



**И.А.Ахмедходжаева, Т.Аппакходжаева,
З.И.Ибрагимова**

**Прогноз потери ёмкости
русловых водохранилищ сезонного
регулирования**

Ташкент 2019

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Ифода Ахмаджановна Ахмедходжаева,
Турсуной Убайдуллаевна Аппакходжаева,
Зайтуна Искандаровна Ибрагимова

**Прогноз потери ёмкости
русловых водохранилищ сезонного
регулирования**

УДК ББК А

В монографии освещается проблема заиления русловых водохранилищ ирригационного назначения на современном этапе. Дан детальный анализ имеющихся методов определения объемов заиления чаши водохранилищ. Анализируется современное состояние крупных русловых водохранилищ республики после длительного периода их эксплуатации. Описан метод прогнозирования изменения объемов заиления в зависимости от географического местоположения русловых водохранилищ.

Данная монография может быть полезна для гидротехников, гидравликов, гидрологов а также для докторантов и студентов факультетов указанных специальностей высших образовательных учреждений.

In this book overviewed the problem of siltation of channel reservoirs for irrigation purposes at the present stage. A detailed analysis of the available methods for determining the volume of siltation of the reservoir bowl is given. The current state of large riverbed reservoirs of the Republic after a long period of their operation is analyzed. A method of forecasting changes in siltation volumes depending on the geographical location of channel reservoirs is described.

This book can be useful for hydraulics, hydrologists as well as for doctoral researchers and students of the faculties of these specialties of higher educational institutions.

Ответственный редактор:

Доктор технических наук, профессор *А.М.Арифжанов*

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор *Э.Ж.Махмудов*

Доктор технических наук *М.Р.Икрамова*

ВВЕДЕНИЕ

Монография посвящена одной из самых актуальных и до настоящего времени освященных в недостаточной мере вопросов – точному определению и, особенно, прогнозированию потерь ёмкости русловых водохранилищ и вопросу размещения наносов в ирригационных водохранилищах.

Центрально-азиатский регион является одним из экономических районов, где основой хозяйства является орошаемое земледелие, которое базируется на совместном использовании водных ресурсов бассейнов рек Амударьи и Сырдарьи. Благоприятные природные условия и богатые водно-земельные ресурсы этого района создали большие возможности для развития орошаемого земледелия, эффективность которого непосредственно связана с водообеспеченностью. Перераспределение стока по территории республики в соответствии с режимом водопотребления осуществляется водохранилищами.

В бассейне Аральского моря построено более 60 водохранилищ с полезным объёмом воды свыше 10 млн. м³ каждое. Полный суммарный объём водохранилищ составляет 64,5 км³, из которого полезный объём составляет 46,5 км³, включая 20,2 км³ в бассейне р. Амударьи и 26,3 км³ – в бассейне р. Сырдарьи.

Благодаря построенным водохранилищам степень зарегулированности (гарантированной отдачи) стока составляет по Сырдарье 0,94 (т.е. естественный сток зарегулирован почти полностью), а по Амударье – 0,78 (т.е. имеются резервы дальнейшего регулирования). Регулирование Амударьи резко отличается тем, что в нем участвуют лишь три русловых водохранилища – 2 на Вахше (Нурекское и Байпазинское) и одно на Амударье (Тюямуюнское) и целый ряд наливных внутрисистемных водохранилищ на каналах (Каракумском – четыре, Каршинском – одно, Амубухарском – два) с общим объёмом более 6 км³. Но наполнение этих водохранилищ может производиться при тесной увязке режимов попусков с лимитами водозаборов в эти каналы. Большинство водохранилищ были построены более 25 лет тому назад. За период срока своего существования практически все они были подвержены заилению, что привело к потере проектного полезного объёма. Это означает, что вышеприведённые значения полезного объёма водохранилищ следует уменьшить как минимум на 30%, а стало быть, соответствующим образом снизить и степень регулирования стока рек /28/.

Одним из условий эффективной и экономичной эксплуатации водохранилищ является наличие информации об его объёме. Этот объём с каждым годом эксплуатации непрерывно сокращается из-за осадения наносов. За год в водохранилище могут накапливаться миллионы кубометров наносов, поэтому объём водохранилищ (по кривой его зависимости от

отметки уровня воды в нем) определяется со всё возрастающей погрешностью. Следовательно, необходим метод учёта непрерывного изменения объёма водохранилища в течение его эксплуатации.

Известно, что реальные технические возможности регулирования стока реки определяются в основном полезными объемами каскада водохранилищ в речном бассейне. Отсутствие работ по определению объемов заиления крупных ирригационных водохранилищ затрудняет возможности прогнозирования потери их ёмкости, т.к. все имеющиеся работы по определению заиления водохранилищ относятся к энергетическим, где уровень воды в верхнем бьефе держится на отметке нормального подпёртого уровня (НПУ). Отсутствие достоверной информации о регулирующих возможностях стока рек водохранилищами приводит к неправильному распределению располагаемых водных ресурсов и соответствующим негативным последствиям и, особенно, в маловодные годы. Например, с момента ввода Нурекского и Тюямуюнского гидроузлов в эксплуатацию прошло уже соответственно 48 и 39 лет. За это время вследствие заиления, переработки берегов и оползневых явлений их полезные объемы уменьшились. Из пяти водохранилищ (Нурек - одно, Тюямуюн - четыре) натурные наблюдения выполнялись только на одном из них (Тюямуюн - Русловое). Полезный объем этой емкости за этот период уменьшился на ~ 1,1 млрд. м³ (т.е. на 40 %) от проектного.

На практике фактические объемы заиления водохранилищ сильно отличаются от проектных. Их анализ показывает, что фактические объемы заиления превышают от 1,5 до 6 раз их проектные значения.

Существует много работ по определению емкости чаши водохранилищ и объёма их заиления. Однако анализ многолетних натурных наблюдений за изменением чаши водохранилищ показал, что высотное расположение водохранилищ имеет существенное влияние на интенсивность заиления.

Вышесказанное показывает назревшую необходимость проведения специальных научных исследований по уточнению методики для определения объемов заиления ирригационных водохранилищ за период их эксплуатации.

На основе анализа материалов по фактическому заилению общего и мёртвого объёмов более 20 крупных водохранилищ Узбекистана, приведенного в процессе работы над данной монографией, были разработаны рекомендации по определению ежегодного объёма заиления русловых ирригационных водохранилищ и прогнозированию потери емкости в будущем. При этом было уделено особенное внимание на их географическое расположение, так как в процессе работы была выявлена зависимость между интенсивностью заиления водохранилищ и их высотным расположением.

Сбор, изучение, системный анализ и обобщение натурных исследований на крупных водохранилищах Республики Узбекистан позволил разработать методику расчёта заиления русловых ирригационных

водохранилищ, разработать рекомендации по прогнозу изменения емкости водохранилищ в зависимости от твёрдого стока реки, определить зависимость между интенсивностью заиления водохранилищ и их географическим высотным расположением.

В монографии предложена зависимость для расчета объема твёрдого стока водотоков, на которых расположены крупные водохранилища Республики Узбекистан на основе статистической обработки натуральных данных, предложена методика расчёта и прогнозирования заиления русловых водохранилищ сезонного регулирования, на основе анализа распределения объемов отложений в водохранилищах. Установлена зависимость между интенсивностью заиления водохранилищ и их географическим высотным расположением. Описан процесс последовательности заиления водохранилищ сезонного регулирования, который показывает, что отложение наносов происходит одновременно как в зоне мёртвого объема, так и в зоне полезной ёмкости.

Применение разработанных рекомендаций будет способствовать рациональному управлению имеющимися водными ресурсами.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Принятые обозначения и понятия	7
Введение.....	7
I. Обзор существующих исследований по расчету и прогнозу заиления водохранилищ	12
1.1 Особенности механики отложения наносов в полезном и мёртвом объёмах водохранилищ.....	12
1.2 Существующие методы расчёта заиления водохранилищ.....	20
1.3 Анализ расчётных зависимостей заиления водохранилищ.....	25
II. Исследование и анализ заиления чаши крупных ирригационных водохранилищ после длительного периода их эксплуатации с учетом их высотного расположения	29
2.1. Классификация водохранилищ.....	29
2.2. Натурные промеры водохранилищ.....	33
2.3. Анализ и сравнение натурных и проектных данных по заилению русловых водохранилищ.	40
2.4. Анализ и сравнение натурных и проектных данных по наливным водохранилищам.....	98
III. Разработка расчётных зависимостей для оценки заиления ирригационных русловых водохранилищ	124
3.1 Стадии заиления русловых водохранилищ.....	124
3.2 Вывод расчётной зависимости для определения твёрдого стока...	131
3.3 Порядок расчёта твёрдого стока реки.....	136
3.4 Определение коэффициента корреляции.....	137
IV. Предлагаемая методика расчёта заиления водохранилищ	141

4.1. Порядок расчёта заиления водохранилищ.....	141
4.2 Примеры расчёта заиления по предлагаемой методике:	
а) Южно-Сурханское водохранилище.....	143
б) Тюямуюнское русловое водохранилище.....	149
4.3 Сравнительный анализ	161
Литература	165

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

К расчёту наносодерживающей способности и сроков службы водохранилищ.

α - показатель степени кривой распределения;

ε - степень осветления потока в бьефе в створе гидроузла или доля осадения наносов в верхнем бьефе по отношению к общему объёму бытового твёрдого стока за расчётную единицу времени;

$\varphi = \frac{W_i}{W_1}$ - относительная гидравлическая крупность;

W_1 - наименьшая гидравлическая крупность;

W_k - средняя гидравлическая крупность фракции;

H_0 - средняя глубина потока в бытовых условиях, м.

β - параметр кривой распределения, зависящий от геологических и гидрологических условий формирования смеси;

$\theta_{0,2}$ - содержание наносов в долях, гидравлической крупностью мельче 0,2 мм/с;

θ_2 - то же, мельче 2 мм/с;

ν - частота;

Ω - объём совокупности, величина, пропорциональная мутности по длине водотока;

МПУ - максимальный подпёртый уровень;

НПУ - нормальный подпёртый уровень, м;

ГМО - горизонт мёртвого объёма, м;

t_1 - продолжительность первой стадии заиления, лет;

t_2 - продолжительность второй стадии заиления, лет;

T - общая продолжительность заиления верхнего бьефа, равная сумме продолжительности первой и второй стадии заиления, лет;

H_0 – средняя глубина потока в бытовых условиях, м;
 h_l - глубина погружения частиц в створе на расстоянии ℓ от начального створа или глубина погружения потолка мутного потока;
 ℓ - расстояние от расчётного створа до плотины, м;
 V_p - средняя скорость потока в русле при условии транспортирования всех фракций взвешенных наносов, м/с;
 ω_{\approx} - осветление потока при достаточной длине водотока;
 $\sum_0^t R_i$ - объём наносов, отложившихся в водохранилище за рассмотренный период времени;
 R_o - объём наносов, отложившихся в водохранилище в первый год заиления;
 Q_n - средний за половодье расход воды; м³/сек;
 G_0 - среднееголетний годовой сток взвешенных наносов, м³.
 U_0 - средняя гидравлическая крупность, см/с;
 P_g - удельное содержание фракций в действующем составе наносов;
 P_e - удельное содержание фракций в начальном составе наносов;
 \tilde{N}_{\approx} - величина, определяющая степень осветления потока при достаточной длине водотока;
 W_k - средняя гидравлическая крупность фракции;
 ω_{\approx} - осветление потока;
 $V_{ид}$ - объём водохранилища, определённый по проектной кривой;
 W_p - объём русла, транспортирующего расчётное количество взвешенных наносов на начальной длине бьефа, м³;
 $V_p = 1,0\text{--}1,2$ м/с – средняя скорость потока при условии транспортирования всех фракций наносов, м/с;
 L_n - начальная длина бьефа, м;
 W_n^1 - объём верхнего бьефа, при котором начинается вторая стадия заиления.

$t_1 = \frac{W_0^1}{G_0}$ - продолжительность первой стадии заиления водохранилища, лет;

W_0 - полная ёмкость водохранилища, м³;

W_ξ - объём заиления водохранилищ, млн. м³;

α - коэффициент, приведённая мутность;

\hat{E}_1 - коэффициент, отношение фактического объёма заиления к проектному;

\hat{E}_2 - коэффициент, отношение объёма заиления мертвого объёма к общему заилению водохранилищ;

$R_{\bar{A}}$ - ежегодный приток наносов в верхнем бьефе водохранилища;

W_t^1 - объём верхнего бьефа, при котором поток транспортирует расчётное количество взвешенных наносов на начальной длине бьефа, м³;

W_ξ^1 - объём отложений в течении первой стадии заиления, м³;

$W_{\bar{A}} = \frac{W_\xi}{t}$ - фактический среднегодовой объём заиления, млн. м³;

W_{i0} - проектный среднегодовой объём заиления, млн. м³;

$W_{\xi i}$ - объём заиления мертвого объёма, м³;

$W_{\xi t}$ - общий объём заиления водохранилища за период t, м³;

W_i - мёртвый объём, м³;

W_{o_i} - ёмкость водохранилища в начале периода;

t - продолжительность периода в годах;

t_I - время, когда начинается вынос наносов в нижний бьеф;

$W_{i\bar{a}_i}$ - полный объём наносов, выносимых в нижний бьеф;

$W_{n\bar{b}_{i-1}}$ - объём наносов, выносимых в нижний бьеф за период i;

$W_{n\bar{b}_p}$ - объём наносов, выносимых в нижний бьеф за расчётный период;

$W_{n\bar{b}_{np}}$ - объём наносов, выносимых в нижний бьеф до начала расчётного периода;

W_H - ёмкость водохранилища в начале расчётного периода, млн. м³;

W_K - ёмкость водохранилища в конце расчётного периода, млн. м³.

I. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

1.1. Особенности механики отложения наносов в чаше водохранилища

Сведения о крупных водохранилищах ёмкостью более 50 млн. м³, расположенных на горных и равнинных участках рек бассейна Аральского моря, рассмотренных в процессе работы, приведены в табл. 1.1.1.

Таблица 1.1.1.

Основные водохранилища республики Узбекистан
(ёмкостью более 50 млн. м³)

№ №	Наименование водохранилищ	Источник питания	Проектный объём, млн. м ³	Полезный объём, млн. м ³	Проектная пл.зеркала при НПУ, км ²	Год ввода в эксплуат.	НПУ	ГМО
Русловые								
1	Андижанское	Сыр- Дарья	1900	1750	56	1983	906,0	846,5
2	Зааминское	Заамин, Заравшан	52	48	-	1986		
3	Хиссаракское	Гиссараксай	170	162	-	1985	1118,0	1060
4	Чимкурганское	Кашкадарья	500	450	49,2	1963	488,2	470,0
5	Кассансайское	р.Кассансай	165	155	8,0	1941	1128,5	1091,5
6	Южносурханское	Сурхандарья	800	597	65,0	1967	415,0	399,0
7	Тупаланское	Тупаланг	500		11,5	1986	960,0	850,0
8	Ахангаранское	Ахангаран	260	188	6,4	1958	1070,0	1010,0
9	Туябугузское	Ахангаран и Чирчик	250	224	20,7	1961	394,0	371,65
10	Чарвакское	Чирчик	2000	1580	40,1	1977		
11	Тюямуюнское Русловое	Амударья	2340	2070	303	1981	130,0	120,0
Наливные								
	Султансанжар	Амударья	2690	1630	149	1982	127,5	120
	Капарас	Амударья	960	550	70	1983	130	120
	Кошбулак	Амударья	1810	1020	128	1985	130	120
12	Шоркульское	Заравшан	170	153	42,3	1977		
13	Джизакское	Санзар	100	96	13,75	1973	372,5	356,5
14	Талимарджанское	Амударья	1525	1400	75,0	1987	400,5	370,0
15	Пачкамарское	Гузардарья	260	250	12,4	1968	676,0	636
16	Куюмазарское	Заравшан	350	303	18	1957	238,0	217,7
17	Тудакульское	Заравшан	1150	1010	175,3	1979	223,5	216,5
18	Каттакурганское	Заравшан	900	876	79,5	1940	511,0	490
19	Акдарьинское	Ак-дарья	132	110	3,87	1983	494,5	480
20	Учкызылское	канал Занг	160	80	10,10	1957	121,5	112,5
21	Актепинское	Сурхандарья	120	100	2,25	не заверш	-	-
22	Каркидонское	Кувасай	218	211	9,53	1968	625	615

Водохранилища на равнинных участках рек составляют большинство из существующих водохранилищ. Эти водохранилища в основном сезонного регулирования. Поскольку реки на равнинных участках несут значительное количество наносов (5 - 10 кг/м³ и более), то большая часть этих наносов остаётся в водохранилищах. Кроме того, эти водохранилища аккумулируют всего 0,3-10 % годового стока реки, поэтому можно приближенно определить степень годового заиления ёмкости таких водохранилищ в 0,5-2,0%. Значит, такие водохранилища через 25-50 лет потеряют половину своей ёмкости, а через 50-100 лет полностью заилятся и выйдут из строя.

Например, по данным натурных промеров, ежегодная потеря ёмкости Кайраккумского водохранилища составляет 0,8 % (за 13 лет из ёмкости 4,16 млрд. м³ заинилось 0,413 млрд. м³), Чардарьинского – 0,6 % (за 3 года из 5,7 млрд. м³ ёмкости заинилось 0,10 млрд. м³), Чимкурганского - 0,5 % (за 40 лет из ёмкости 500 млн. м³ заинилось – 100 млн. м³), Южносурханского - 1,0 % (за 40 лет из 800 млн. м³ ёмкости заинилось - 300 млн. м³), Пачкамарского - 0,75% (за 29 лет из 280 млн. м³ ёмкости заинилось 60 млн. м³). Среди русловых водохранилищ в наиболее невыгодном положении находятся водохранилища, работающие в гидроэнергетическом или близком к нему режимам.

Сравнение условий работы водохранилищ, работающих в ирригационном и гидроэнергетическом режиме, показывает, что:

а) при сработках ирригационных водохранилищ часть наносов, отложившихся в зоне полезной ёмкости, передвигается в зону мёртвого объёма;

б) в ирригационных водохранилищах намного меньше зарослей влаголюбивых растений, задерживающих мелкие наносы и заполняющих своими остатками часть полезной ёмкости водохранилища. Этот вопрос, представляющий значительный интерес, никогда не рассматривался в научных работах;

в) в гидроэнергетических водохранилищах, по требованиям нормальной работы ГЭС, горизонт воды поддерживается на отметке НПУ или допускается небольшая сработка. В этих условиях большие площади мелководья водохранилищ зарастают подводными влаголюбивыми растениями, в зарослях которых из-за резкого уменьшения скоростей течения выпадают все наносы. Эти мелкие наносы способствуют еще большему зарастанию водохранилищ. Так как заросли занимают объём только в зоне полезной емкости водохранилища, то это емкость начинает быстро уменьшаться.

Наливные водохранилища – наиболее выгодные с точки зрения борьбы с наносами. В такие водохранилища поступают только те взвешенные наносы, которые содержатся в объёме воды, забираемом в водохранилище из реки. Борьба с донными и крупными фракциями взвешенных наносов ведётся на головном водозаборном сооружении на реке и они, как правило, не попадают в водохранилища.

На подъёме паводка, когда поток несет наибольшее количество наносов и в то же время расход реки еще небольшой, можно не подавать воду в наливные водохранилища, тем самым уменьшить их заиление.

Если учитывать, что средняя мутность рек Средней Азии в зимние месяцы и перед вегетацией (основной период заполнения наливных хранилищ) составляет $1-3 \text{ кг/м}^3$, то можно определить, что ежегодно в водохранилище будут откладываться наносы объёмом $0,001-0,003$ от емкости водохранилища (при объёмном весе около 1 т/м^3) и для полного заиления водохранилища потребуется $350-1000$ лет.

Сведения о водохранилищах бассейна Аральского моря показывают, что проектный срок заиления мёртвого объёма этих водохранилищ изменяется от 34 до 126 лет и срок заиления общего объёма водохранилища более 700 лет. Средняя величина годовой потери емкости наливных водохранилищ составляет $0,11 \%$, поэтому заиление таких водохранилищ, в основном,

происходит только за счёт селевых паводков. Годовой твердый сток таких рек составляет 0,03 – 0,7 % ёмкости водохранилищ, т.е. полное их заиление, произойдет после 150 –1000 лет эксплуатации водохранилища.

Произведя сравнительный анализ и расчёт заиления имеющихся водохранилищ, было выяснено, что фактические объёмы заиления наиболее близки к объёмам, полученным по предложенной методике расчёта только для русловых водохранилищ, а расчёт заиления наливных водохранилищ необходимо производить другим способом.

Заиление мёртвого объёма водохранилищ. Мертвый объём водохранилища создаётся из-за необходимости закладки элементов водосбросных и водовыпускных сооружений гидроузла выше отметки среднего дна русла реки, как по условиям производства строительных работ, так и по условиям экономии материальных средств, при строительстве и эксплуатации. Иногда мёртвый объём создаётся в целях недопущения проноса влекомых наносов через водосбросные сооружения (в целях защиты от истирания пола и бортов водопропускных сооружений).

