период вегетации, в основном на орошаемых землях, и снабжая водой гидромелиоративную отрасль. [1]

В настоящее время в Узбекистане эксплуатируется 70 водохранилищ общим объемом 19,4 млрд м³, в том числе 5,4 млрд м³ в бассейне Сырдарьи и 14,0 млрд м³ в бассейне Амударьи.

Большинство из этих водохранилищ построено 50-60 лет назад и в настоящее время наблюдается техническое устаревание данных гидротехнических сооружений. Кроме того, пренебрежение гидроэкологическими факторами при эксплуатации приводит к снижению надежности работы водохранилищ. [2, 6].

Обе эти проблемы тесно связаны с движением воды в водохранилищах и ее качеством, что тесно связано с эрозией конструкций и снижением прочности плотины во время эксплуатации водохранилища, что является проблемой, требующей серьезного изучения и влияющий на экологическую безопасность.

В целях изучения изменений, возникающих в результате утечки воды разного качества из плотины водохранилищ, оценки прочности плотин под влиянием попадания воды разного качества из дамбы и разработки критериев прочности и эксплуатационной надежности отдельных конструкций водохранилищ было исследовано Ташкентское водохранилище в Ташкентской области. [3]

Оценка режима Ташкентского водохранилища. Пьезометры, расположенные в чаше плотины, являются основным инструментом контроля фильтрационного режима водохранилища. Основными требованиями к пьезометрам (водоприемной части) являются его способность противостоять помутнению и окислению, а для стабильной работы верхняя часть пьезометра должна быть удобна для установки приборов или устройств, позволяющих измерять пьезометрическое давление (уровень), снабжена крышкой от коррозии и должна быть защищена от механических воздействий.

Уровень или давление воды в пьезометрах в чаше плотины следует измерять не реже 2 раз в месяц с помощью манометров и других типов инструментов. Кроме того, требуется химический анализ проб фильтрационной воды в пьезометрах, а ее мутность определяется одновременно с химическим контролем. Когда пробы фильтрационной воды отбираются для химических испытаний и испытаний на мутность, одновременно измеряется их температура. Эта проверка выполняется, чтобы определить, поступает ли вода, поступающая в пьезометр или дренаж, из верхнего дна резервуара, а не из других источников. [4]

При визуальном наблюдении фильтрационного режима плотины и работы дренажа за плотинной особое внимание следует уделять наиболее распространенным участкам фильтрации, таким как:

- нижним откосам (уклонам) плотин и дамб и их нижней стороне;
- стыкам и частям конструкций из различных материалов;
- тектоническим разломам;
- точкам сброса воды, расположенным в непосредственной близости к плотине водохранилища.

К наиболее опасным событиям относятся:

- слив фильтрационной воды на откос (уклон), к месту берега, над дренажными устройствами;
- зарастание грунта под конструкциями за нижним откосом;
- приток мутной фильтрованной воды от основы плотины в нижний бьеф;
- формирование сильных фильтрационных процессов как протечки, мутные ручьи, родники и т. д.
- повышенный расход воды и мутность в фильтрационных точках и образование отложений;
- подъем уровня воды в пьезометре относительно проектирования конструкции.

Длительная и безопасная эксплуатация плотины водохранилища требует изучения и расчета фильтрации, которая будет иметь место в плотине, то есть кривой депрессии. В результате этих расчетов определяется поток фильтрационной воды через тело и основание плотины, положение кривой депрессии, высота выхода и скорость выхода кривой депрессии с нижнего склона плотины.

Свободная поверхность фильтрационного потока называется поверхностью депрессии, а линия, образующаяся в результате пересечения с вертикальной плоскостью, называется кривой депрессии.

Описание фильтрационного потока будет зависеть от типа плотины, схемы дренажных сооружений, рельефа и геологического строения почвы и берегов в месте расположения плотины. Фильтрационные расчеты выполняются для определения тела плотины, фильтрационной прочности ее грунта и берегов, приоритетности откосов плотины и берега, рациональных и экономичных форм размеров и конструкции плотины. [5]

Расчетная кривая депрессии плотины Ташкентского водохранилища

В целях уменьшения процесса фильтрации в плотине Ташкентского водохранилища тело плотины оборудовано ядром. Грунт ядра плотины состоит из уплотненного песка с коэффициентом фильтрации $K_{\text{я}} = 0,1$ м/сут. Основание тела плотины гравийное, коэффициент фильтрации $K_{\text{г}} = 40$ м/сут. Результатом расчета является поток фильтрационной воды через тело

и основание плотины, положение кривой депрессии, высота выхода и скорость выхода кривой депрессии от нижнего склона плотины.