Мертвый объём русловых водохранилищ расположен непосредственно у самой плотины и водовыпускных сооружений. Так как у самой плотины расположены максимальные глубины при значительной ширине, то скорость потока имеет незначительную величину, поток имеет минимальную транспортирующую способность, и не проносит значительную мутность (о "тяжелом" (плотном) потоке нужно сказать, что он в водохранилищах Средней Азии проявляется редко, не оказывает большого влияния на заиление водохранилищ).

Отметка уровня воды в водохранилище никогда не может быть ниже отметки мёртвого объёма. Для снижения уровня ниже отметки ГМО необходимо откачать воду (например, при проведении ремонтных работ). Однако наличие мертвого объёма оказывает следующее отрицательное воздействие:

а) увеличение потерь на испарение и фильтрацию;

б) резкое ухудшение экологического состояния окружающей среды (в мёртвой застойной зоне водохранилища скапливаются и гниют всякие отходы, несомые рекой, кроме этого, были случаи скопления и размножения в мёртвой зоне ядовитых сине-зеленых водорослей).

При снижении уровня воды в водохранилище происходит частичный промыв отложенных наносов и переотложение их на нижележащих участках водохранилища.

Так как сработка водохранилищ происходит к концу вегетационного периода, когда по реке проходят малые расходы, то эффект переотложения наносов будет так же небольшим, так как объём смыва наносов имеет прямую зависимость от расхода реки. Но даже этот эффект приводит к тому, что часть наносов выносится в зону мертвого объёма и даже может выноситься через водовыпуски в нижний бьеф.

Эффект заиления мертвого объёма будет увеличиваться по мере заиления полезного объёма водохранилища.

Мертвый объём водохранилища, работающего в ирригационном режиме, полностью заилится раньше, чем будет заилен значительный полезный объём.

В связи с необходимостью прогнозов заиления водохранилищ и уточнения фактических ёмкостей водохранилищ, производится топографическая съёмка ложа водохранилищ (чаще всего по инициативе служб эксплуатации). На основании этих материалов корректируется расчетный объём водохранилища. Топографическая съёмка ложа водохранилища весьма сложная операция и при этом не всегда можно получить достаточно точные материалы.

К сожалению, такие съёмки производились редко и нерегулярно. Фактические материалы наблюдений за заилением водохранилищ показывают, что фактический объём заиления водохранилищ, особенно

русловых, всегда больше проектного объёма заиления, что показывает на низкое качество гидрологических материалов, заложенных в проектах, так как ежегодная потеря ёмкости водохранилища является одним из показателей водохранилища, необходимо уточнить эту величину по всем русловым водохранилищам. Да и по наливным водохранилищам уточнения фактической ёмкости не помешало бы.

Вопрос же осаждения наносов в ирригационных водохранилищах с переменным уровнем воды в них, до сих пор не решён.

На рис. 1.1.1. представлена карта с указанием основных водохранилищ, расположенных на территории Узбекистан.

Ирригационные водохранилища, как русловые, так и наливные, служат для перераспределения стока реки по времени – аккумулируя часть стока во вневегетационный период, для подачи этого объёма в необходимое время.

При этом происходят и отрицательные явления:

большие потери воды на испарение – с водной поверхности ежегодно испаряется слой воды толщиной 1,5-2 метра, эти потери увеличиваются с зарастанием берегов влаголюбивыми растениями, обычно камышом; потери воды на фильтрацию. Фильтрация к тому же ухудшает мелиоративное состояние прилегающих земель из-за поднятия уровня грунтовых вод, тем самым ухудшает их экологическое состояние;

3. отвлечение значительных площадей под водохранилища;

задерживают твердый сток реки. В начальный период все наносы реки осаждаются в водохранилищах. Только после заиления большей части емкости водохранилища часть взвешенных наносов начинает поступать в нижний бьеф. Вода, осветленная от наносов, поступая в нижний бьеф, производит ряд нежелательных процессов:

а) размыв дна и берегов реки и отводящих каналов;

б) повышается фильтрация из каналов, что значительно ухудшает мелиоративное состояние прилегающих земель;

5. отсутствие мелких фракций наносов в осветленной воде не позволяет кольматироваться ложу каналов;
6. наличие мертвого объёма водохранилища.

Со временем, по мере заиления полезного объёма, регулирующая способность водохранилища уменьшается, однако, при этом влияние отрицательных явлений не снижается.

ОСНОВНЫЕ КРУПНЫЕ ВОДОХРАНИЛИЩА УЗБЕКИСТАНА



Рис.1.1.1

1.2 Существующие методы расчёта заиления водохранилищ

Сразу же нужно оговориться о том, что все существующие методы расчёта заиления водохранилищ относятся к тем водохранилищам, которые работают с постоянным горизонтом воды в верхнем бьефе. Анализ материалов по методам расчета заиления водохранилищ позволил их разделить на 3 группы [66]:

1 группа. Методы, основанные на интегрировании дифференциального уравнения деформации русла или уравнения баланса наносов. Эти методы рассматривают деформацию русла за счет отложения наносов по времени, вызванной уменьшением транспортирующей способности потока при входе его в водохранилище. К ним относятся методы [10], [48], [46], [26], [15], [35], [14], [75], [49] и другие.

2 группа. Методы, основанные на применении формул предельной мутности и предельно устойчивых уклонов водной поверхности. Эти методы основаны на определении взвешивающей способности потока или нагрузки потока наносами при формировании русла в аллювии на границе заиления. К ним относятся методы [15], [5], [50], [34], [37].

3 группа. Эмпирические методы, основанные на применении формул показательного типа Тейлора, Орта, [28], [40,41], [30], [78], [], [72], [78], и другие.

Методы расчёта, относящиеся к 1 группе расчётов, практически не пошли дальше декларирования (кроме метода САНИИРИ), т.е. практически нигде в расчётах заиления водохранилищ не применялись из-за сложности процессов при заилении ирригационных водохранилищ, таких как изменение уровня воды в водохранилище, ширины фронта заиления и др., да и не могли быть применены из-за того, что в этих методах рассматривались только крупные наносы, а мелкие фракции, которые в составе наносов занимают 80 – 95 % от общего объёма, не учитывались.

Метод САНИИРИ широко применялся в расчётах заиления водохранилищ, но из-за того, что не учитывался ряд процессов, происходящих в природе при заилении водохранилищ (наличие застойных зон, переменный уровень воды при снижении уровня воды и др.), результаты расчётов оказались далеки от природы.

Метод А.Н. Гостунского [15], основанный на распределении наносов по крупности, весьма сложен и пределы его применимости весьма ограничены (применим только в 30% рассмотренных примерах, так как по составу входящих наносов параметр кривой распределения отличается от $\beta = -1,15 \pm 10\%$, поэтому метод был применён в расчётах только до 1951 года).

Недостатками метода расчёта переформирования русла у низконапорных плотин, разработанного Ф.Ш. Мухамеджановым [50] являются то, что:

- 1) он применим только для низконапорных плотин, порядка $\Delta h = (2-3)H_0$, и не применим для расчёта заиления водохранилищ с высоким напором перед плотинной;
- 2) он не приспособлен для расчёта заиления водохранилищ с переменным уровнем воды перед плотинной.

Метод расчёта заиления водохранилищ, предложенный Тейлором [79], основан на формуле, полученной по фактическим данным заиления водохранилища Остин:

$$W_{\zeta} = W_i (1 - \varepsilon)^t$$

То же самое предложил Орт [79] на основе материалов заиления ряда водохранилищ:

$$W_{\bar{n}\bar{a}} = W_0 \cdot \bar{a}^t$$

После некоторых преобразований, выполненных Г.И. Шамовым [72], это уравнение приняло следующий вид:

$$W_{\hat{n}\hat{a}} = W_0 \cdot \hat{a}^t = W_0 - \sum_0^t R_i$$

Из этой формулы при $t=1$ году можно получить выражение

$$a = 1 - \frac{R_0}{W_0}$$

Общий объём отложений за t - лет по формуле Г.И. Шамова определяется следующим образом:

$$W_s = W_0(1 - a^t)$$

Все эти формулы имеют недостаточную обоснованность, так как выведены в предположении, что с первого года начала эксплуатации в нижний бьеф выносятся части наносов.

В.С. Лапшенков [41] для расчёта заиления водохранилищ предложил следующую зависимость:

$$W_s = W_0(1 - e^{-\frac{t}{E}})$$

где $E = \frac{W_0}{\varepsilon' \cdot G}$.

Эта зависимость получена В.С. Лапшенковым, исходя из того, что в водохранилище всегда сохраняется квазиламинарное движение сплошного потока. В.С. Лапшенков [40], (так же как Тейлор, Орт, Г.И. Шамов и В.Н. Гончаров) предполагает, что вынос части наносов из водохранилища в нижний бьеф начинается с первых дней эксплуатации водохранилища.

В.С. Скрыльников [66] рекомендовал процесс заиления водохранилища разделить на 2 этапа.

1- этап – в водохранилище отлагаются все наносы (для водохранилищ, образованных небольшим напором, 1–го этапа может и не быть).

2- этап – в водохранилище отлагается только часть наносов, а остальная часть выносится в нижний бьеф.

Граничным условием является величина

$$\frac{W_p}{W_n^1} = 0,12$$

где

$$W_p = \frac{Q_i}{V_p} L_i$$

Продолжительность первой стадии $t_1 = \frac{W_3^1}{G_0}$

$$W_3^1 = W_n - 8,33 \cdot W_p$$

Изменение степени осветления во II стадии выражается

$$\varepsilon = 0,041 \left(\frac{W_p}{W_n} \right)^{-1,5}$$

где $W_n = W_n^1 - W_3$

$W_3 = \sum_0^{t_i} W_{3_i}$ - объём заиления с начала второй стадии;

$$W_{3_i} = G_0 (1 - \varepsilon) t_i$$

Если объём $W_n^1 = 8,33 \cdot W_p$ мал и составляет 5-6% от W_n , то расчётом второй стадии можно пренебречь. Продолжительность заиления в этом случае следует определять по выражению:

$$T = \frac{W_n}{G_0},$$

Избегая громоздких вычислений, В.С.Скрыльников [66] считает, что изменения горизонта воды в водохранилище не влияет на объёмы заиления водохранилища и не вносит существенных коррективов в определение сроков их заиления.

Это утверждение является спорным, так как при сработке водохранилища происходит переотложение наносов, и даже вынос их в нижний бьеф, поэтому, в конечном итоге, ирригационные водохранилища никогда полностью не будут заилены (в отличие от утверждения В.С.Скрыльникова).

Метод расчёта заиления водохранилищ, предложенный А.Х.Садыковым и Ф.А. Гаппаровым [58] разработан на основе водных балансов предыдущих лет эксплуатации водохранилищ. Для расчетов использовались данные о сумме приходных и расходных составляющих водных балансов водохранилища за несколько предыдущих лет его эксплуатации и значения отметок уровней воды в нем в конце каждого месяца каждого из этих лет. Объём водохранилища в зависимости от отметки уровня воды в нём в любой год рассчитывается по формуле:

$$V = V_{np} - \Delta V_{НПУ} \left(\frac{\Delta V}{\Delta V_{НПУ}} \right)$$

где $\left(\frac{\Delta V}{\Delta V_{НПУ}} \right)$ - величина, рассчитанная для различных отметок уровней в водохранилище.

Сравнение результатов расчёта с уменьшением объёма по данным съёмки чаши водохранилищ показало, что расчёт даёт хорошо совпадающие результаты, так как разница уменьшения полезного объёма меньше (+1%).

Кривые зависимости уменьшения объёма водохранилища от объёма стока по питающей его реке составляются после определения объёма стока по годам эксплуатации водохранилища.

1.3 Анализ расчётных зависимостей заиления водохранилищ

Анализ фактического состояния заиления водохранилищ показал, что во всех случаях прогноз заиления сильно отличается от натуральных данных. Кроме того, прогноз места осаждения наносов (в полезном или мёртвом объёме) не соответствует фактическим материалам, описывающим осаждение наносов.

Проектированием водохранилищ в бассейнах Сырдарья и Амударья занимались 3 проектных организации: Средазгипроводхлопок, Узгипроводхоз со своими филиалами и Среднеазиатское отделение Гидропроекта. Научным обеспечением этих проектов занимался САНИИРИ.

В САНИИРИ вопросами заиления водохранилищ ведал А.Н.Гостунский вместе со своими сотрудниками: И.И.Горошковым, Н.Ф.Цветиковой, С.Х. Абальянц и другими [1],[14].

Во ВНИИГИМ вопросами заиления водохранилищ занимался А.Г.Хачатрян, со своими сотрудниками – Х.Ш. Шапиро, З.И. Шарова и др., которые обслуживали проектные организации Закавказья, европейской части СССР и Туркмении [73],[74].

В проектах объёмы заиления водохранилищ, расположенных на территории Республики Узбекистан, определены при помощи расчётов, основанных на зависимостях, выведенных для расчётов ирригационных отстойников. А.Н. Гостунский разработал основы своего метода.

Впоследствии этот метод был расширен и применён его сотрудниками для расчётов заиления водохранилищ. В основу этого метода было положено уравнение распределения взвешенных наносов по крупности по кривой в виде

$$v = -(\beta + 1) \cdot \varphi^\beta \cdot \bar{a}^{-\alpha\varphi} \quad (1)$$

где $\varphi = \frac{W_i}{W_1}$ - относительная гидравлическая крупность.

Для условий рек Средней Азии $\beta = -1,15$, поэтому первоначально все расчётные таблицы и графики были составлены для $\beta = -1,15$. Впоследствии эти таблицы были составлены и для других значений β .

Показатель степени β определяется по формуле:

$$\beta = \lg \frac{\theta_2 - \theta_{0,2}}{10 \cdot \theta_{0,2}}$$

Уравнение динамики средней гидравлической крупности по длине водотока имеет вид:

$$U_{\bar{a}} = -\frac{\beta + 1}{\alpha} \cdot \left(\frac{\bar{a}^{-\alpha}}{\Omega} - 1 \right) \cdot W_1$$

Так как величины Ω и φ зависят от величины α , то расчёт осаждения наносов в водотоке сводится к определению параметра α . Зная средние величины скорости и глубины потока в водотоке, вычисляется осветление потока для разных длин.

Недостатки метода А. П. Гостунского:

- узкие пределы применимости;
- сложность расчёта;
- большие отклонения результатов расчёта от натурных данных по объёму и местоположению отложений наносов в водохранилищах.

Первый недостаток был вскоре ликвидирован, так как были составлены соответствующие таблицы и графики, расширяющие пределы применения, но сложность расчёта и получаемые отклонения так и остались.

Метод САНИИРИ, разработанный группой сотрудников САНИИРИ под руководством А.Н.Гостунского, основан на расчёте осаждения каждой фракции наносов в отдельности. Расчёт состоит в определении действующего состава наносов (наносов, выпадающих в водотоке при его достаточной длине) и определении состава выпадающих наносов при заданном освещении потока.

Удельное содержание фракций в действующем составе наносов

$$P_g = P_\kappa \frac{1 - e^{-C_g W_\kappa}}{1 - \omega_\approx}$$

Расчётное освещение

$$\omega_g = \frac{\omega_g - \omega_\approx}{1 - \omega_\approx}$$

Задаваясь значениями C_g по формуле

$$P_g^I = P_g \cdot e^{-C_g W_\kappa}$$

вычисляется освещение потока $\omega_g = \sum P_g^I$ и строится график $\omega_g = f(C_g)$, по нему находится значение C_g^I , соответствующее ω_g^I .

Длина участка освещения равна: $l = g \cdot H \cdot C_g^I$

Расчёт по методу САНИИРИ, хотя и прост, но более трудоёмок, чем расчёт по методу А.Н. Гостунского.

При расчёте заиления водохранилища весь ряд гидрографа поступления воды в водохранилища разбивался на отдельные периоды, величины расходов и уровней воды усреднялись, и расчёт вёлся по этим усреднённым данным. Для расчёта заиления водохранилища приходилось производить сотни циклов расчётов. Однако при этом приходилось делать серьёзные допуски:

1. В расчётах принималось, что расход реки протекал равномерно по всей ширине (иногда по многокилометровой ширине водохранилища) единым потоком, что противоречит фактическим данным (поток протекает единым фронтом только при ширине не более 3 – 4 устойчивой ширины потока).

2. В расчётах принималось, что наносы, отложившиеся единожды, больше не смывались. Фактически, часть наносов месяцами не уплотняется и находится в полувзвешенном состоянии, а при снижении уровня воды в водохранилище легко уносится вниз по течению. А свежееотложившиеся наносы при снижении уровня воды легко смываются.

Поэтому, согласно расчётам, заилению подвергались полезные ёмкости водохранилища и только после заиления значительного объёма полезной ёмкости, начиналось заиление мёртвого объёма.

В Интернете, в результате поиска методов расчёта заиления водохранилищ других авторов, было выяснено, что до сих пор используются для этого методики А.Н.Гостунского, Г.И.Шамова, В.С.Лапшенкова, В.С.Скрыльникова. То есть, до сих пор нет какого-либо метода, дающего более точные результаты в этой области водного хозяйства.

ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЗАИЛЕНИЯ ЧАШИ КРУПНЫХ ИРРИГАЦИОННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ С УЧЕТОМ ИХ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Классификация водохранилищ

К настоящему времени предложено достаточно много классификаций водохранилищ по различным признакам. В данной работе рассмотрены только те классификации, которые прямо или косвенно отражают особенности гидрологического режима водохранилищ. Что касается других классификаций (по гидрохимическому и гидробиологическому режимам, гидроэнергетическим показателям, характеру использования и др.), они здесь не рассмотрены, хотя в литературе описаны достаточно подробно [3, 4, 11, 70].

При рассмотрении вопросов водного баланса и водных ресурсов водохранилищ и их влияния на речной сток используется классификация водохранилищ *по их происхождению*. По этому признаку выделяют три наиболее характерных типа водохранилищ:

- речные водохранилища, создаваемые в долинах рек;
- озерные водохранилища, создаваемые вследствие подпора уровня озер;
- наливные водохранилища, возникновение которых связано с заполнением обособленной котловины специально отводимыми сюда речными водами.

Наиболее распространенными являются речные водохранилища.

В работе А. Б. Авакяна [3], кроме указанных типов можно выделить

- подземные;

- морские водохранилища;
- водохранилища-коллекторы сбросных вод.

Наиболее часто водохранилища классифицируют по конфигурации, морфометрическим показателям, характеру регулирования стока и характеру водообмена. Далее рассмотрены классификации именно по этим признакам.

По *конфигурации* водохранилища классифицировать довольно трудно, так как они могут иметь самую причудливую форму и очертания. Кроме того, конфигурация водохранилищ меняется при изменении уровня воды в них. В связи с последним обстоятельством, в большинстве предложенных классификаций рассмотрена конфигурация водохранилищ при НПУ.

Наиболее детальной в настоящее время является классификация М. А. Фортунатова, который предложил выделять четыре типа водохранилищ:

- пойменные;
- долинные;
- озеровидные;
- водохранилища сложной конфигурации.

Отдельные типы водохранилищ, в свою очередь, подразделены по форме на несколько подгрупп [70].

В.С. Вуглинским [12] предложено выделять по конфигурации три типа водохранилищ: продолговатые, округлые и сложной формы. Продолговатые водохранилища характеризуются вытянутой формой и соответствуют условию $L > 5B$, где L — длина водохранилища, B — его средняя ширина. Округлые водохранилища имеют круглую или эллипсовидную форму при условии $L < 5B$. Водоохранилища сложной формы в отличие от двух предыдущих типов имеют причудливые в плане очертания, часто с чередованием отдельных сужений и расширений. Согласно этой классификации, округлую конфигурацию имеют Кумское ($L/B = 3$), Сегозерское ($L/B = 3$), Рыбинское ($L/B = 2,8$) и Кайраккумское ($L/B = 5$)

водохранилища; продолговатую — большинство водохранилищ, созданных в долинах рек. Сложную конфигурацию имеют Камское, Братское, Виллойское и Каттакурганское водохранилища.

Классификации водохранилищ по *морфометрическим признакам* были предложены в работах М. А. Фортунатова [70], А. Б. Авакяна и В. А. Шарапова [3]. А. И. Макарова и В. А. Вейнерт [44], К. К. Эдельштейна [77]. Наиболее удачная классификация водохранилищ по объему и площади водной поверхности предложена А. Б. Авакяном и В. А. Шарповым в работе [3]. Данная классификация основана на анализе размеров большого числа водохранилищ земного шара и является достаточно детальной (табл. 2.1.1).

Таблица 2.1.1.

Классификация водохранилищ по размерам

Категория водохранилищ	Полный объем, км ³	Площадь водного зеркала, км ²
Крупнейшие	>50	>5000
Очень крупные	50-10	5000-500
Крупные	10-1	500-100
Средние	1-0,1	100-20
Небольшие	0,1-0,01	20-2
Малые	<0,01	<2

Наиболее полную классификацию *по морфологии ложа водохранилища* предложил К. К. Эдельштейн. Он выделил три типа водохранилищ долинные; котловинные; смешанного типа.

Долинные водохранилища подразделяются на три подтипа — русловые, пойменно-долинные и котловинно-долинные; котловинные — на озерно-котловинные, депрессионные и котлованные. Кроме того, он подразделяет

водохранилища каждого из перечисленных подтипов на морфологически простые и морфологически сложные [70], [77].

По *характеру регулирования стока* различают водохранилища многолетнего, сезонного, недельного и суточного регулирования. Эта классификация общепризнанна и нашла широкое применение. Считают, что в целях осуществления многолетнего регулирования достаточно, чтобы полезный объем водохранилища составлял 20—25 % годового стока реки, а для сезонного регулирования - 8—20% [2]. Однако на практике эти соотношения не соблюдаются. На первый план выходят требования отдельных отраслей, участвующих в эксплуатации водохранилища: гидроэнергетики, орошения, коммунального и промышленного водоснабжения, водного транспорта, рыбного хозяйства. Нередко водохранилища многолетнего регулирования имеют полезный объем, превышающий среднегодовой сток в створе плотины (Токтогульское), а водохранилища сезонного регулирования имеют полезный объем, часто достигающий 40 % годового стока реки в створе гидротехнического сооружения.

По *характеру водообмена*, согласно ГОСТу 17.1.1.02-77, различают водохранилища с замедленным ($K < 0,1$), умеренным ($0,1 < K < 5,0$) и интенсивным ($K > 5,0$) водообменном. Коэффициент K характеризует в данном случае относительный объём водохранилища, т.е. отношение объёма стока воды через гидроузел в средний по водности год к полному объёму водохранилищ [12].

В работе приведена классификация водохранилищ по различным признакам и предлагается рассматривать водохранилища по их *географическому положению*. Результаты анализа данных фактического объёма ежегодных отложений наносов в русловых водохранилищах показали, что годовой твёрдый сток, отлагаемый в чаше водохранилищ, зависит от их географического расположения. Чем ниже относительно отметки уровня моря

расположено водохранилище, тем интенсивнее (по сравнению с проектными данными) происходит процесс заиления его ёмкости, и наоборот, чем выше – заиление почти равно проектным прогнозам. По результатам анализа натуральных данных при отметке выше 1600 м твёрдый сток стремится к нулю.

2.2. Натурные промеры водохранилищ.

Натурные наблюдения за заилением и состоянием водохранилищ ведутся на всех крупных водохранилищах Средней Азии. Наблюдения проводились Кайраккумской гидрометобсерваторией (Тюябугузкое, Чимкурганское, Кайраккумское и Каттакурганское водохранилища), САНИИРИ (Тюямуюнское русловое, Южносурханское, Пачкамарское и Каркидонское водохранилища) и Средазгипроводхлопоком (Каттасайское водохранилище). В последние годы (2001 – 2016 г.г.) замерами объёмов водохранилищ занимается Батиметрический центр Минсельводхоза Республики Узбекистан, имеющий современное оборудование и более совершенную методику замера.

Заиление водохранилищ, в основном, определяется периодическими топографическими промерами чаши водохранилищ, редко, по весьма приблизительному балансовому методу (по объёму поступления наносов в водохранилища).

В настоящей работе использованы систематизированные данные натуральных наблюдений вышеперечисленных организаций, изложенные в технических отчетах, а так же в публикациях и аннотациях. На основе этих натуральных данных, нами была предпринята попытка систематизировать существующие водохранилища по режиму их работы, по географическому и высотному месторасположению.

Промеры глубин водохранилищ по закреплённым створам производились с целью изучения динамики изменения, как мёртвого объёма, так и всей ёмкости водохранилищ.

Список существующих крупных водохранилищ на территории Республики Узбекистан приведен в Приложении 1 (табл. 1.1.1). Все они, кроме Каттакурганского и Касансайского, построены и введены в эксплуатацию в период 1956-80 годы.

За заилением этих водохранилищ велись более или менее тщательные наблюдения, так как промеры емкости водохранилищ очень трудоемкие, а результаты промеров получались весьма приблизительными.

Причиной этого являлось:

- уплотнение отложений по времени;
- уплотнение дна водохранилища;
- принятая методика подсчета объема отложений: емкость измерялось по поперечникам, а сами поперечники не параллельны между собой;
- утопление груза в неуплотненные отложения при промерах с грузом и неточность показаний при промерах эхолотом;
- ветровой нагон уровня воды в водохранилище (считается, что уровень воды в водохранилище горизонтален);
- разность в методологии и способов съемки поперечников (не одними и теми же людьми, но и разными организациями).

Чем продолжительнее период наблюдения за заилением водохранилища, тем точнее полученные результаты.

В таблице 2.2.1 приведены результаты сравнения данных натурных наблюдений за заилением всех русловых водохранилищ, расположенных на территории Республики Узбекистан ёмкостью более 50 млн. м³ с начала их эксплуатации до 2016 года с проектными. Анализ этих данных позволил сделать следующее заключение:

1. основным фактором потери емкости водохранилища является заиление ее приносимыми водотоком наносами. Потери емкости за счет переработки берегов составляет всего несколько процентов от общих потерь и доля этой величины из года в год уменьшается;

2. фактический объем отложений в водохранилище всегда превышает проектный объем, исключение составляет Кассансайское водохранилище, где фактический объем отложений равен проектному:

- по Тюямуюнскому, Южносурханскому, Кайраккумскому, Ташкентскому русловым водохранилищам в среднем 1,5 раза;
- по Андижанскому водохранилищу в 1,8 раза;
- по Чимкурганскому водохранилищу в 3,66 раза;
- по Ахангаранскому, Пачкамарскому водохранилищам в 6,17 - 6,95 раза;
- по Талимарджанскому, Каттакурганскому, Куюмазарскому наливным водохранилищам в 1,25 – 2,00 раза.

Результаты анализа данных фактического объёма ежегодных отложений наносов в русловых водохранилищах следующие:

- годовой твёрдый сток зависит от географического расположения водохранилища: чем ниже расположено водохранилище, тем больше годовой твёрдый сток, и чем выше отметка его расположения, тем меньше годовой твёрдый сток. При отметке выше 1600м твёрдый сток стремится к нулю;
- с уменьшением ёмкости водохранилища за счет заиления его чаши, интенсивность процесса заиления снижается.

В таблице 2.2.2 приведены данные о заилении по всем водохранилищам Республики Узбекистан, где указаны проектные данные, данные последних замеров и натурные измерения, выполненные Батиметрическим Центром.

Таблица 2.2.1

СОПОСТАВЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ЗАИЛЕНИИ ВОДОХРАНИЛИЩ С ПРОЕКТНЫМИ

№ №	Наименование водохранилищ	Год вступления в эксплуата цию	НПУ, м	Общий объём проектный W_0 , млн.м ³	Годовой объём заиления $R_{\bar{A},\bar{\delta}}$, млн. м ³	Период наблюдения	Объём водохранилища к концу периода	T, лет	Фактический объём заиления $W_{\bar{c},\bar{i}}$, млн. м ³	Ежегодный фактический объём заиления $R_{\bar{A},\bar{\delta}}$, млн. м ³	$K_1 = \frac{R_{Г.ф.}}{R_{Г.пр}}$	K_{1cp}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Ахангаранское	1972	1070,5	200	0,07	1972-2000	187,9	28	12,1	0,4321	6,17	6,17
2	Пачкамарское	1967	676,0	260	0,284	1967-70	249	4	11	2,75	9,68	6,95
						1967-86	233,04	20	27	1,35	4,75	
						1967-96	207,45	30	52,55	1,71	6,44	
3	Кайраккумское	1956	347,5	4160	19,0	1956-58		3	97	32,33	1,7	1,50
						1956-60		5	143	28,6	1,50	
						1956-66	3977,5	11	221	20,1	1,06	
						1956-69	3788,8	13	413	21,76	1,67	
						1956-75		19	560	29,47	1,55	
4	Чимкурганское	1960	488,2	500	1,2	1962-71	448,9	9	51,1	5,68	4,73	3,66
						1962-73	446,0	11	54	4,91	4,09	
						1962-2000	401,412	38	98,59	2,59	2,16	
5	Южно-Сурханское	1962	415,0	800	6,8	1962-70		9	98,4	10,93	1,6	1,12
						1991-75		5	53,6	10,72	1,57	
						1976-79		4	42,0	10,5	1,54	
						1980-89		10	41,0	4,1	0,6	
						1990-96		7	32,0	4,57	0,68	
						1997-2002		6	30,0	5,0	0,735	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

6	Куюмазарское	1957	237,5	305	0,37	1957-2002	274,5	45	30,5	0,678	1,84	1,84
7	Галимарджанское	1975	400,5	1525	1,8	1975-2002	1464,03	27	60,5	2,24	1,24	1,24
8	Тудакульское	1969	223,0	1060	-	1969-2002	1035,4	32	24,6	0,769	-	-
9	Каттакурганское	1941		900	0,088	1941-55		14	1,419*	0,101	1,15	1,57
						1941-75		34	6,0	0,176	2,00	
10	Кассансайское	1941	102,0-128,5	165	0,2	1943-53		10	0,989	0,099	1,0	1,0
						1943-60		17	2,430	0,143		
						1943-65		22	3,486	0,158		
						1943-69		28	5,60	0,20		
11	Тюямуюнское	1980	130,0	2340	47,5	1980-85	1755	5	585	117	2,46	1,354
						1980-86	1890	6	450	75	1,58	
						1980-87	1812	7	528	75,4	1,59	
						1980-88	1755	8	585	73,1	1,54	
						1980-89	1775	9	565	62,8	1,32	
						1980-90	1781	10	559	55,9	1,18	
						1980-91	1676	11	664	60,4	1,27	
						1980-92	1559	12	781	65,1	1,37	
						1980-93	1473	13	867	66,2	1,40	
						1980-95	1427	15	913	60,9	1,28	
						1980-96	1346	16	954	59,6	1,26	
						1980-97	1442	17	898	52,8	1,11	
						1980-98	1334	18	1006	55,9	1,18	
						1980-99	1290	19	1050	55,3	1,16	
						1980-2000	1369	20	971	48,55	1,022	
12	Ташкентское	1963	394,0	250	1,12	1963-97	190,187	34	59,81	1,759	1,57	1,52
						1963-85	204,0	23	46,0	2,0	1,48	

ДАнные О ЗАИЛЕНИИ ВОДОХРАНИЛИЦ

№	Название водохранилищ	Источник	Проектные данные			Ранее замеренные данные					Данные Батиметрического Центра				
			год ввода	полный объём, Wo, млн.м ³	полная площадь зеркала при НПУ км ²	год замеров	полный объём, Wo, млн.м ³	полная площадь зеркала км ²	объём осевших наносов, млн.м ³	годовой объём наносов, млн.м ³	год замеров	полный объём, Wo, млн.м ³	полная площадь зеркала км ²	общий объём наносов, млн.м ³	годовой объём наносов, млн.м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Акдарьинское	Акдарья	1984	112.5	12.7	2002	92.57	11.6	19.93	1.11	2004	93.17	13.97	19.33	0.97
2	Андижанское	Карадарья	1983	1900	56	-	-	-	-	-	2003	1664.8	57.28	235.21	11.76
3	Ахангаранское	Ахангаран	1978	210.36	5.2	2000	187.9	2.9	22.46	1.02	2002	200.16	5.6	10.2	0.43
4	Джиззакское	Санзор	1973	100	13.75	1996	82.2	13.75	17.8	0.77	2003	80.08	13.08	19.92	0.66
5	Каттакурганское	Зарафшан	1968	900	84.5	1991	900	84.5	0	-	2003	697.46	84.5	202.54	5.79
6	Южносурханское	Сурхандарья	1967	800	65	-	-	-	-	-	2002	503	57	297	8.49
7	Куюмазарское	Амударья, Зарафшан	1960	310	17.2	2002	306.7	17.2	3.3	0.08	2002	274.5	16.7	35.5	0.85
8	Пачкамарское	Гузардарья	1968	260	12.4	1996	207.5	11.9	52.5	1.88	2004	192.6	14.4	67.4	1.87
9	Талимаржанское	К МК, Амударья	1975	1525	77.4	-	-	-	-	-	2002	1464.03		60.97	3.59
10	Ташкентское	Ангрен	1964	250	20.7	1997	190.2	16.5	59.8	1.81	2001	207.68	20.17	42.32	1.14
11	Тудакулское	АБМК, Зарафшан	1969	1200	162	2003	1200	162	0	-	2002	1035.4	175.32	164.6	4.99
12	Тупалангское	Тупаланг	1992	100	8.85	-	-	-	-	-	2003	83.35	2.71	16.65	1.51
13	Хиссаракское	Аксу	1987	170	4.1	1999	156.53	4.1	13.47	1.12	2003	147.6	4.79	22.4	1.40
14	Туямунское	Амударья	1985	7800	650	2000	6829	650.1			-	-	-	-	-
15	а. Русловое		1983	2340	303		1369	303	971	64.73	2005	1287.47	300.35	1052.53	45.76
17	б.Капарас		1985	960	70.1		960	70.1	-	-	2005	940.85	65.5	19.15	0.91
18	в.Султансанжар			2690	149		2690	149	-	-	-	-	-	-	-
19	г. Кушбулок			1810	128		1810	128	-	-	-	-	-	-	-
22	Чимкурганское	Кашкадарья	1963	500	49.2	2000	401.41	43.88	98.59	2.66	2005	386.07	38.73	113.93	2.71
23	Шуркулское	Зарафшан	1987	450	42.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	Кураултепинское	Зарафшан	1984	53	-	2001	53	8.5	0	-	-	-	-	-	-
30	Кизилсувское	Туранбулок	1987	20	-	2003	9	0.6	11	0.69	-	-	-	-	-
31	Карасувское	Испарон	1985	6.2	-	2001	27.6	4.14	-21.4	-1.34	-	-	-	-	-
32	Карасуйское	Карасув	1985	29	-	2001	24.3	4.06	4.7	0.29	-	-	-	-	-

33	Тусинсайское	Тусун	1987	52	-	2002	42	2.68	10	0.67	-	-	-	-	-
34	Жоддасойское	Чотоксой	1988	46.5	-	1985	47.7	2.3	-1.2	-	-	-	-	-	-
35	Актепинское	Амударья	1990	467	2,25	2003	100	11.5	367	28.23	-	-	-	-	-
7	Дегрезское	Хужайлоксай	1962	12.7	-	1979	12.75	2.25	-0.05	0.00	-	-	-	-	-
38	Заминское	Заминсай	1980	51	1.4	1998	51	1.4	0	-	-	-	-	-	-
39	Камашинское	Яккабогдарья	1946	25	-	2003	25	2.82	0	-	-	-	-	-	-
40	Каратепинское	Каратепасай	1981	24	-	2002	16.97	1.9	7.03	0.33	-	-	-	-	-
41	Каркидонское	Кувасай, Карадарья	1968	218.4	9,53	2001	218.4	9.53	0	-	-	-	-	-	-

2.3. Анализ и сравнение натуральных и проектных данных по заилению руслowych водохранилищ

Срок службы с гарантированным режимом водоподачи приплотинных оросительных систем определяется исходя из продолжительности протекания процессов заиления и занесения. Отложение наносов в верхнем бьефе постепенно уменьшает первоначальный объём и на определённом этапе заиления настолько сокращает полезную регулируемую ёмкость водохранилищ, что вызывает нарушение запланированного режима работы водоисточника и ухудшает тем самым режим работы оросительных систем за счёт нарушения водообеспеченности земель.

Переход на платное водопользование вызывает необходимость экстренного выявления не только фактической степени заиленности водохранилищ, но и прогноза изменения полезного объёма в процессе заиления по годам эксплуатации с тем, чтобы своевременно вносить коррективы в графики водопользования и принимать меры по продлению срока службы водохранилищ, осуществлять борьбу с непроизводительными потерями стока.

Кайраккумское водохранилище расположено на реке Сырдарье вверх по течению Кок-Тюрлюкской петли в пределах Кайраккумской степи. Высота призмы сработки 7,5 м. Водоохранилище образовано глухой земляной плотиной и сопряженной с ней водосливной плотиной.

Таблица 2.3.1.

Основные параметры водохранилища

Полный объём водохранилища, млрд. м ³	4,16
Полезный объём, млрд. м ³	2,6
Мёртвый объём, млн. м ³	1,56
Площадь зеркала при НПУ, кв.км	520
Высота призмы сработки, м	7,5
Средняя глубина воды, м	8
Максимальная глубина (у плотины), м	25

Подпор от плотины при отметке НПУ распространяется вверх по течению на 65 км, ширина водохранилища достигает до 17 км, длина же водохранилища достигает 55 км. Наиболее мелководная часть водохранилища – северо-восточная (левобережная), где глубины составляют 1,5 – 1 м.

Среднемноголетний годовой сток воды в створе гидроузла 16,6 млрд. м³. Для уменьшения площади затопления культурных земель, расположенных здесь, левый берег водохранилища на этом участке обвалован двумя дамбами: приплотинной - длиной 10,2 км, непосредственно примыкающей к плотине и Махрамской, длиной 16,4 км, расположенной в средней части длины водохранилища.

Чаща водохранилища имеет значительную площадь мелководья, из них площадь правобережной части – 122 км² имеет среднюю глубину 3,38 м и ёмкость – 370 млн. м³ и левобережная часть – площадь 80 км². Эти мелководья, площадью 200 км² и ёмкостью несколько больше 0,5 млрд.м³, находятся в зоне призмы сработки.

По расчёту за 50 лет эксплуатации в полезной ёмкости водохранилища должны были отложиться 686 млн.м³ наносов и общая ёмкость водохранилища должна была уменьшиться с 4,2 млрд. м³ до 3,3 млрд. м³.

Резкое увеличение живого сечения на участке впадения реки в водохранилище и уменьшение скорости потока вызвали интенсивное выпадение наносов в начале водохранилища.

Главным образом заиливается русло реки и прилегающая к нему зона шириной 0,45÷4,5км. В остальной части ширины водохранилища образовалась застойная зона, куда река не растекается и, следовательно, там не происходит отложение речных наносов.

Ввиду интенсивного отложения наносов при входе в водохранилище, заиливаемый участок напоминает формирование дельтовой части реки с появлением многочисленных отмелей и протоков. На этом участке наблюдаются поднятие дна и повышение уровня воды до 4,5м.