Построение кривой депрессии фильтрационной воды в плотине Ташкентского водохранилища было рассчитано для нескольких уровней, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные результаты кривой депрессии плотины Ташкентского водохранилища

Точка	Уровень воды, м	Расстояние						
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Уровень нормативного наполнения (УНН)	394	33,98	33,98	33,98	3,47	3,21	2,93	2,62
	389	28,99	28,99	28,99	2,74	2,52	2,28	2,01
	384	23,99	23,99	23,98	2,10	1,92	1,72	1,54
	378	17,97	17,97	17,97	1,41	1,28	1,12	0,94
	371,65	11,59	11,59	11,58	0,83	0,74	0,63	0,51

Для проверки состояния кривой депрессии в теле плотины изменение уровня воды в пьезометрах плотины было проанализировано по створам.

Чтобы оценить агрессию, которая возникает в результате движения грунтовых вод от тела плотины водохранилища, необходимо знать закономерности движения воды, вытекающей через тело плотины, и ее влияние на конструкции плотины. Результаты оценки важны для обеспечения устойчивости плотины и сооружений водохранилища. [7]

Вода, вытекающая через тело плотины водохранилища, обычно движется ламинарным (линейным) потоком, то есть просачивающаяся вода относится к категории безнапорной. Известно, что безнапорная вода перемещается из места высокого (уровня) гидравлического давления в место низкого давления. В примере с плотиной водохранилища вода движется из чаши водохранилища над плотиной в нижний бьеф плотины.

Из-за того, что Ташкентское водохранилище имеет ядро, скорость утечки воды в участке между 1,2,3 пьезометрами, расположенными на 9-м створе (ПК 22 + 00) большая, перепад напора большой и путь фильтрации короткий. На участке между 3,4,5 пьезометрами, расположенными в 9-м створе (ПК 22 + 00), наоборот, т.е. скорость протекающей воды, перепад напора небольшой, а путь фильтрации длинный. В результате градиент напора на участке между 3,4,5

пъезометрами, расположенными в 9-м створе (ПК 22 + 00), резко уменьшается, и в пъезометрах наблюдается застой воды.

По результатам исследования движение показало непостоянность движения грунтовых вод в ядровых и одинаковых грунтовых плотинах. Эта изменчивость зависит от количества градиентов между пъезометрами, расположенными в плотине, так если градиент находится на уровне нормы, изменение движения грунтовых вод является закономерным, а если градиент напора слишком мал, в пъезометрах наблюдается застоя воды. Такая ситуация приводит к снижению прочности конструкций и грунтов. [8]

Оценка изменения технического состояния сооружений водохранилища под воздействием водной агрессии.

Техническое состояние водохранилищ претерпевает специфические изменения под воздействием водной агрессии. Эти изменения отражаются в коррозии и эрозии различных горных пород, а также бетонных и металлических конструкций, из которых состоят плотины и дамбы.

Эрозия конструкций и горных пород обычно вызывается содержащими в воде кислотами (угольная кислота), щелочами (ион гидрокарбоната), растворенными солями (сульфатами), активными газами (кислород, хлор).

Металлические конструкции быстрее подвержены коррозии из-за присутствия хлоридов в воде и растрескиваются. В результате срок службы этих объектов будет значительно сокращен. [7]

В таблице 2 приведены результаты оценки агрессивного воздействия протекания грунтовых вод из тела Ташкентского водохранилища на конструкции тела плотины, т.е. показатели агрессивности грунтовых вод, протекающих из тела плотины водохранилища по отношению к сооружениям - металлическим пъезометрам.

Таблица 2. Результаты определения агрессивного воздействия протекающих грунтовых вод из тела плотины Ташкентского водохранилища на конструкции (пъезометры), расположенные на теле плотины

Название данных	Результаты лабораторных наблюдений	Безнапорная конструкция		Результаты определения агрессии против бетонных конструкций
		Обычный и сульфатостойкий портландцемент	Обычный и сульфатостойкий путолан и клинкерный портландцемент	
1. Вид сооружения	безнапорный			
2. Размер сооружения, м	более 2,5			
3. $K_{ф}$, м/сут	$0,1 < K_{ф} < 10$			