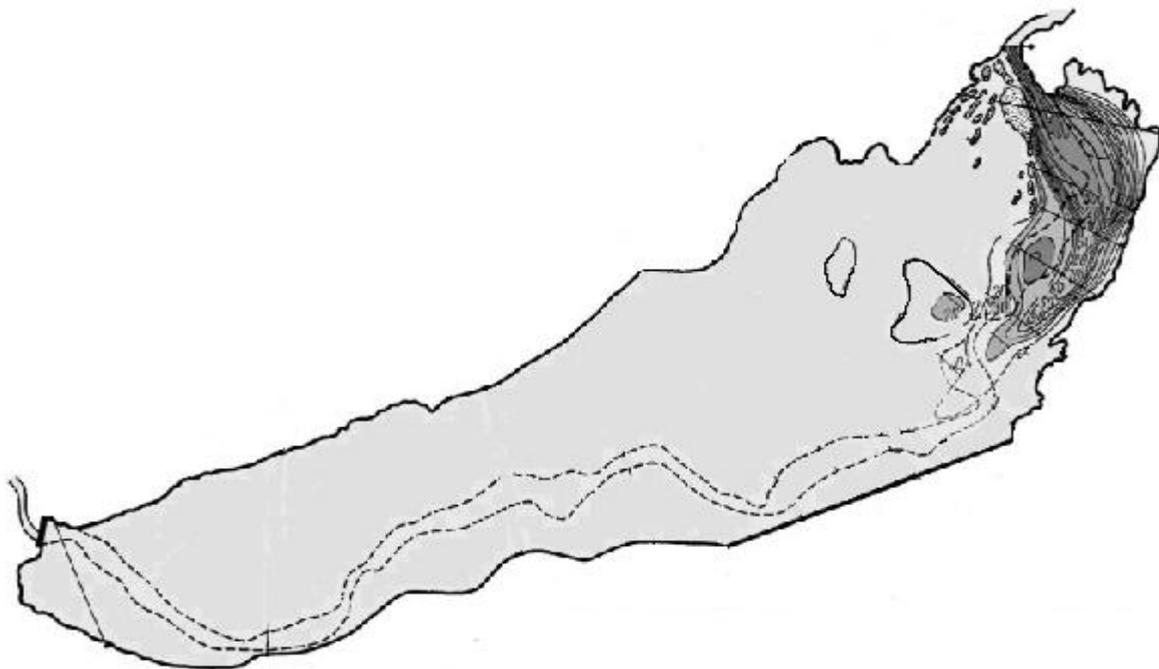


Рис. 2.3.1 Схема Кайраккумского водохранилища

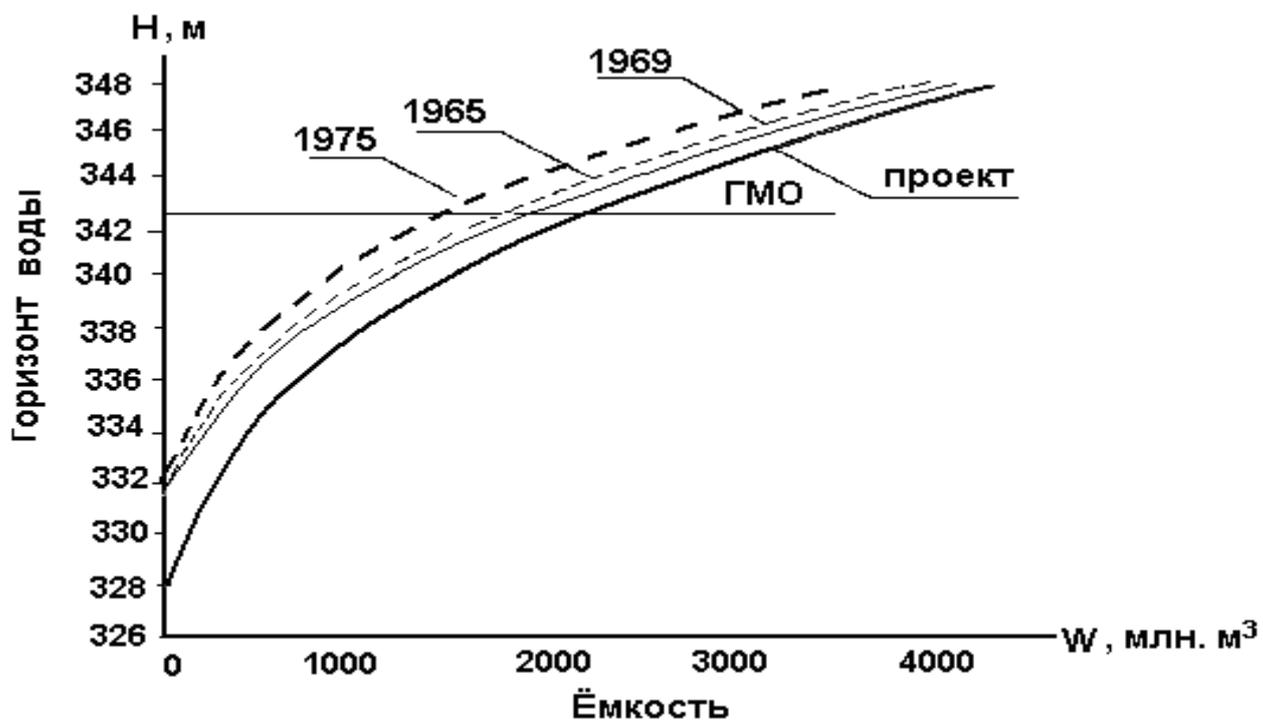


Рис. 2.3.2 Кривые зависимости ёмкости Кайраккумского водохранилища от горизонта воды

Если в 1959 году 90% наносов отлагались на длине 9км от начала впадения реки в водохранилище и 96 % на расстоянии 17,5км, то в 1965г наносы уже отлагались на длине примерно 40км.

При сработке горизонта воды в верхнем бьефе на 7,0м, что произошло в 1965 году, нужно было ожидать увеличение поступления наносов из верхней мелководной зоны в среднюю часть водохранилища. Однако, из – за растекания потока и отсутствия чётко выраженного руслового потока, бытовые мутности достигали только створа 3 (около 15 км от места впадения реки в водохранилище). Объём грунта, поступившего в водохранилище за счет переработки берегов и островов за время 1965-1969 г. составил 4,8 млн.м³. Этот процесс является затухающим и из года в год уменьшающимся. Острова, сложенные из барханного песка, подвергаются интенсивному разрушению при ветровых волнениях, достигающих в водохранилище высоты 3,3 м. Влияние этого объёма на общий объём заиления незначительно и в расчёт не принимается.

Площади зеркала и объёма Кайраккумского водохранилища по проекту и состоянию на 1966 и 1969 года приведены в таблице 2.3.2.

Таблица 2.3.2.

Площади зеркала и объёма Кайраккумского водохранилища

Отметки	F, млн.м ²		W, млн. м ³		
	Годы				
	1966	1969	Проектный	1966	1969
330	11,1	11,1	11,1	19,6	19,6
332	38,35	38,35	220	69,1	69,1
334	67,75	67,75	400	175,2	175,2
336	134,2	134,0	620	337,1	376,9
338	166,2	165,5	980	677,6	676,5
340	229,8	221,0	1380	1073,6	1063,1
342	304,4	282,0	1930	1607,8	1566,1
344	411,4	365,3	2550	2323,5	2213,4

Где, F – площадь зеркала, W – объём водохранилища.

Из таблицы видно, что к 1966 году произошли большие изменения в ёмкости водохранилища: мертвый объём оказался намного меньше, чем было предусмотрено по проекту. В то время, когда общая ёмкость за 1956 – 1966 годы за счет заиления уменьшилась на 221 млн. м³, мертвый объём уменьшился с 2100 млн. м³ до 1770 млн. м³, т. е. на 330 млн. м³.

Последующие промеры, проведенные в 1969 году, показали, что за период 1966 – 1969 годы водохранилище заилено еще на 192 млн. м³. Особенно сильное заиление произошло в многоводном -1969 году, когда расход потока, поступающего в водохранилище, достиг значения 4200 м³/сек. Паводок 1969 года прошёл по водохранилищу при отметках горизонта воды равных 342 – 344 м, поэтому на этих отметках произошли основные изменения площади зеркала и ёмкости. А положение берега при отметке НПУ, и соответственно площадь зеркала изменились незначительно.

Из вышеизложенного исходит, что с начала эксплуатации в зоне мертвого объёма водохранилища отложилось 100 млн. м³ наносов.

В таблице 2.3.3. приведены объёмы отложения наносов в Кайраккумском водохранилище по периодам.

Таблица 2.3.3.

Объёмы отложения наносов в Кайраккумском водохранилище по периодам

Годы	Лет наблюдений, t	W _{зо} , млн. м ³	$R_{Г.ф.} = \frac{W_{зо}}{t}$, млн. м ³ /Г.	R _{Г.пр} , млн. м ³ /Г.	$K_1 = \frac{R_{Г.ф.}}{R_{Г.пр}}$
1956-60	5	143	29	19	1,5
1956-65	8	221	27	19	1,4
1956-69	13	413	32	19	1,7

W_{зо} - общий объём заиления, млн. м³;

$R_{Г.ф.} = \frac{W_{зо}}{t}$ - фактический среднегодовой объём заиления, млн. м³/Г.;

R_{Г.пр} - проектный среднегодовой объём заиления, млн. м³/Г.;

$$K_1 = \frac{R_{Г.ф}}{R_{Г.пр}} - \text{отношение фактического объема заиления к проектному.}$$

Это сопоставление показывает, что процесс заиления в натуре происходит более интенсивно, чем по проекту и объёмы заиления в 1,4 – 1,7 раза превосходят их проектные значения.

Кассансайское водохранилище расположено в урочище Урта-токай (отсюда и второе название водохранилища – Уртатокойское) на реке Кассансай в 99 км от города Наманган. Строительство началось в 1941 году. Водоохранилище осуществляет сезонное регулирование стока реки: наполнение - декабрь - июнь, сработка - июль – август.

Объём водохранилища первой очереди (к 1945г) 31 млн. м³ при НПУ = 102 м, второй очереди (после 1952 года) – 106,7 млн. м³ при НПУ = 119 м третьей очереди – 165 млн. м³ при НПУ = 128,5 м, при этом мертвый объём – 10 млн. м³ при УМО = 91,5м.

Максимальный расход реки при 1% обеспеченности равен 130 м³/с, среднегодовой расход - 10,5 м³/с. Годовой сток воды 50 % обеспеченности равен 280 млн. м³, а среднегодовой сток наносов - 300 тыс. м³. Срок заиления мертвого объёма по проекту 50 лет, и было принято, что треть наносов будет проходить в зоне мертвого объёма транзитом.

При этом среднегодовой расход воды в реке составляет 9,5 м³/сек, среднепаводковая мутность воды равна 0,23 кг/м³.

План и зависимости площадей и объёмов от наполнения водохранилища приведены на рис. 2.3.3 и 2.3.4.

Касансайское водохранилище

Местоположение.	Р.Киргистан, 70 км. севернее города Наманган.
Наименование водотока.	р. Касансай
Класс сооружений.	2
Сейсмичность района.	9 баллов
Годы строительства.	I-очередь 1941-43гг - 1947-54 гг. II-очередь 1962-67 гг.
Год в ввода в эксплуатацию. ..	Iочередь - 25.04.1957 г / II очередь - 26.01.1968г.

Ген проектировщик.	I очередь - трест «Сазводпроиз». II очередь – и-т Средазгипроводхлопок
Ген подрядчик.	II-очередь-СМУ треста «Наманганстрой».
Эксплуатирующая организация.	Нарын-Сырдарьинское БУ ирригационных систем
Вид охраны.	милицейский.
Линии связи.	телефонная и радио связь с водохозяйственными организациями вилоята

Водохранилища:

тип.	русловое
полный объем.	165,0 млн.м ³
полезный объем.	155,0 млн.м ³

Плотина:

тип.	каменно-набросная с противофильтрационным железобетонным экраном
материал.	ж/бетон, рваный камень, гравий
высота максимальная.	64 м
длина по гребню.	290 м
грунты основания.	обломочные породы, конгломераты

Водовыпуск:

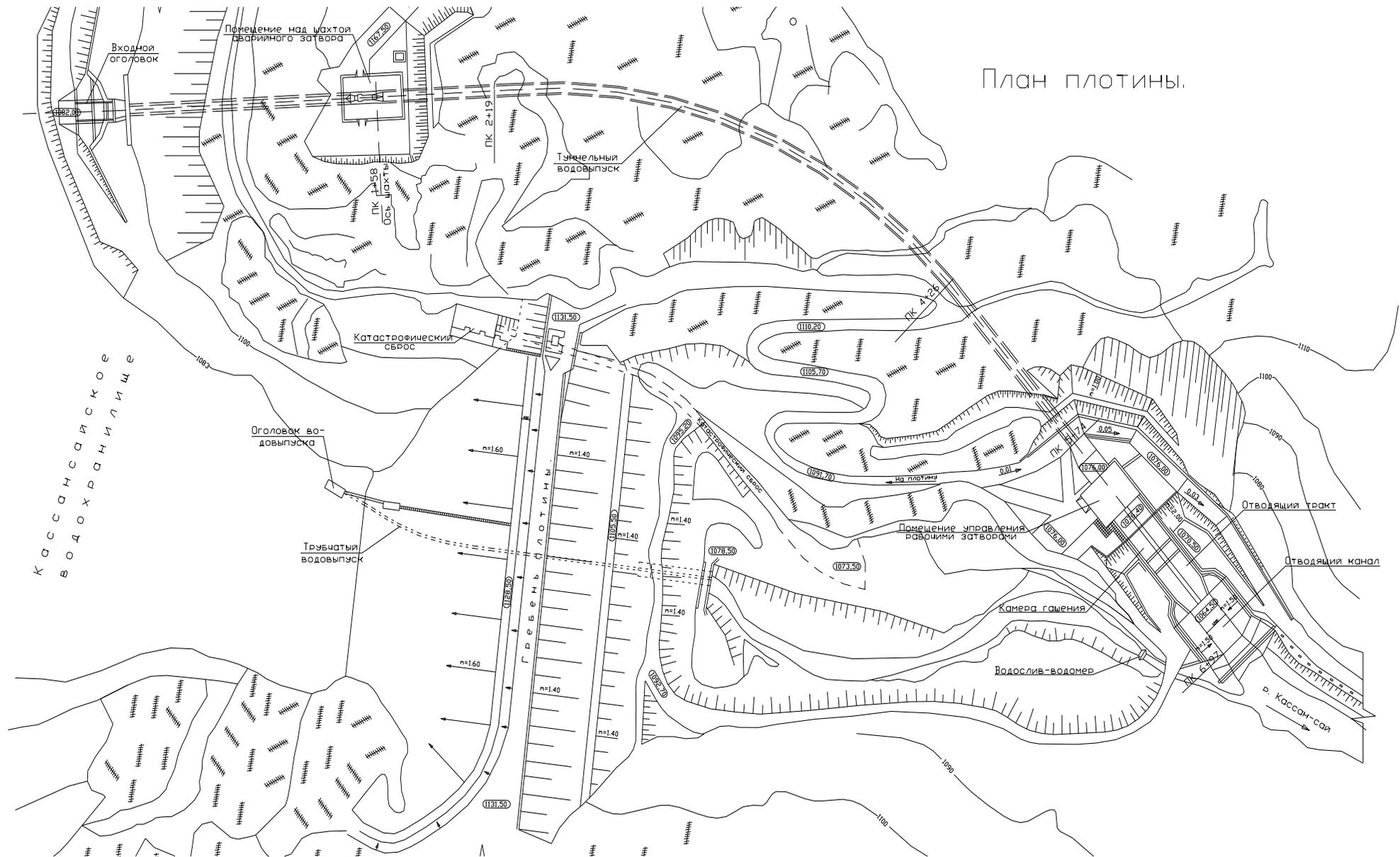
тип.	основной-туннельный, вспомогательный-трубчатый
расчетный расход.	100,0 м ³ /с
затворы.	плоские колесные bхh=5,6х12 м, плоские 2-конусные

Водосброс:

тип.	ковшового типа, трубчатый переходящий в лоток
расчетный расход.	130 м ³ /с

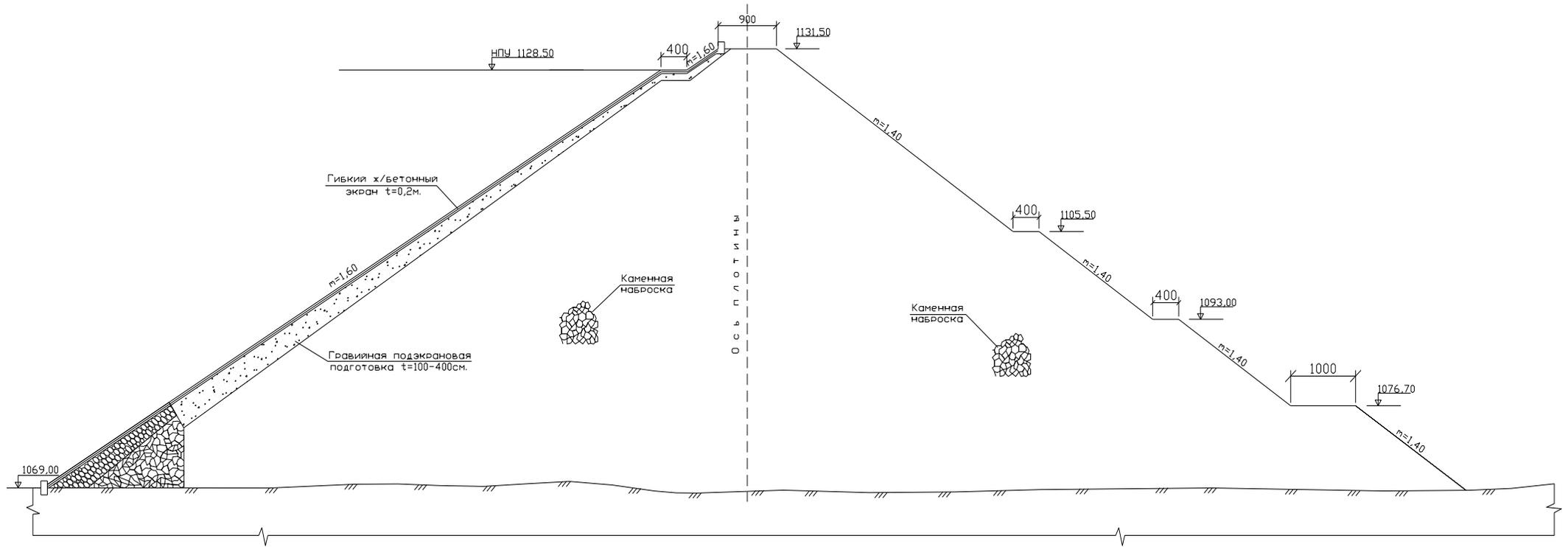
Контрольно-измерительная аппаратура:

пьезометры по проекту / факт.	не предусмотрены
геодезические знаки по проекту / факт	15 / 48 шт
водомерное устройство по проекту / факт.	2 / 2 шт



План плотины.

Касансайское водохранилище.
 Поперечный разрез
 по плотине.

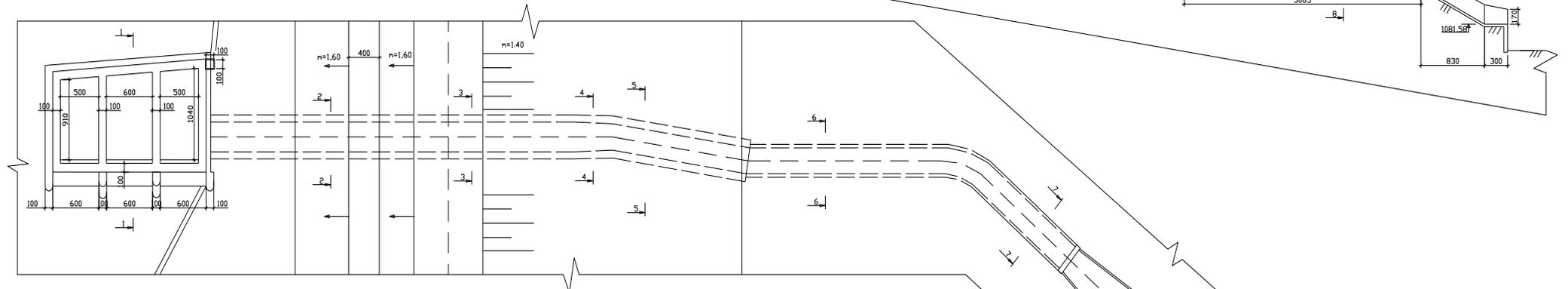


Катастрофический сброс.

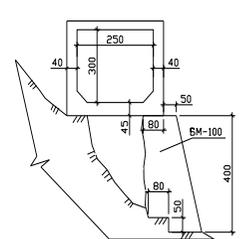
Продольный разрез по оси сброса



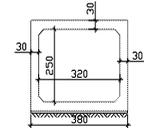
План сброса



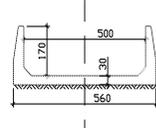
Разрез 6-6



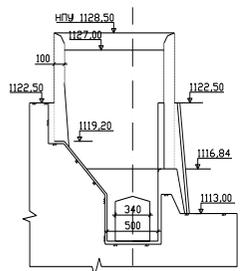
Разрез 7-7



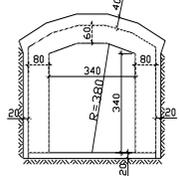
Разрез 8-8



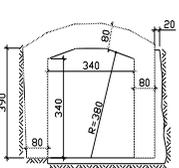
Разрез 1-1



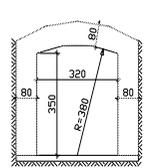
Разрез 2-2



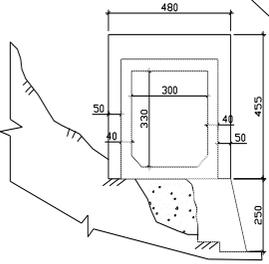
Разрез 3-3



Разрез 4-4



Разрез 5-5



Динамика заиления водохранилища по годам приведена в таблице 2.3.4.

Таблица 2.3.4

Динамика заиления водохранилища

Годы	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949
Объём заиления, млн.м ³	7	13	15	18	30	50	61
Годы	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956
Объём заиления, млн.м ³	75	90	90	96	98	100	94
Годы	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
Объём заиления, млн.м ³	49	95	95	97	55	97	95
Годы	1964	1965					
Объём заиления, млн.м ³	98	70					

Результаты анализа представлены в таблице 2.3.5.

Таблица 2.3.5

Распределение объёма заиления по времени и в зонах водохранилища

Период	Лет наблюдений	Общий объём заиления, млн. м ³	Из них		Среднегодовой фактический объём заиления млн. м ³ /г.
			В зоне полезного объёма	В зоне мертвого объёма	
1943-53	10	0,989	-	0,989	99
1943-60	17	2,430	1,441	-	143
1943-65	22	3,486	2,372	1,114	158
1965-69	4	2,012	-	-	-
1943-69	28	5,6	-		215

Динамика изменения объёмов воды в водохранилище за 1941 – 1969 года, соответствующие отметкам горизонта воды приведена в таблице 2.3.6.

Таблица 2.3.6

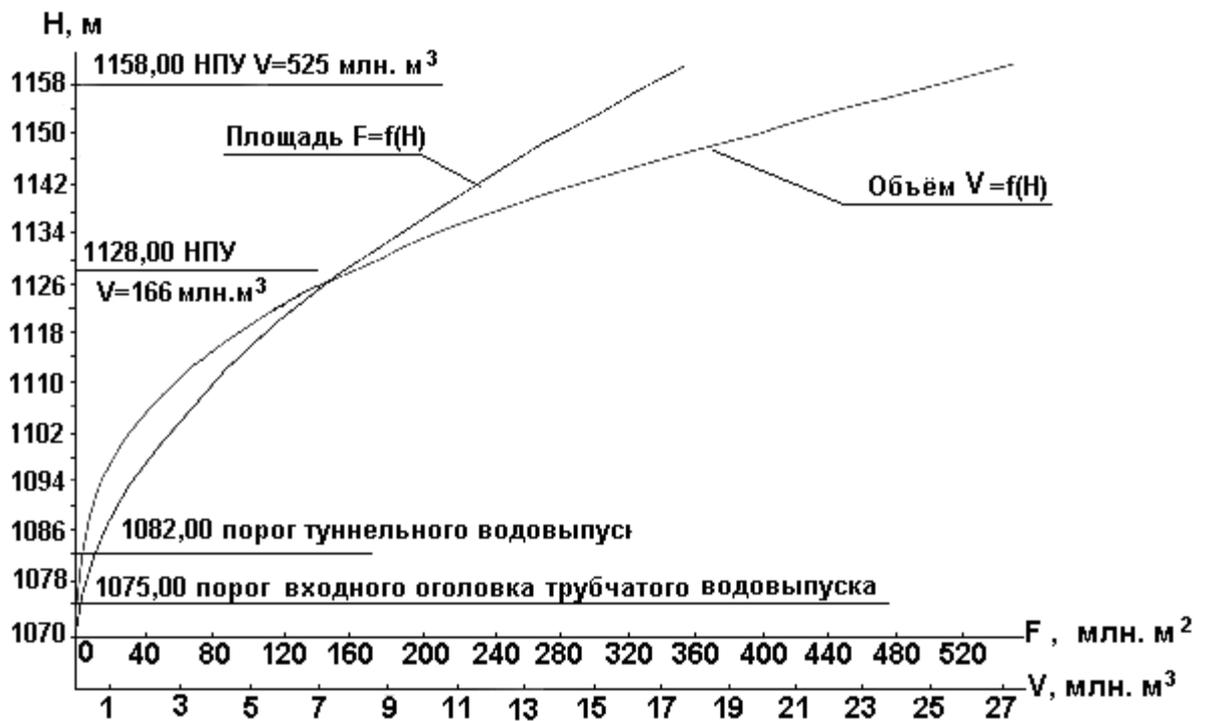
Изменение объёмов воды в водохранилище

Отметки, м	Объём водохранилища, млн. м ³			
	1941	1960	1965	1969
1074	0,000	0,000	0,000	0,000
1076	0,070	-	0,062	0,062
1078	-	0,186	0,251	0,251
1080	0,916	0,588	0,623	0,623

1082	-	1,290	1,282	1,282
1084	2,804	2,373	2,215	2,215
1086	-	3,524	3,426	3,426
1088	5,888	5,064	4,939	4,939
1090	7,895	6,918	6,761	6,761
1092	10,323	9,410	9,001	9,001
1094	-	12,220	11,715	11,714
1096	16,671	15,528	14,918	14,856
1098	-	18,327	18,350	18,546
1100	25,023	23,688	22,954	22,777
1102	-	28,829	27,867	27,577
1104	35,703	34,581	33,489	32,976
1106	-	40,562	39,510	38,925
1108	48,835	47,122	46,219	45,526
1110	56,215	54,476	54,035	52,778
1112	64,324	62,543	61,853	60,579
1114	-	71,658	71,133	69,439
1116	83,013	81,590	80,415	78,880
1118	-	92,034	91,316	89,111
1120	104,866	103,297	102,214	100,202



Рис 2. 3.3. План Касансайского водохранилища



F - площадь зеркала водохранилища, млн. м²;
 V - объём водохранилища, млн.м³.

Рис. 2.3.4. Кривые зависимости площадей и объёмов от наполнения водохранилища

Годовой объем поступления наносов по проекту был принят 6 тыс. тонн, а основное количество наносов - около 400 тыс. тонн поступает по саям. Принимая объёмный вес наносов равным 1,35 тонн/м³, ежегодное поступление наносов было определено в 300 тыс. м³

Принимая, что селевые потоки пропускаются через водохранилище транзитом, и в нижний бьеф будут сбрасываться 100 тыс. м³ наносов, в водохранилище ежегодно, по расчёту, осаждалось около 200 тыс. м³ наносов.

Однако натурные замеры показали, что объём водохранилища при НПУ за период с 1942 г по 1965г уменьшился на 3,486 млн. м³ или на 0,16 млн. м³ ежегодно, что составляет 0,16 % ёмкости. При этом, изменения ёмкостей водохранилища за 27 лет эксплуатации составили: заиление мертвого объёма - 1,12 млн. м³, заиление всего объёма - 5,6 млн. м³.

Отложение наносов начинается непосредственно у впадения реки в водохранилище и продвигается вниз по течению почти до самой плотины. При этом отложения формируются, в соответствии со сработкой уровня, в виде гряд с ярко выраженными уступами. В верхней части местами толщина отложений достигает 2 м. В нижней части водохранилища вдоль старого русла реки располагается полоса илистых отложений значительной мощности, которая при сработке уровня в бьефе прорезается потоком до уровня её старого дна.

Чимкурганское водохранилище на реке Кашкадарье

Таблица 2.3.7.

Основные параметры водохранилища

Полный объём при НПУ, млн. м ³	500
Полезный объём, млн. м ³	450
Мёртвый объём, млн. м ³	50
Площадь зеркала при НПУ, кв. км	49,2
Длина зеркала, км	17,5
Ширина зеркала у плотины, км	5,5
Отметка НПУ	488,20
Отметка МПГ	489,25
Отметка ГМО	470,0

Максимальная глубина, м	30,0
Средняя глубина, м	15,0

Конфигурация зеркала - острый треугольник с основанием у плотины.

Чимкурганское водохранилище

Местоположение.	Кашкадарьинский вилоят, Камашинский туман
Наименование водотока.	р. Кашкадарья
Класс сооружений.	II
Сейсмичность района.	по проекту-6 баллов, по СНИПУ- 7 баллов
Годы строительства / реконструкция.	1957-1960 гг. / 1960-1969 гг.
Год в ввода в эксплуатацию.	1963 год.
Ген проектировщик.	институт «Узгипромелиоводхоз»
Ген подрядчик.	трест «Каршиводстрой»
Эксплуатирующая организация.	Управление эксплуатации Чимкурганское водохранилище
Вид охраны.	милицейская
Линии связи.	телефонная и радио связь с водохозяйственными организациями

Водохранилища:

тип.	русловое
полный объем.	500 млн.м ³
полезный объем.	450 млн.м ³

Плотина:

тип.	земляная с суглинистым ядром
материал.	суглинок, гравий
высота максимальная.	33,0 м
длина по гребню.	7700 м
объем тела.	7,28 млн.м ³
грунты основания.	супесь, суглинок
дренаж.	гравийный ленточный дренажный туюфак, закрытый трубчатый

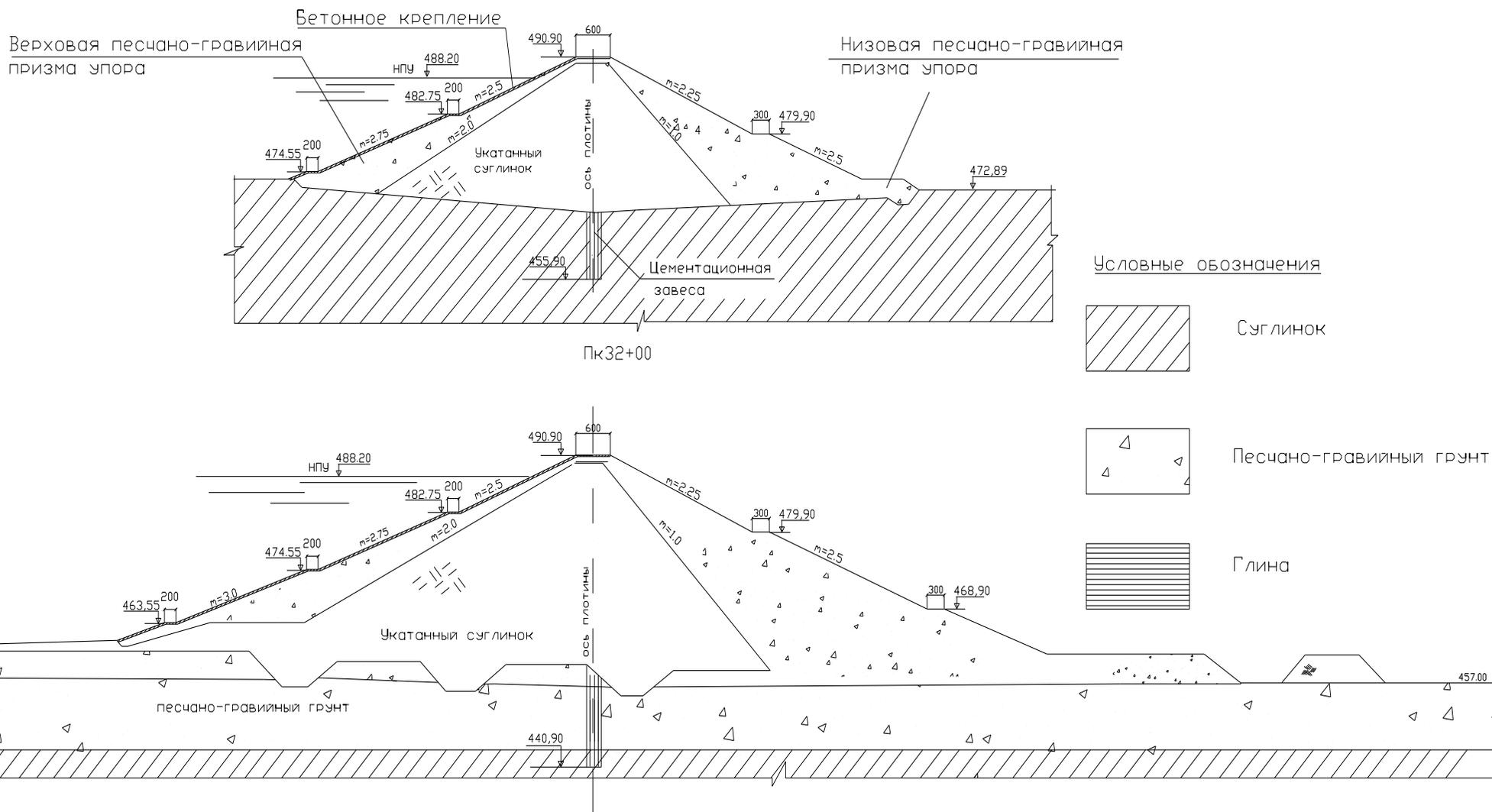
Водовыпуск:

тип.	башенный, совмещенный с катастрофическим водосливом
расчетный расход.	350 м ³ /с
затворы	плоские скользящие $b \times h = 3,3 \times 3,0$

Контрольно-измерительная аппаратура:

пьезометры по проекту / факт.	110 / 52 шт.
геодезические знаки по проекту / факт	120 / 140 шт.
водомерное устройство по проекту / факт.	24 / 21 шт.

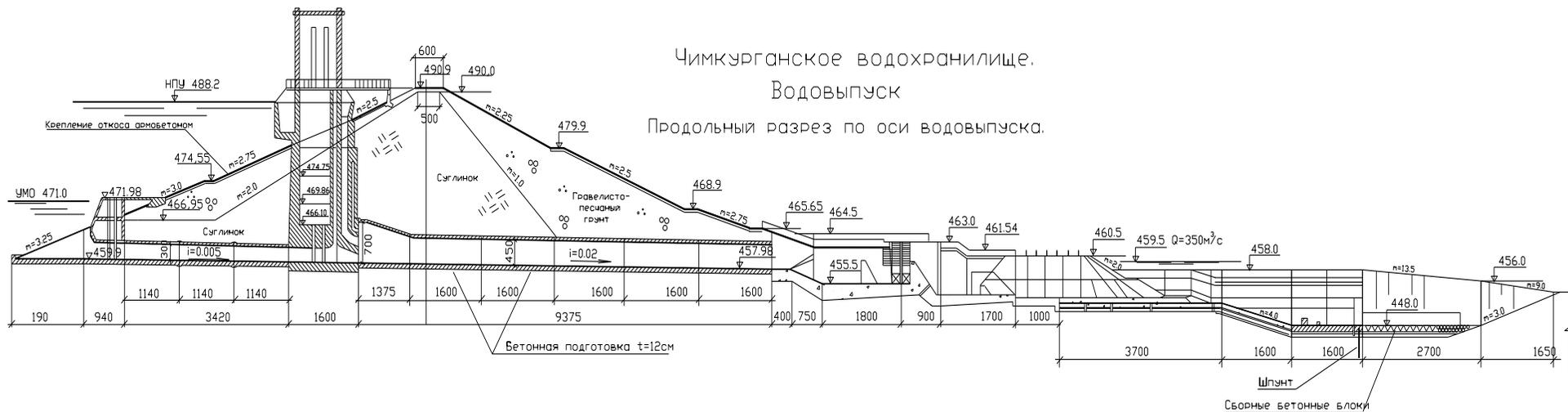
Чимкурганское водохранилище
Плотина
Поперечные сечения плотины Пк27+00



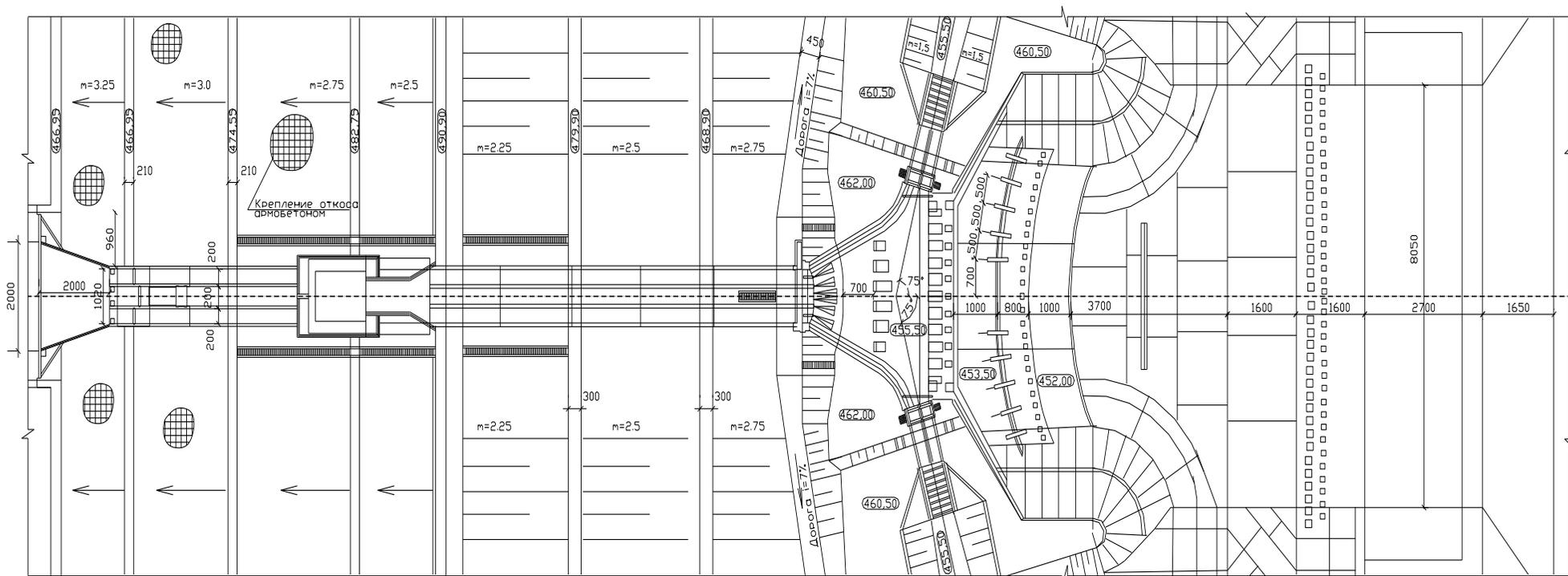
Чимкурганское водохранилище.

Водовыпуск

Продольный разрез по оси водовыпуска.



План водовыпуска



Годовой сток на станции Чиракчи, находящейся в 32 км выше створа плотины, колеблется от 398 до 1440 млн. м³/с (данные наблюдений за 24 года).

Расходы реки различных обеспеченностей, исчисленные по 27 – летнему ряду наблюдений, в соответствии с ГОСТ 399948, показаны в таблице 2.3.8.

Таблица 2.3.8

Расходы реки Кашкадарьи при различных значениях обеспеченности
годового стока

Обеспеченность, %	0,1	0,5	1	2	3	5	10
Расход без гарантийной поправки	-	-	482	416	-	330	266
Расход с гарантийной поправкой	855	654	568	-	444	-	-

Годовой сток взвешенных наносов колеблется в пределах от 208 до 4410 тыс. тонн и в среднем составляет 1700 тыс. тонн (данные наблюдений за 17 лет). В таблице 2.3.9 показан средневзвешенный фракционный состав взвешенных наносов.

Таблица 2.3.9

Средневзвешенный фракционный состав взвешенных наносов

Диаметр частиц, мм	0,25	0,25-0,005	0,05-0,01	0,01
Содержание частиц, %	4,5	19,8	31,4	44,3

В таблице 2.3.10 представлены среднегодовые расходы взвешенных наносов по посту Кишлак Чиракчи на реке Кашкадарья.

Таблица 2.3.10

Среднегодовой сток взвешенных наносов по посту Кишлак Чиракчи.

Годы	1962	1963	1964	1965	1966
Годовой сток, млн. м ³	320	1900	2700	250	850
Годы	1967	1968	1969	1970	Среднегодовой сток
Годовой сток, млн. м ³	790	790	13000	910	2400



Рис. 2.3.7

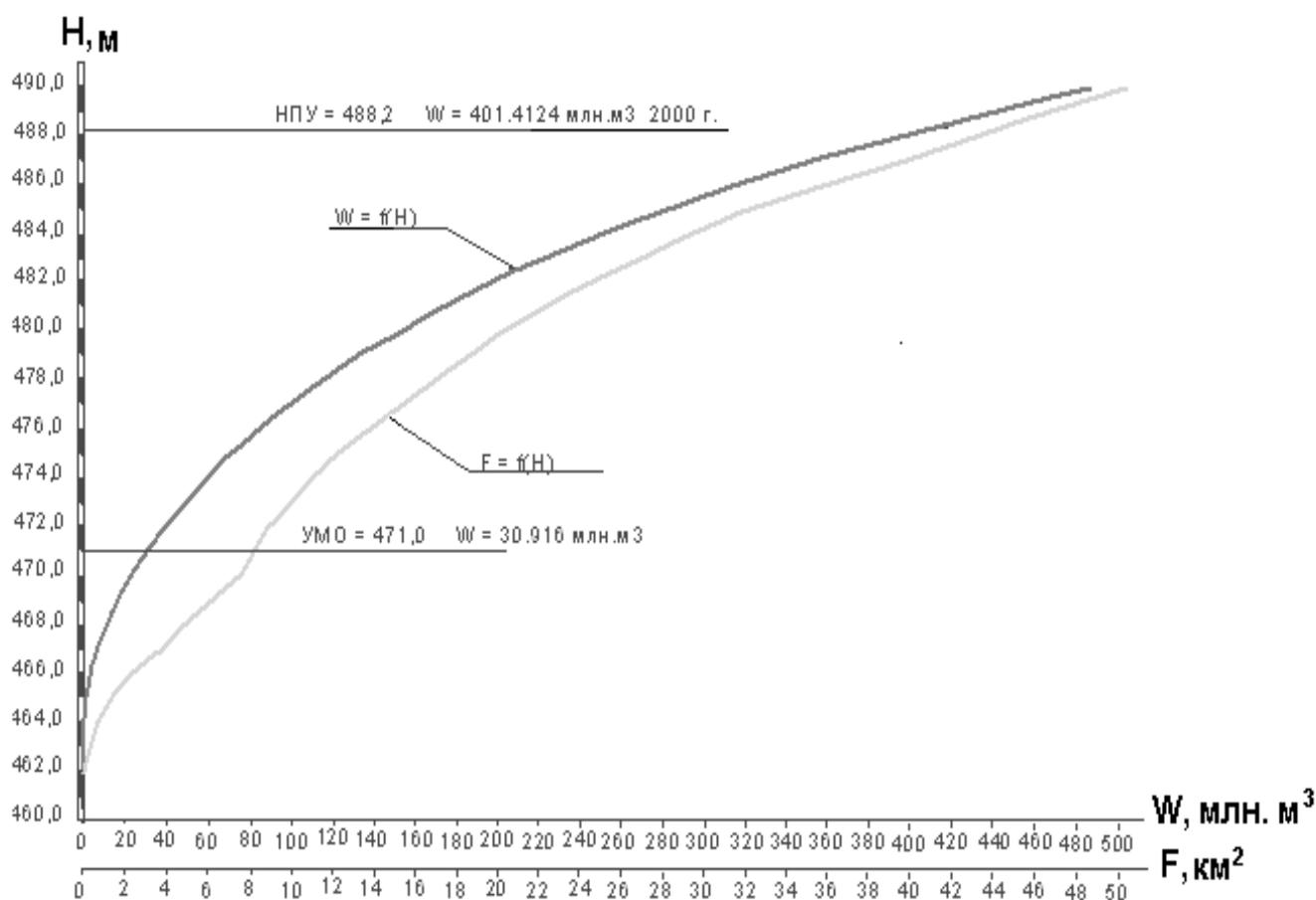


Рис. 2.3.8 Кривые зависимости площади зеркала и объёма водохранилища от уровня воды

Анализ фракционного состава влекомых наносов (таблица 2.3.11) показывает, что их сток составляет (4,8 - 4,2) % от стока взвешенных наносов в объёмном отношении.