4. Ca ²⁺ , мг/л	148			
5. pH	7,59	5,2	5,5	<i>Вода не имеет общей кислотной агрессивности</i>
6. HCO ₃ ⁻ , мг·экв/л	3.98	0,4	ненормированно	<i>Вода не имеет щелочной агрессии</i>
7. Карбоновая кислота CO ₂ , мг/л	Не выявлено			<i>Вода не имеет агрессии карбоновой кислотой</i>
8. Хлорид, Cl ⁻ , мг	28,7	28,7<1000	28,7<1000	<i>Ускоряет коррозию металлических конструкций</i>
9. Сульфат SO ₄ ²⁻ , мг/л	351,3	351,3>350	351,3>350	<i>Имеет сульфатную агрессию по отношению к обычным цементобетонным сооружениям и металлическим конструкциям</i>
10. Mg ²⁺ , мг/л	26	26<1000	26<1000	<i>Отсутствует магниальная агрессия воды</i>

Результаты исследования воды, которая собирается в чаше Ташкентского водохранилища и протекающей из тела плотины, в части оценки агрессивности на конструкций в теле плотины и верхнем бьефе водохранилища позволили сделать следующий вывод:

Качество грунтовых вод, вытекающих из тела плотины Ташкентского водохранилища является сульфатно-агрессивным в отношении обычных цементобетонных конструкций, серные и хлоридные соли в воде ускоряют коррозию пьезометров, установленных на теле плотины. [8]

Для предотвращения или уменьшения негативного воздействия воды, собираемой в чаше Ташкентского водохранилища, и вытекающей из тела плотины, следующие рекомендации:

1. Бетонные покрытия и конструкции в верхнем бьефе Ташкентского водохранилища не требуют гидроизоляции.
2. Пьезометры, расположенные на плотине Ташкентского водохранилища, следует обработать гидроизоляционными материалами и обеспечить хорошую работу дренажа на нижней части плотины.

Критерии прочности и надежности эксплуатации сооружений водохранилищ

Для повышения прочности и эксплуатационной надежности конструкций водохранилища необходимо соблюдать следующие критерии:

1. Для длительной и безопасной эксплуатации плотины водохранилища необходимо изучить и рассчитать фильтрацию от плотины, т.е. кривую

депрессии. Уменьшение кривой депрессии относительно ее среднего состояния приводит к увеличению расхода воды на фильтрацию и увеличению градиента давления, и наоборот. Таким образом, повышение уровня воды в пьезометрах свидетельствует о снижении сопротивления откоса плотины, а снижение – об уменьшении надежности грунтов по отношению к фильтрации. Если уровень воды в пьезометрах выше, чем рассчитанная кривая депрессии, это означает, что пьезометры заполнены мусором или что сверху падает дополнительная вода. В данном случае, следует разработать меры по предотвращению таких ситуаций.

2. В плотинах с сердцевинной (ядром) или одним и тем же грунтом движение грунтовых вод непостоянно. Эта изменчивость зависит от количества градиентов между пьезометрами, расположенными в плотине, то есть, если градиент находится на уровне нормы, изменение движения грунтовых вод является регулярным, а если градиент давления слишком мал, застой воды также наблюдается в пьезометрах. В связи с чем, следует предотвратить застой воды в пьезометрах.

3. Для повышения надежности работы водоема следует предотвратить нарушения защитных элементов высокого уклона плотины (повреждение, растрескивание, скольжение, эрозия плит под воздействием природных явлений).

4. Плотина, ее части и сооружения не должны иметь подтоплений, размыва, в определенных случаях, когда эти условия могут допускаться, они не должны превышать уровень заранее установленных норм.

5. Следует недопускать попадания растительных остатков и бытовых отходов на поверхности воды в акватории водохранилища. В случае появления таких веществ в результате оползней следует принять меры по их немедленному удалению.

6. Присутствие кислот (углекислота), щелочей (ион гидрокарбоната), растворенных солей (сульфатов), активных газов (кислород, хлор) в воде, вытекающей из водохранилища и его плотины, должно находиться в пределах, предотвращающих эрозию конструкций и грунтов.

7. Снижение кислотного воздействия воды на плотину и ее конструкции для обеспечения надежной работы водохранилища и его конструкций. Для этого, необходимо обеспечить нейтральную кислотность воды в бассейне и теле плотины ($6 < \text{pH} < 9$).

8. Снижение щелочного воздействия воды на плотину и ее конструкции для обеспечения надежной работы водохранилища и его конструкций. Это необходимо для предотвращения возникновения щелочной агрессии в воде, т. е. превышения количества углеродных ионов в воде 0,4–1,5 мг экв.