Таблица 2.3.11

Фракционный состав влекомых наносов.

Диаметр частиц, мм.	Больше 50	50-25	25-10	10-5	5-2	2,1	<1,0
% содержание частиц	1,5	3,2	5,2	4,0	3,7	3,1	73,2

За расчётный сток реки принят год с 75 % обеспеченности, со стоком 708,1 млн. м³. На вегетационный период (апрель – сентябрь месяцы) приходится 389 млн. м³ или 55 %.

Строительство водохранилища закончено в 1964 году. Промеры чаши водохранилища проведены в мае 1965 г. За 1962 – 65 годы эксплуатации ёмкость водохранилища уменьшилась на 8,327 млн. м³ или 2,38 млн. м³ ежегодно (таблица 2.3.12).

Таблица 2.3.12

Объёмы заиления по годам

Годы	1962	1963	1964	Всего за 1962-1964 годы
Заиление, млн. м ³	0,408	2,487	3,587	6,4

По проектным расчетам за период 1962 – 71 годы в водохранилище должно было отложиться 23,0 млн. м³ взвешенных наносов, но фактический объём отложений составил 51 млн. м³ (таблица 2.3.13).

Таблица 2.1.13.

Площадь зеркала и объём водохранилища

Отметки	Площадь зеркала, км ²			Объём, млн. м ³		
	Года					
	Проектная	1965	1971	Проектный	1965	1971
460	-	0,3	-	-	0,1	-
470	8,92	9,8	8,31	40	38,4	29,7
480	23,96	24,4	21,5	200	195,6	170,7
488,2	49,6	49,2	44,4	502	493,7	448,9

Зона заиления протянулась от устья реки Кашкадарьи при впадении его в водохранилище до башни водовыпуска. Ширина зоны заиления от устья реки постепенно увеличивается и достигает наибольшей величины – 1545 м примерно на середине водохранилища.

Толщина слоя отложений достигает 3,8 м. Проектный ежегодный объём заиления 1,2 млн. м³. Фактический объём заиления в 4,2 раза больше проектного. Это объясняется тем, что сток наносов по годам неравномерный, а в многоводные годы имеет сток, превышающий во много раз среднегодовой сток.

Южно-Сурханское водохранилище на реке Сурхандарье.

Строительство водохранилища начато в 1959 году, закончено в 1967 году.

Аккумулирование воды в водохранилище начато в 1962 году.

Таблица 2.3.14.

Проектные данные по водохранилищу:

Полный объём водохранилища, млн. м ³	800
Мёртвый объём, млн. м ³	90
Принятый объём на заилнение, млн. м ³	100
Полезный объём, млн. м ³	610
Отметка НПУ	415,0
Отметка ГМО	399,0
Высота призмы сработки, м	16,0
Площадь зеркала при НПУ, км ²	65,0
Площадь зеркала при ГМО, км ²	23,0
Ширина зеркала, км	5,0
Длина, км	20,0
Максимальная глубина водохранилища, м	27,0
Средняя глубина, м	12,0

Южно-Сурханское водохранилище

Местоположение.	Кумкурганский туман, в черте города Кумкурган
Наименование водотока.	р. Сурхандарья
Класс сооружений.	II
Сейсмичность района.	7 баллов
Годы строительства.	1962-1967 гг.
Год ввода в эксплуатацию.	04.10.1967 год
Ген проектировщик.	институт «Средазгипроводхлопок» («Узгипромелиоводхоз»)
Ген подрядчик.	трест «Каршиводстрой»
Эксплуатирующая организация.	управление эксплуатации Южно-Сурханского водохранилища
Вид охраны.	милицейская
Линии связи.	телефонная и радио связь с водохозяйственными организациями вилоята

Водохранилища:

тип.	русловое
полный объём.	800 млн.м ³
полезный объём.	700 млн.м ³

Плотина:

тип.	комбинированная, земляная насыпная и земляная
--------------	---

	намывная с ядром
материал.	суглинок
высота максимальная.	30,0 м
длина по гребню.	4930 м
объем тела.	45 тыс.м ³
грунты основания.	глина, песчаник, лессовидный суглинок и супесь
дренаж.	перфорированная асбестоцементная труба

Водовыпуск:

тип.	башенный, трехочковая труба, расположенная в теле плотины
расчетный расход.	150,0 м ³ /с
затворы.	плоские bхh=2,5х3,0 м

.....

Водосброс:

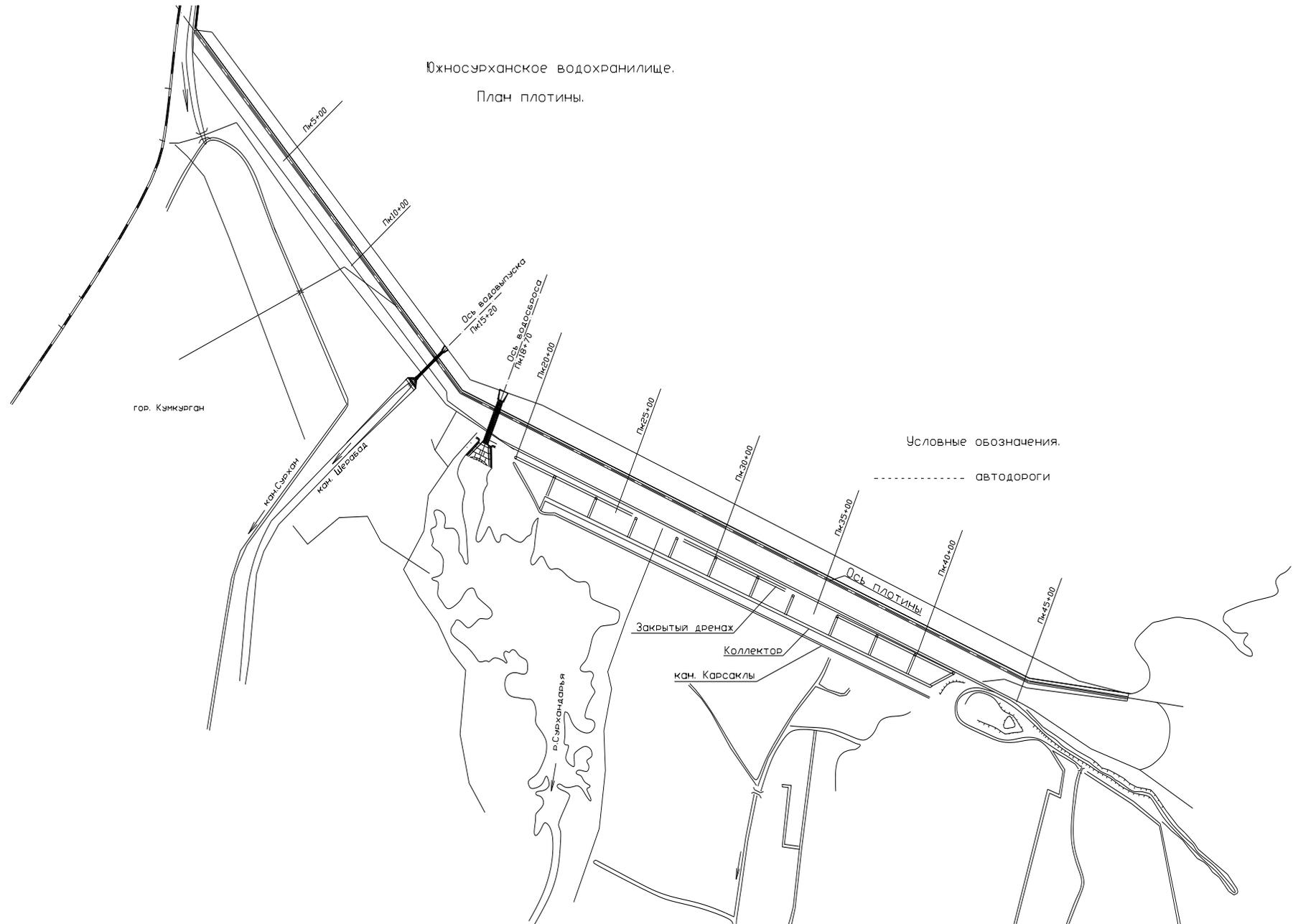
тип.	башенный, шестиочковая труба
расчетный расход.	1000 м ³ /с
длина.	140,4 м

Контрольно-измерительная аппаратура:

пьезометры по проекту / факт. . .	68 / 14 шт.
геодезические знаки по проекту / факт	136 / 128 шт.
водомерное устройство по проекту / факт. . .	3 / 2 шт.

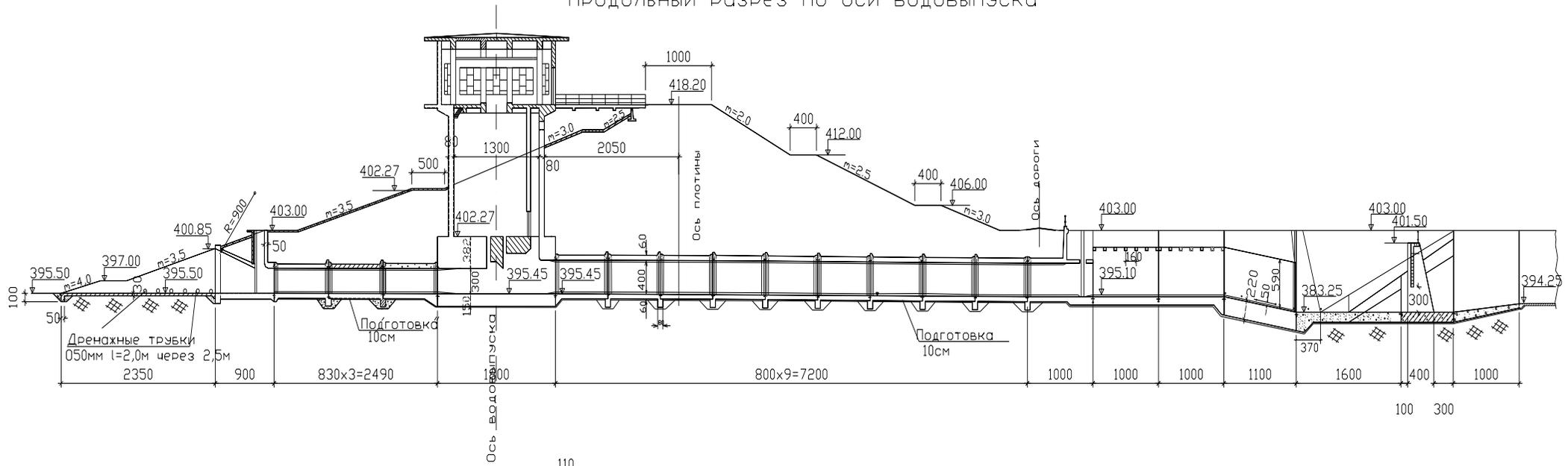
Южносурханское водохранилище.

План плотины.



Южносурханское водохранилище.

Продольный разрез по оси водовыпуска



Продольный разрез по оси водосброса

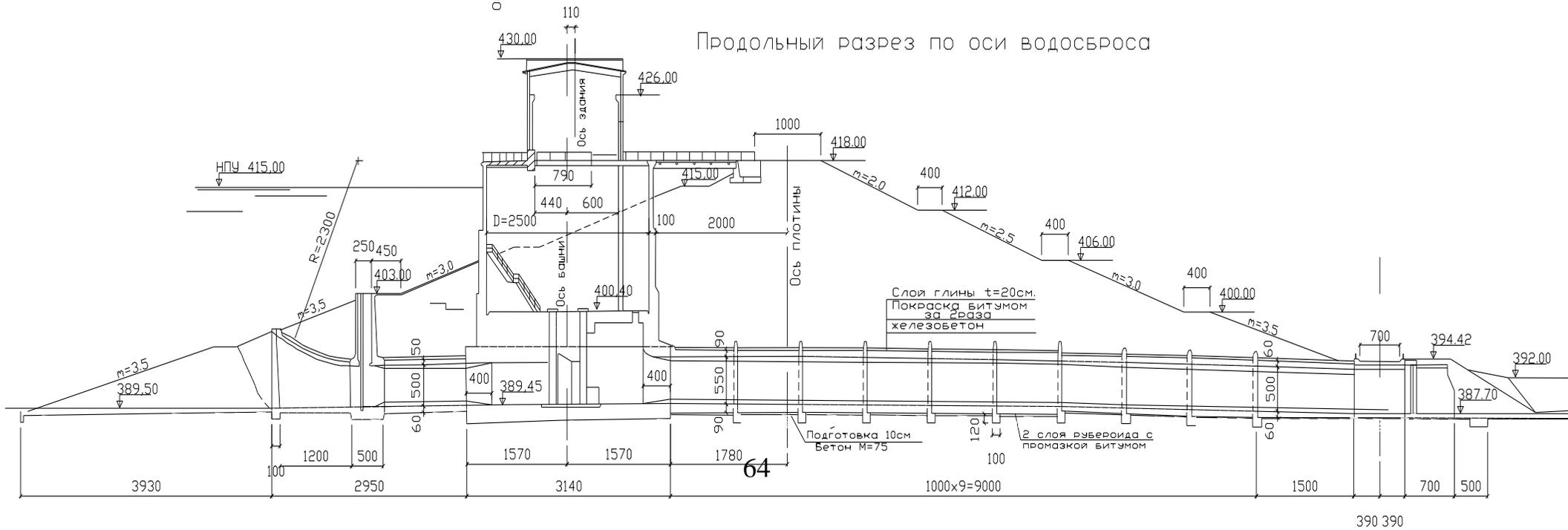


Таблица 2.3.15

Некоторые данные по реке Сурхандарье

Водосборный бассейн, кв. км	13699
Сток реки, млн. м ³ :	
-среднемноголетний	2640
-за вегетацию IV – IX	1910
-за период X – III	730
Наблюдаемые расходы (пост Джаский), м ³ /с:	
-максимальный (23 – V – 1932 года)	807
-минимальный (17 – 20. VIII – 1937 года)	7,5
-среднегодовой	83,8
Наибольшая мутность (14 – IV – 1954 года), кг/м ³	16,0
Сток взвешенных насосов, млн. м ³ :	
-среднегодовой	6,6
-за вегетацию IV – IX	6,1
-за период X – III	0,5
-годовой сток донных насосов	0,1

Ледостава по реке не бывает, иногда наблюдаются забереги и шуга.

Таблица 2.3.16.

Расчетные расходы р. Сурхандарьи различной обеспеченности.

Расход	Обеспеченность, %						
	0,01	0,1	0,5	1,0	2,0	5	10
Без гарантийной поправки	1810	1467	1223	1117	1009	862	748
Гарантийная поправка	272	200	152	132	111	84	63
С гарантийной поправкой	2080	1670	1380	1250	1120	946	811

Таблица 2.3.17.

% обеспеченности	0,01	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
Расход, м ³ /с	2080	1670	1380	1250	1120	946	811

За расчетный принят фиктивный год с обеспеченностью 72,5%, сток реки 1894 млн. м³, из которого на вегетационный период приходится 1614 млн. м³ или 85%.

Таблица 2.3.18.

Средние расходы взвешенных наносов и мутности с 1928 по 1955 год по станции Шурчи.

Месяц	Расход наносов кг/сек	Мутность кг/м ²	Примечание
I	24	0,49	Среднемноголетний сток наносов составляет 7,9 млн. т. При объёмном весе $\gamma = 1,2 \text{ т/м}^3$ $7,9:1,2 = 6,6 \text{ млн. м}^3 \text{ в год.}$
II	32	0,59	
III	158	1,81	
IV	592	3,84	
V	1011	4,84	
VI	915	4,64	
VII	238	2,02	
VIII	52	1,07	
IX	6	0,21	
X	13	0,32	
XI	25	0,52	
XII	25	0,49	
Средне годовое	258	2,86	

Табл. 2.3.19

Фракционный состав взвешенных наносов

Месяцы	> 0,25	0,25 – 0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	< 0,01
Апрель-сентябрь	3,2	11,6	18,3	24,6	42,3
Октябрь-март	5,4	23,9	14,8	17,1	38,5
Средний за год	4,5	17,7	16,6	20,8	40,4

Табл. 2.3.20

Фракционный состав донных наносов

Месяцы	>40	40 - 29	29 - 10	10 - 5	< 5
Май	28	5,6	17,3	13,1	61,2
Средний за год	0,4	1,3	6,6	8,8	82,9

Расход донных наносов составляет около 3% от взвешенных, или с округлением 0,2 млн.т. или 0,1 млн. м³.

Исходя из среднемноголетнего стока взвешенных наносов 6,6 млн. м³ и 3% донных наносов, ежегодный объём заиления составит $6,6 \cdot 1,03 = 6,8$ млн. м³/г.

Заиление мёртвого объёма в 96 млн. м³ может произойти примерно через $t=13$ лет. Полное заиление водохранилища – через $t=120$ лет.

Промеры чаши водохранилища в 1970 году показали, что за 1962-70 годы в водохранилище отложилось 98,42 млн. м³ наносов, что составляет 12, 25 млн. м³ ежегодно. Эта величина в 2,45 раза превосходит проектный объём заиления.

Следует отметить, что из 98,4 млн. м³ отложений 37 млн. м³ падает на мёртвый объём. Из этого следует, что в 1971 году осталось незаиленным 63 млн. м³ мёртвого объёма и 39 млн. м³ расчётного объёма заиления.

Наблюдением за заилением Южносурханского водохранилища занимались институт Узгипроводхоз, Совинтервод Государственного концерна по водохозяйственному строительству, а в настоящее время Батиметрический центр Минсельхозвода Узбекистана. Распределение объёмов заиления водохранилища приведено в таблице 2.3.21.

Таблица 2.3.21

Распределение объёмов заиления и оставшейся ёмкости водохранилища по отметкам.

Отметки	Объёмы водохранилища,			
	Проектные	Заилено на 1971 год	Остаточная ёмкость водохранилища на 1971 год	Остаточная ёмкость водохранилища на 1986 год
390	0,30	-	0,3	0,002
392	3,2	2,2	1,0	0,002
394	15,7	10,5	5,2	1,778
396	39,4	22,7	16,7	10,853
398	74,2	32,9	41,3	26,158
400	120	39,4	80,6	51,236
402	175	47,1	127,9	89,652
404	741	57,6	183,4	137,188
406	317	66,9	250,1	192,791
408	403	79,4	323,6	260,355
410	500	90,6	409,4	341,479
412	607	96,5	510,5	432,036
414	728	98,9	629,1	536,137
415	800	98,4	701,6	567,146

Из этой таблицы видно, что водохранилище заилено в основном на своих низших отметках, что объясняется эксплуатацией водохранилища при пониженных горизонтах воды.

Наблюдениями за переформированием берегов водохранилища установлено, что этот процесс интенсивно развивается только по левому лессовому берегу в зоне неиспользуемых адырных земель и, поэтому, не имеет практического значения.

Изменение ёмкости и мёртвого объёма водохранилища по времени характеризуется следующими фактическими данными (таблица 2.3.22.):

Таблица 2.3.22

Отметки	Годы					
	1964	1975	1976	1979	1986	2002
399,0	96	64		57	37	21,25
415,0	800	648	701,6	606	587	503

Таблица 2.3.23

Отсюда следует следующие объёмы заиления, млн. м³

Период	1964–1975гг.	1964–1979гг.	1964–1986гг.	1986–2002гг.
Объём общего заиления, млн. м ³	130	200	223	84
Объём заиления мертвого объёма, млн.м ³	34	39	56	15,75

Таблица 2.3.24

Заиление водохранилища по периодам

Период	Длительность периода, t, лет	Объём заиления, млн. м ³			$K_1 = \frac{R_{г.ф}}{R_{г.нр}}$	K _{1cp}
		За период, W _{з.о}	Среднегодовой за период $R_t = W_{з.о}/t$	Общий		
1962-70	9	98,4	10,9	98,4	1,60	1,57
1971-75	5	53,6	10,7	152	1,57	
1976-79	4	42	10,5	194	1,54	
1980-89	10	41	4,1	235	0,60	0,67
1990-96	7	32	4,6	267	0,68	
1997-2002	6	30	5,0	297	0,735	

Итого 41

Южно-Сурханское водохранилище
Схематический план чаши

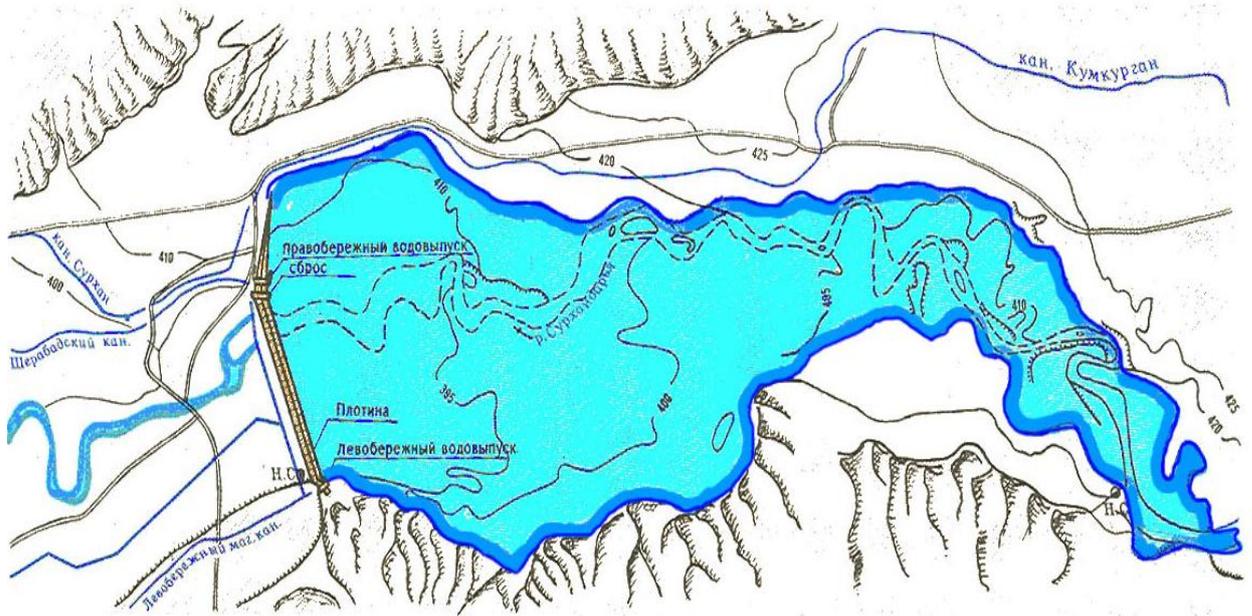


Рис. 2.3.9. Схематический план Южно-Сурханского водохранилища

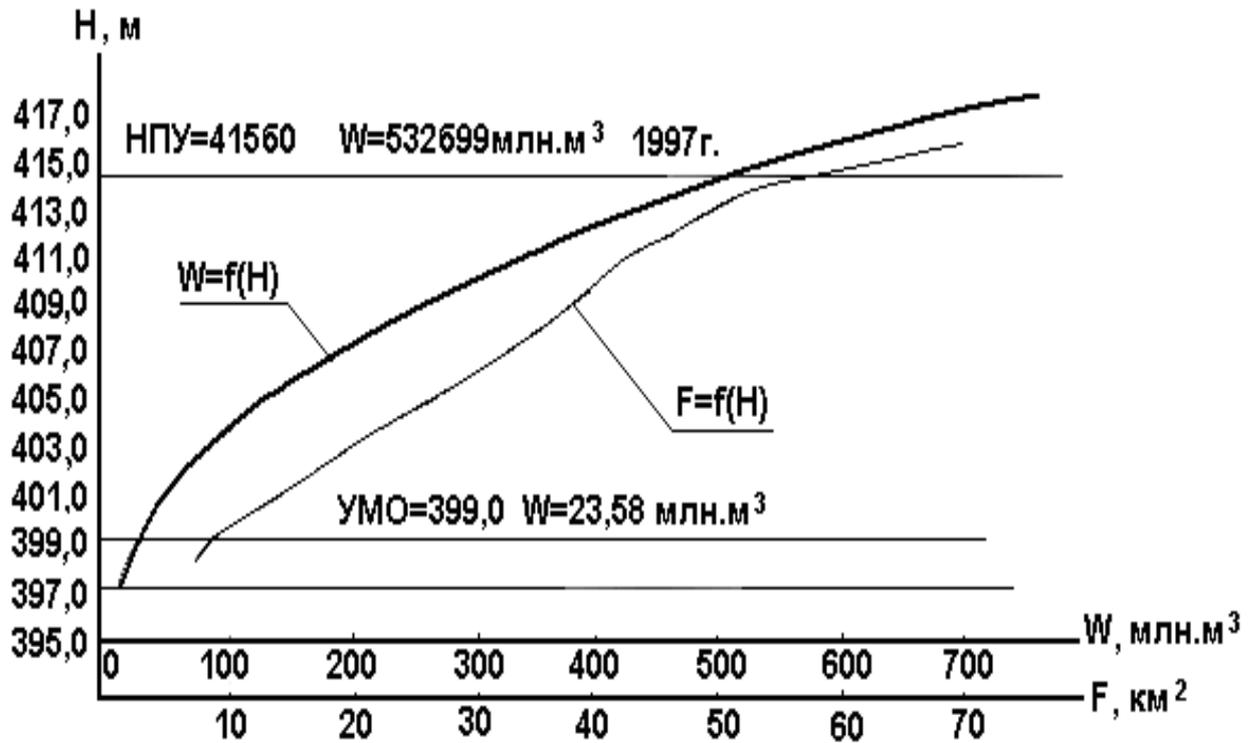


Рис. 2.3.10. Кривые зависимости площадей зеркал и объёмов водохранилища от уровней воды

Таблица 2.3.25.

Отношение заиления мёртвого объёма к общему объёму заиления по периодам составляет величину:

Период	1962	1971	1975	1979	1986	2002	средний
$W_{з.м}$, млн. м ³	-	29,5	28,0	33,0	53,2	68,75	
$W_{з.о}$, млн. м ³	-	98,4	130,0	200,0	212,8	297,0	
$\frac{W_{з.м}}{W_{з.о}}$		0,30	0,215	0,165	0,25	0,231	0,232
Длительность периода t , лет		9	13	17	24	40	
$R_{г} = \frac{W_{з.о}}{t}$, млн. м ³ /г.		10,93	10,0	11,76	8,867	7,425	

$$W_{cp} = \frac{41,557}{4} = 10,39 \text{ млн. м}^3.$$

По проекту среднегодовой твердый сток реки равен 6,8 млн. м³/г.

Фактически в водохранилище отложилось в $K_2 = \frac{10,39}{6,8} = 1,52$ раза больше

наносов, чем по проекту.

Отложение объёмов заиления мертвого объёма водохранилища к заилению общего объёма в среднем составляет величину 0,232.

За период 1967-2002 г.г. самый высокий уровень 415 м, общий объём заиления 297 млн. м³, из них 78,75 млн. м³ – в мёртвом объёме (УМО = 399м). На сегодняшний день объём водохранилища 503 млн. м³, полезный - 481,75 млн. м³.

За 1997-2002 г.г. объём заиления составил 30 млн. м³.

Вывод: общий объём заиления 297,0 млн. м³, что составляет 37,1% от общего объёма. 78,75% мёртвого объёма и 31,2 % - полезного объёма заилен. Объём водохранилища 503 млн. м³, полезный объём 487,5 млн. м³.

Ташкентское водохранилище расположено на территории Пскентского района Ташкентской области. Вступило в строй в 1962 году. Водохранилище русловое. Назначение – сезонное регулирование стока рек Чирчик и Ахангаран для нужд ирригации. Чирчикская вода подаётся в водохранилище по Ташкентскому каналу и сбрасывается в русло Ахангарана у первого дюкера.

Река Ахангаран снегового питания. Паводковый период длится с III-ей декады марта по III-ю декаду июня. С августа по март длится период устойчивой межени с расходами 4 – 5 м³/с. Годовой сток воды в створе плотины колеблется от 340- 1440 млн. м³. Годовой сток взвешенных и донных наносов в среднем составляет 1340 тыс. тонн или 1,12 млн. м³ (при объёмном весе отложений 1,2 т/м³).

Проектные объёмы, отметки горизонта воды, площадь зеркала и другие показатели по водохранилищу приведены в нижеследующей таблице.

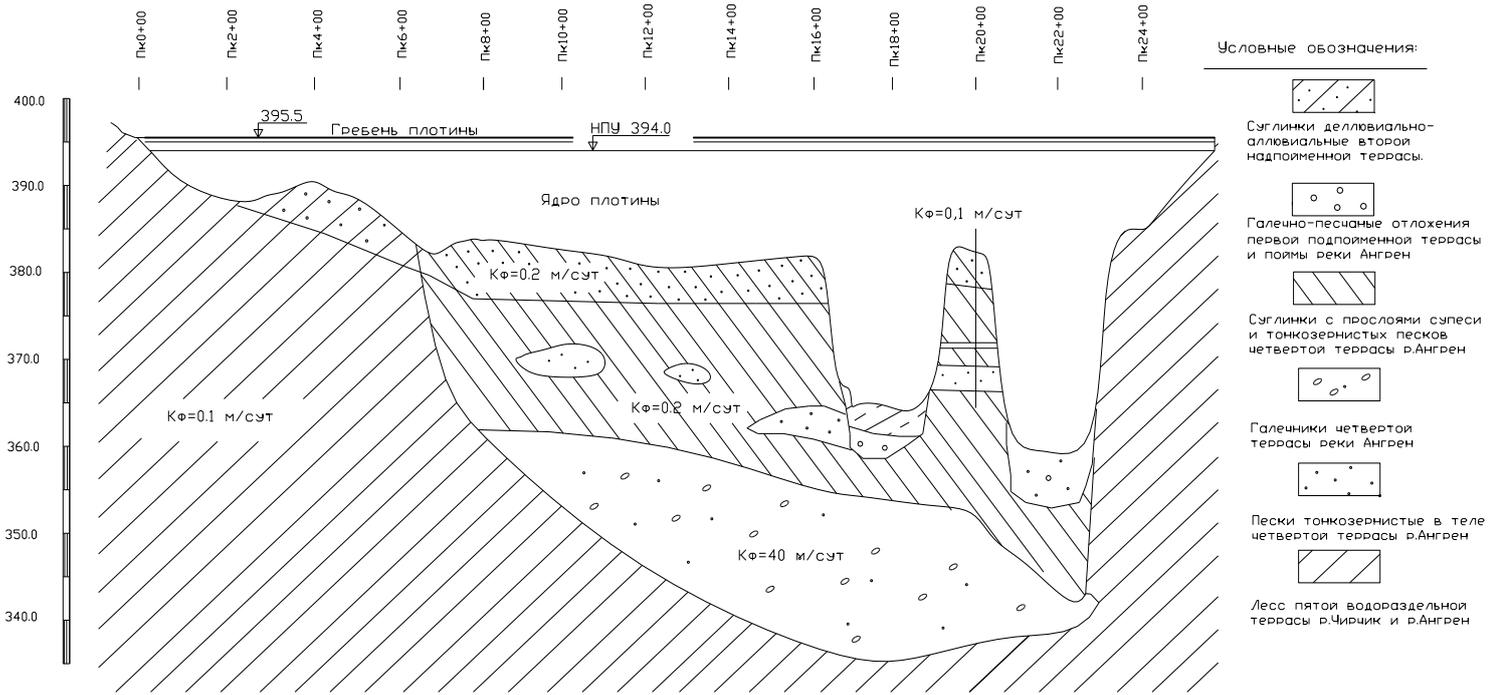
Таблица 2.3.26

Основные показатели водохранилища

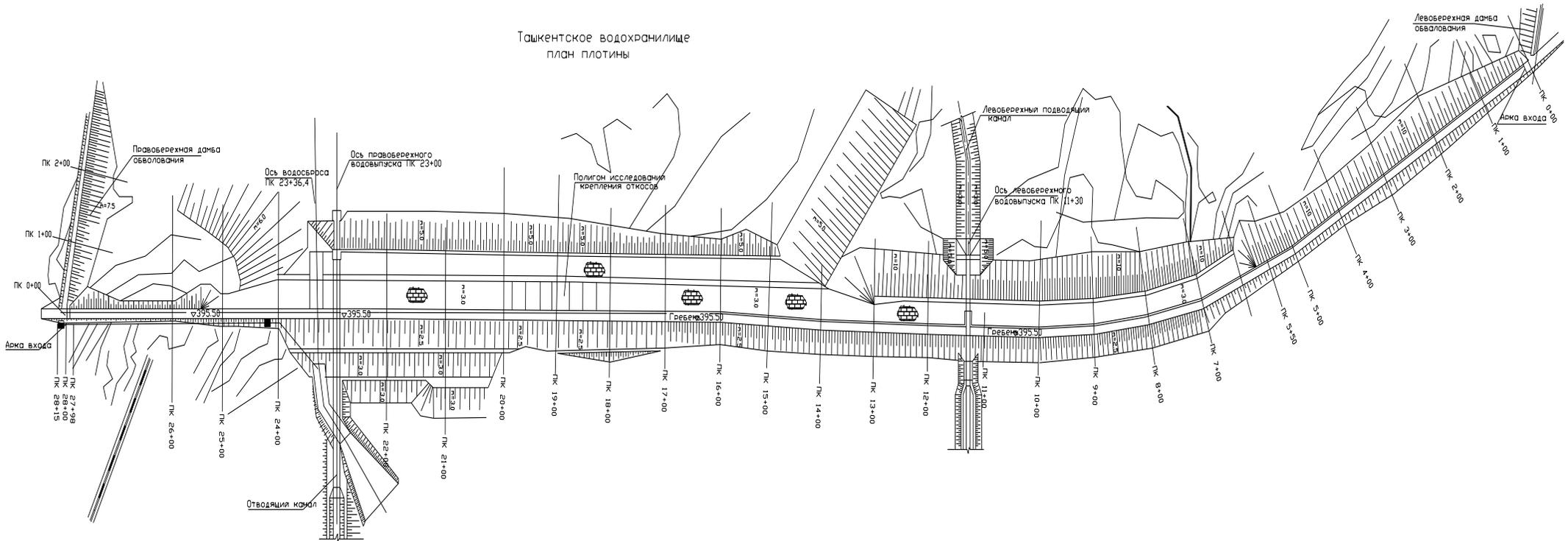
	Наименование	I-ая очередь	II-ая очередь
1	Полный объём водохранилища, млн. м ³	185	250
2	Полезный объём водохранилища, млн. м ³	167	224
3	Мёртвый объём, млн. м ³	18	26
4	Площадь зеркала при НПУ, кв. км	16,5	20,7
5	Длина зеркала, км	8	
6	Ширина зеркала у плотины, км	2,2	
7	Отметка НПУ, м	391,50	394,0
8	Отметка МПГ, м	392,30	
9	Отметка ГМО, м	371,65	371,65
10	Отметка верха гребня плотины, м		96,5
11	Максимальная глубина, м	31,5	36,5
12	Средняя глубина, м	16,0	12,5

Ташкентское водохранилище	
Местоположение.	Уртачирчикский туман, 8 км юго-западнее г. Тойгепа
Наименование водотока.	нижнее течение р. Ахангаран, источник- р.Ахангаран и р.Чирчик через Ташканал
Класс сооружений.	II
Сейсмичность района.	8 баллов
Годы строительства.	1953-1963 гг.
Год в ввода в эксплуатацию.	I-очередь- декабрь 1961 г. II-очередь- декабрь 1963 г.
Ген проектировщик.	институт «Узгипромелиоводхоз» (Средазгипроводхлопок)
Ген подрядчик.	трест «Тюябугузстрой»
Эксплуатирующая организация.	Управление эксплуатации Ташкентского водохранилища
Вид охраны.	милицейская
Линии связи.	телефонная и радио связь с водохозяйственными организациями вилоята
Водохранилища:	
тип.	русловое
полный объем.	250 млн.м ³
полезный объем.	224 млн.м ³
Плотина:	
тип.	земляная насыпная с суглинистым ядром
материал.	суглинок, галечник
высота максимальная.	36,5 м
длина по гребню.	2815 м
объем тела.	5485 тыс.м ³
грунты основания.	супесь, суглинок, песок
дренаж.	трубчатый приплотинный
Водовыпуск: правобережный / левобережный	
тип.	правобережный –галерейный, левобережный - башенный
расчетный расход.	правобережный-90 м ³ /с, левобережный-40 м ³ /с
затворы	плоские скользящие
Водосброс:	
тип.	башенный, глубинный переходящий в лоток
расчетный расход.	950 м ³ /с
длина.	440 м
Контрольно-измерительная аппаратура:	
пьезометры по проекту / факт.	52 / 18 шт.
геодезические знаки по проекту / факт	90 / 94 шт.
водомерное устройство по проекту / факт.	5 / 2 шт.

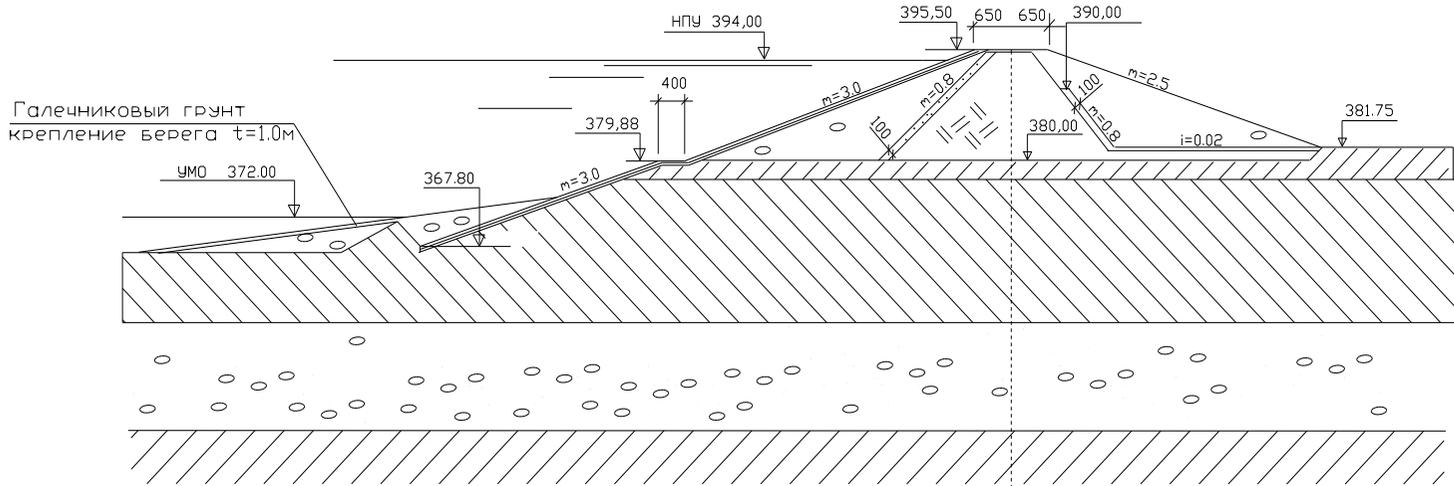
Ташкентское водохранилище
Продольный разрез по оси плотины



Ташкентское водохранилище
 план плотины



Ташкентское водохранилище
Плотина.
Поперечный разрез на ПК14+00



Условные обозначения:



Галечники четвертой террасы реки Ангрен



Суглинки с прослоями супеси и тонкозернистых песков четвертичной террасы р.Ангрен

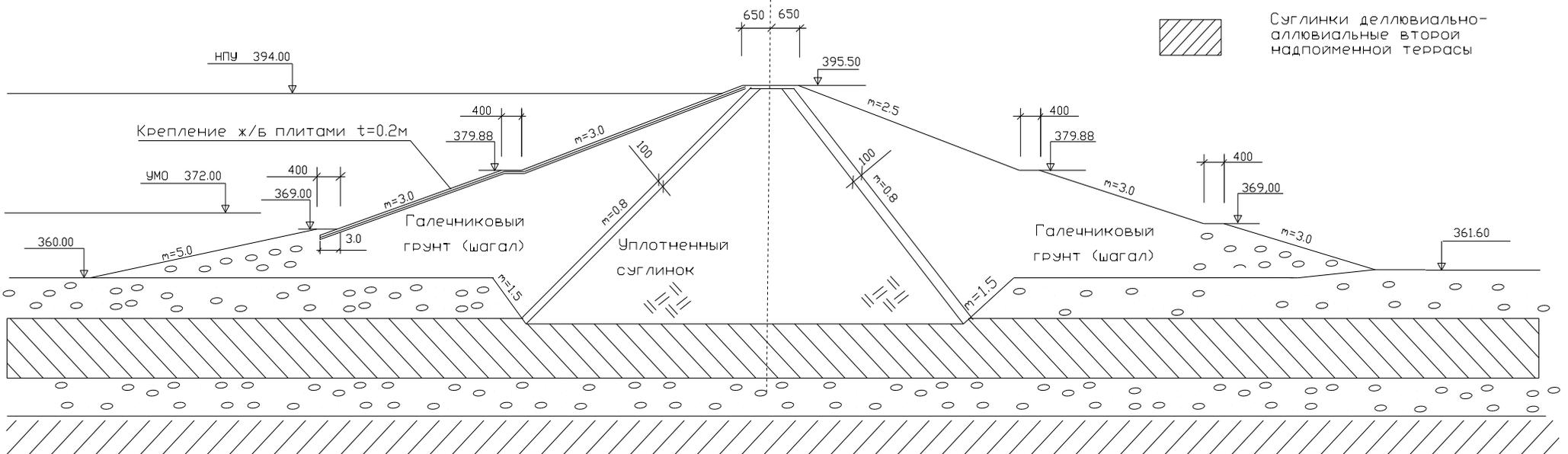


Лесс пятой водораздельной террасы р.Чирчик и р.Ангрен



Суглинки деллювиально-аллювиальные второй надпойменной террасы

Поперечный разрез на ПК22+00



Максимальные паводковые расходы в створе плотины различной обеспеченности составляют (таблица 2.3.27):

Таблица 2.3.27

Обеспеченность, %	0,01	0,1	1,0	5,0
Расходы Q, м ³ /с	1340	1000	568	339

Мёртвый объём водохранилища заилится через 16 лет, если не будут построены верхние водохранилища. Полный объём будет заилен через 165 лет.