9. В специфических условиях Узбекистана сульфатная агрессия воды наблюдается во многих водохранилищах, расположенных в регионе, особенно в равнинных (пустынных) регионах западной части. В этом случае необходимо снизить сульфатное агрессивное воздействие воды на плотину и ее конструкции, чтобы водохранилище и его конструкции могли надежно работать. Необходимо обеспечить, чтобы количество сульфат-иона в воде, вытекающей из чаши резервуара и его тела, не превышало 350 мг/л. Для этого, во-первых, необходимо не допустить застоя воды, а во-вторых, принять меры для ускорения процесса водообмена в чаше резервуара.

10. Предотвращение магниевого воздействия воды на плотину и ее конструкции для обеспечения надежной работы водохранилища и его сооружений.

11. Для снижения агрессивного воздействия воды на плотину и ее конструкции в изученных в исследовании Ташкентском водохранилище необходимо, во-первых, обеспечить постоянный водообмен в чаше водохранилища, а во-вторых, предотвратить застоя воды, вытекающей из тела плотины. Необходимо постоянно следить за качеством воды в чаше водоема и за утечкой воды из тела плотины.

12. При контроле качества воды, вытекающей из Ташкентского водохранилища, особое внимание следует обращать на уровень мутности и цвет дренажной воды. Предотвращение слишком мутной воды и красноватого цвета обеспечивает надежную работу плотины и ее конструкций. При возникновении таких случаев, необходимо немедленно выявить причины и принять меры по их устранению.

ВЫВОД

По результатам исследования фильтрационного режима в теле Ташкентского водохранилища изменение количества данных об уровне воды в пьезометрах, определенное на основании натуральных наблюдений, относительно расчетной кривой депрессии составило 7 -10%.

По своему качеству грунтовые воды, вытекающие из тела плотины Ташкентского водохранилища, считаются сульфатно-агрессивными к обычными цементобетонными конструкциями, сульфат и хлоридные соли в воде ускоряют коррозию пьезометров, установленных на теле плотины.

Водоохранилища имеют важное значение для водоснабжения отраслей экономики, в том числе сельского хозяйства, а также улучшения мелиоративного состояния земель в республике. В связи с этим их надежная эксплуатация является важным фактором обеспечения экологической безопасности в системе водного хозяйства и требует принятия мер по эффективному мониторингу состояния водохранилища и ее водных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин А.М., Иванов Ю.Н., ред. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водоохранилища Средней Азии. Ленинград: Гидрометеиздат; 1991.
2. Вишневецкий З.И «Влияние регулирования стока на экологическую обстановку в устьях рек, //Матр.совещ. Экология и гидравлика будущего, Часть ХП.Ленинград. 1990 г.-145 с.
3. Рубинова Ф.Э. Водоохранилища бассейна Аральского моря и их влияние на водные ресурсы, и их качество. В кн.: Сборник научных трудов «Водные ресурсы, проблемы Арала и окружающая среда». Ташкент; 2000, сс. 77-98.
4. Николаенко В.А., Маматов С.А. Особенности и методология гидроэкологической оценки воздействия водохозяйственной деятельности на состояние гидроэкосистем бассейна Аральского моря. //Водные ресурсы ЦА. Алматы, 2002, сс. 358-364.
5. Mamatov S.A., Shirokova Y. Water Quality of lakes and reservoirs of Uzbekistan. The 3rd International Symposium for strategies on Toxic Algae Control in lakes and reservoirs for establishment of international network. 2003. Wuxi, China, сс. 502-507.
6. Маматов С.А. Современные тенденции изменения качества воды реки Сырдарья. Сборник научных трудов САНИИРИ, Ташкент, 2006, сс. 251-258.
7. Гаппаров Ф.А., Маматов С.А. Факторы влияющие на надежность эксплуатации водохранилищ. Ферганский государственный университет, «Экологическо-географические особенности использования природных ресурсов и их защиты в единой природной территории» - Фергана, 2010. сс. 108-109.
8. Игашева С.П. Геология: методические указания к практической работе «Определение агрессивности воды по отношению к бетонным конструкциям» для студентов, обучающихся по направлению «Строительство» очной формы обучения - перераб. и доп./С.П. Игашева, Л.В. Гейдт – Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», 2014. – с. 20.
9. Захарова К. Водно-энергетические проблемы в Центральной Азии на современном этапе // Проблемы постсоветского пространства. 2018 г, №. 5 (3), с. 302.
10. <https://www.lex.uz/uz>.