В 1985 году был определён объём заиления водохранилища. По данным съёмкам объёма заиления за период ($t = 23$ год), объём водохранилища сократился на 46,0 млн. м³, что составляет 2,0 млн. м³ ежегодно. Это в 1,79 раза превышает проектную величину.

За период 1962 – 1999 годы, т.е. за 37 лет, объём заиления водохранилища составил 59,81 млн. м³. За этот же период мёртвый объём уменьшился с 18 млн. м³ до 5,64 млн. м³. Ежегодная потеря ёмкости составляет 1,709 млн. м³, что в 1,57 раза больше расчётного (проектного) объёма.

Доля заиления мёртвого объёма $K_2 = \frac{12,36}{59,81} = 0,207$ при заилении

мёртвого объёма $\frac{W_{з.м}}{W_m} = \frac{12,36}{18} = 0,686$.

План водохранилища и кривые зависимости объёма и площади заиления от уровня воды приведены на рис.2.3.11 и 2.3.12.

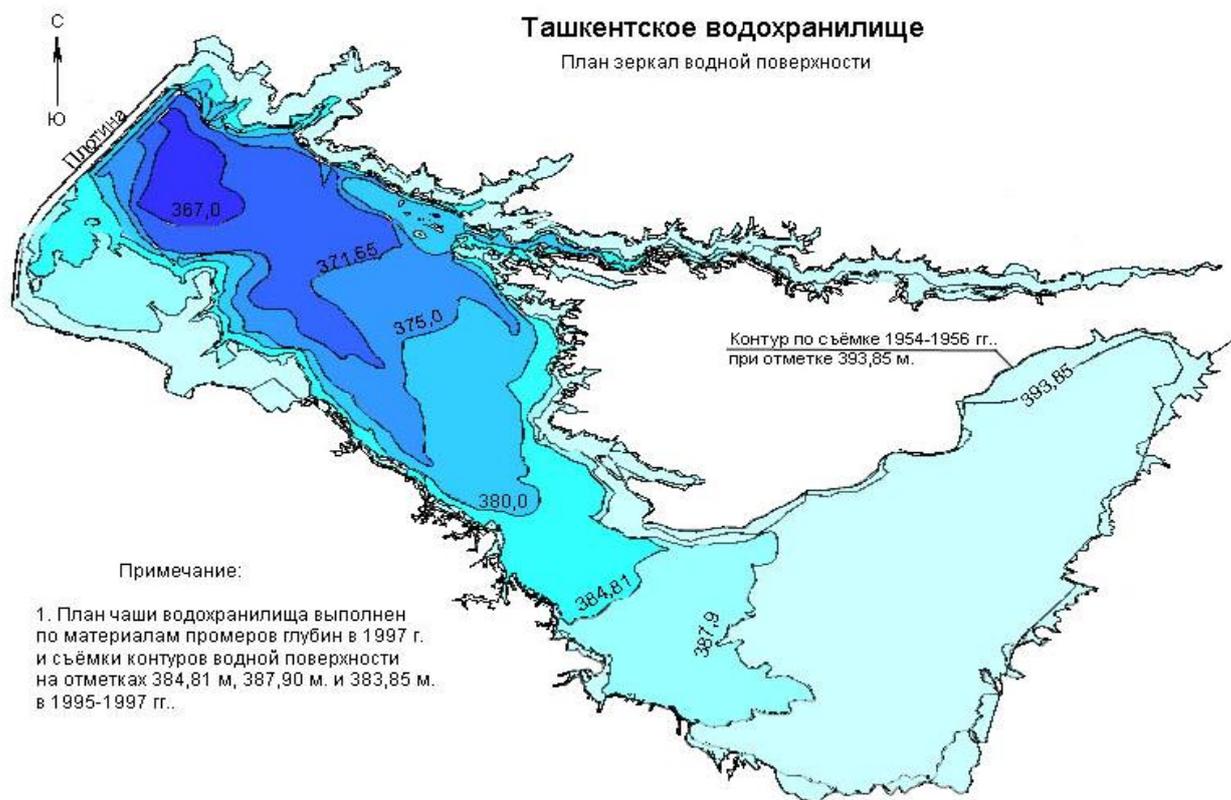


Рис. 2.3.11

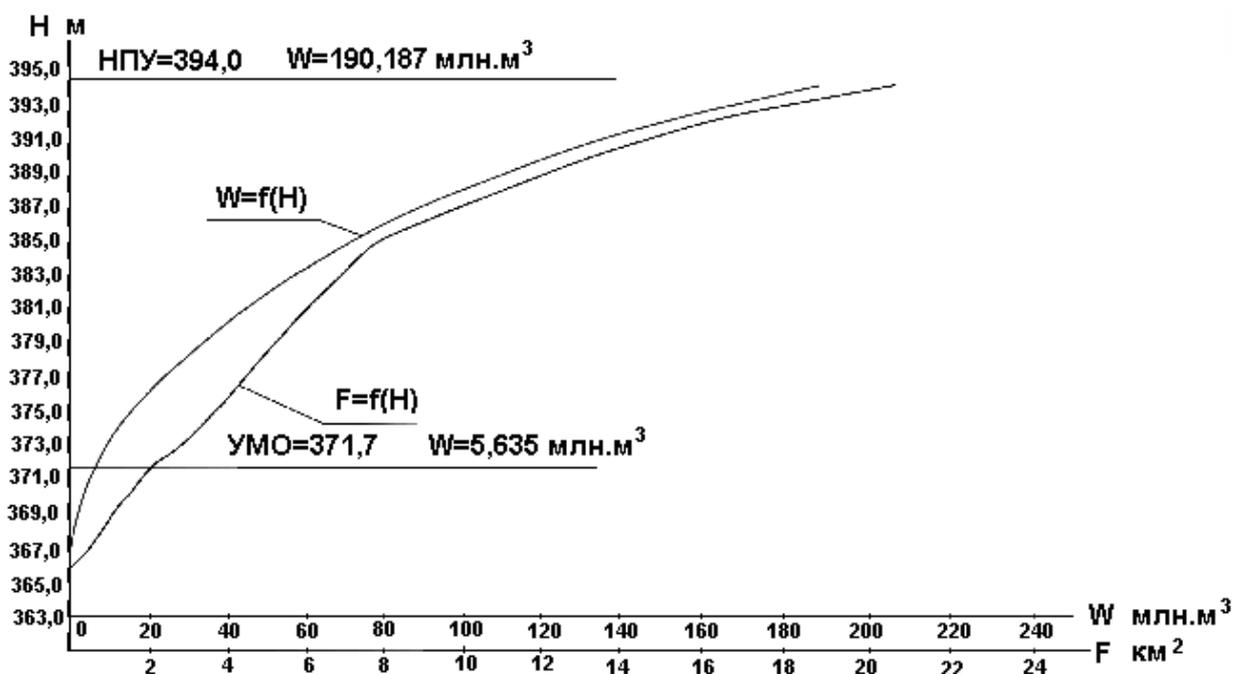


Рис. 2.3.12 Кривые зависимости объёмов и площадей зеркал ташкентского водохранилища от уровней воды

Последние исследования проведены в 2001 году Батиметрическим Центром. Основные выводы, после произведённых замеров:

На южной части перед плотиной рельеф дна неровный и для более подробного исследования этот участок был покрыт частыми галсами. Средняя глубина составляет 1,5-2,0 м при отметке уреза 389,49. Общий объём воды на отметке 389,49 составил 123,1 млн.м³. Общий объём воды при НПУ при отметке 394,0 – 207,68 млн.м³. Общая площадь при отметке 389,49 равен 12,51 км². Общая площадь при отметку 394 равен 20,174 км². Объём заиления относительно проектных данных 1954-56гг. составил 42,316 млн.м³.

Ахангаранское водохранилище расположено недалеко от города Ангрэн на реке Ахангаран и предназначено для улучшения водообеспеченности орошаемых земель, улучшения водоснабжения населённых пунктов и промышленных предприятий и, в основном, осуществляет отвод реки Ахангаран от угольного разреза и снижение паводковых расходов по реке. Основные показатели по водохранилищу приведены в таблице 2.3.27.

Таблица 2.3.27.

Основные показатели по водохранилищу

	I-я очередь	II-я очередь
Полная ёмкость водохранилища, млн. м ³	83,0	200
Мёртвый объём, млн. м ³	11,0	11,0
Максимальная ёмкость:		260
МПУ, млн. м ³	1045,0	1080,5
НПУ, млн. м ³	1043,0	1070,5
УМО, млн. м ³	1010,0	1010
Отметка верха гребня плотины		1083,0
Ежегодный твёрдый сток реки, млн. м ³	0,07	0,07

Начало эксплуатации водохранилища - 1972 год. Одним из главных факторов в оценке динамики водных запасов Ахангаранского водохранилища является изменение объёма его чаши за счёт заиления, переформирования берегов и просадок грунта ложа.

Для корректировки объёмов чаши была выполнена съёмка поверхности дна. Съёмка выполнялась с использованием светодальнометра «Блеск», теодолита 3Т2КП, нивелира Н-3, сантиметровых реек и плавсредств (резиновые лодки). Для выполнения съёмки предварительно были разбиты промерные створы в районе водоприёмника через 50 м, на других участках через 100 м. Промерные створы выносились проложением теодолитного хода по правому берегу с закреплением двух точек на створе с привязкой к пунктам государственной сети. Направление и расстояние до каждого промера определялось с помощью теодолита и светодальнометра. Промеры глубин выполнялись через 50 м с лодки от горизонта воды специальным размеченным тросиком с грузом на конце. По результатам работы был составлен план чаши в масштабе 1:5000, поперечные профили, координаты промерных створов.

На основе этих натуральных материалов была определена величина ёмкости чаши водохранилища и определён объём заиления, который составил 12,24 млн. м³. Объём водохранилища в 2000 году равен при отметках:

- 1080,5 (МПУ) – 247,56 млн. м³;
- 1070,5(НПУ)- 187,9 млн. м³;
- 1010,0 (ГМО)- 7,69 млн. м³ .

Таким образом, за 28 лет эксплуатации водохранилище потеряло 12,1 млн. м³ ёмкости. По проекту за этот период эта величина должна была быть равной ёмкости:

$$W_{np} = 28 \cdot 0,07 = 1,96 \text{ млн. м}^3$$

Фактическая потеря ёмкости превосходит проектную в

$$K_1 = \frac{12,1}{1,96} = 6,17 \text{ раза.}$$



Рис. 2.3.14

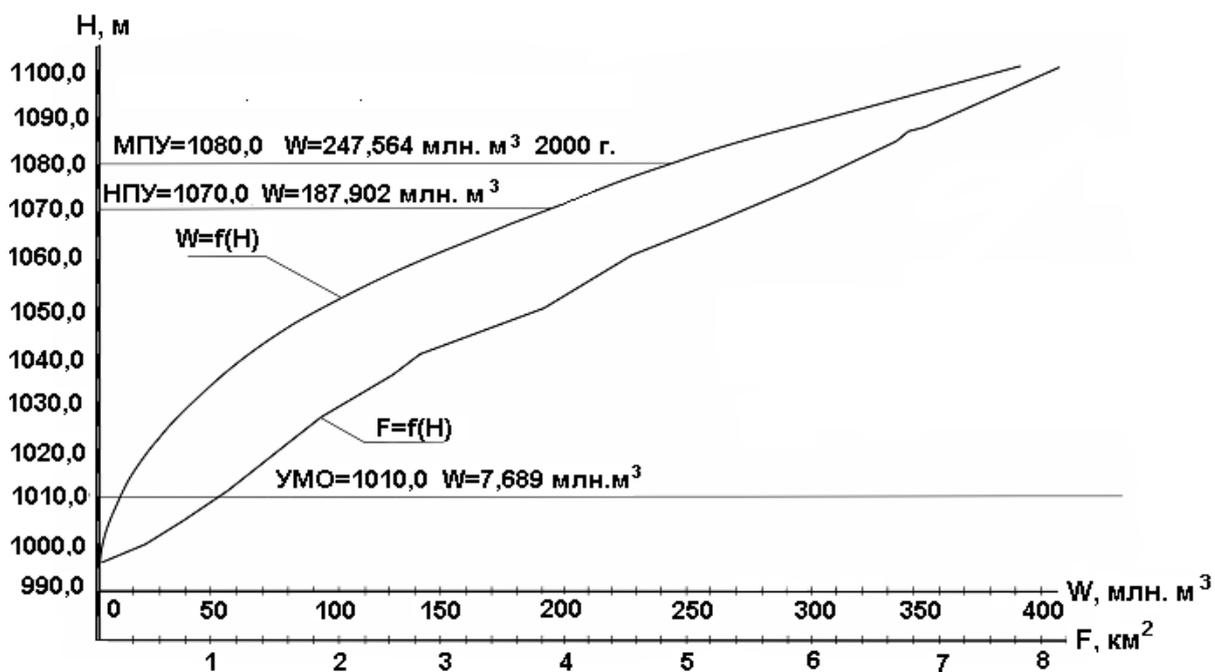


Рис. 2.3.14 Кривые зависимости площади зеркала и объёма водохранилища от уровней воды.

Сбросные сооружения водохранилища расположены на левом берегу и имеется подводная гряда, разделяющая мёртвый объём на 2 части, поток вынужден проходить до плотины и, повернув, проходить мёртвый объём вторично. Из-за этого мёртвый объём водохранилища заиливается быстрее и доля заиления мёртвого объёма больше, чем в обычных водохранилищах, где сбросные сооружения расположены непосредственно у плотин.

За 28 лет из 13 млн. м³ мёртвого объёма заилилось 3,3 млн. м³.

Доля заиления мёртвого объёма $K_2 = \frac{W_{zm}}{W_{zo}} = \frac{3,3}{12,1} = 0,238$, что вдвое превосходит обычную долю заиления мёртвого объёма.

На рис. 2.3.13 приведен план и на рис. 2.3.14 - кривая зависимости объёма водохранилища от уровня воды.

Последние измерения были проведены в 2002 году Батиметрическим Центром. При НПУ=1072,64 м объём воды составил 200,16 млн. м³, по проекту – 210,36 млн. м³.

Выводы:

За 30 лет эксплуатации (1972-2002 г.г.) при самом высоком уровне (ФПУ), заиление 12,1 млн. м³, при НПУ - 9,6 млн. м³. Из них 3,6 млн. м³ в мёртвом объёме (мёртвый объём составляет 9,4 млн. м³), 6,0 млн. м³ – в полезном объёме (полезный объём равен 188,4 млн. м³).

Заиляется в основном мёртвый объём (36% мёртвого объёма) и в начале мёртвого объёма. Самое маленькое заиление наблюдается на отметке 1010-1050 м.

Тюямуюнское русловое водохранилище расположено на реке Амударья на территории Хорезмской области Узбекистана и входит в состав Тюямуюнского гидроузла.

В состав ТМГУ входят 4 водохранилища – Русловое и 3-наливных; Капарас, Султансанджар и Кушбулак. Русловое и Капарас вступили в

эксплуатацию в 1981 – 1982 годах, а Султансанджар и Кушбулак - в 1983 – 84 гг. Основные характеристики водохранилищ приведены в таблице 2.3.15.

Таблица 2.3.15

Характеристики		Русловое	Капарас	Султан санжар	Кош-булак	Всего
Полная емкость, млн. м ³		2340	960	2690	1810	7800
Полезная емкость, млн. м ³		2070	550	1630	1020	5270
Площадь зеркала при НПУ, км ²		303	70	149	128	650
Отметка НПУ, м		130	130	130	130	130
Отметка ГМО, м		120	120	116	120	
Длина, км		102	15	24	26	
Ширина, км	максимальная	11	9	12	11	
	средняя	4	4	8	6	
Глубина при НПУ, м	максимальная	20	36	38	41	
	средняя	7,7	13,7	18	14,2	
Глубина при ГМО, м	максимальная	10	26	28	31	
	средняя	2,8	9,3	10,8	12,7	

Тюямуюнское водохранилище

Местоположение.	Хазараспский туман, 80 км юго-восточнее г. Ургенч
Наименование водотока.	река Амударья
Класс сооружений.	I
Объем тела.	26121 тыс. м ³
Сейсмичность района.	7 баллов
Грунты основания.	песчаник, песок, глина
Годы строительства.	1970 – 1980 гг.
Год в ввода в эксплуатацию.	12 апреля 1980г.
Ген проектировщик.	среднеазиатское отделение института «Гидропроект»
Ген подрядчик.	управление строительством «Тюямуюнгидрострой»
Эксплуатирующая	Нижеамударьинское БУ ирригационных систем,

организация. Дирекция ГЭС
 Вид охраны. военизированная охрана 10 постов
 Линии связи. телефонная и радио связь с водохозяйственными
 организациями вилоята

Водохранилища:	Русловая	Султансан джар	Капарас	Кошбула к
полный объем.	2340 млн. м ³	2690 млн. м ³	960 млн. м ³	1810 млн. м ³
полезный объем.	2070 млн. м ³	1630 млн. м ³	550 млн. м ³	1020 млн. м ³

Русловое водохранилище. Земляная плотина:

тип / материал земляная, насыпная / аллювиальный песок
 высота максимальная. 34 м
 длина по гребню. 900 м
 дренаж. горизонтальный

Водосбросная плотина:

тип. бетонная, имеет восемь пролетов
 пропускная способность. донные отверстия 8700 м³/с, водосливное
 отверстие 920 м³/с
 длина / высота 141 м / 34 м
 напор. 24,0 м

Левобережный водозабор:

тип. двухъярусного типа с 6-ю отверстиями
 размерами 5х5 м
 пропускная способность. 560 м³/с, промывные галереи 1080 м³/с
 длина. 63,5 м

Правобережный водозабор:

тип. фронтальный, двухъярусного типа с 3-мя
 отверстиями 5х5 м
 пропускная способность. 200 м³/с, промывные галереи 220 м³/с
 длина. 21,5 м

Гидроэлектростанция:

тип. здание станции напорное, совмещенного типа
 мощность / количество агрегатов. 150 Мвт / 6 шт.
 напор. 20,0 м
 расход. 1140 м³/с донные водосбросы 1310 м³/с.

Плотина (Султансанджар):

тип / материал земляная, насыпная / эоловый песок
 высота максимальная. 24 м
 длина по гребню. 21600 м

Водозабор наполнения и сработки Султансанджарского водохранилища:

описание представляет из себя водосбросную плотину
 4 донными отверстиями

пропускная способность. 500 м³/с
длина. 30,0 м

Водозабор осветленной воды из Султансанджарского водохранилища:

описание водозабор 3-х пролетный, состоит из 4-х
секций выходного портала
пропускная способность. 500 м³/с
длина. 26,0 м

Плотина (Капарас):

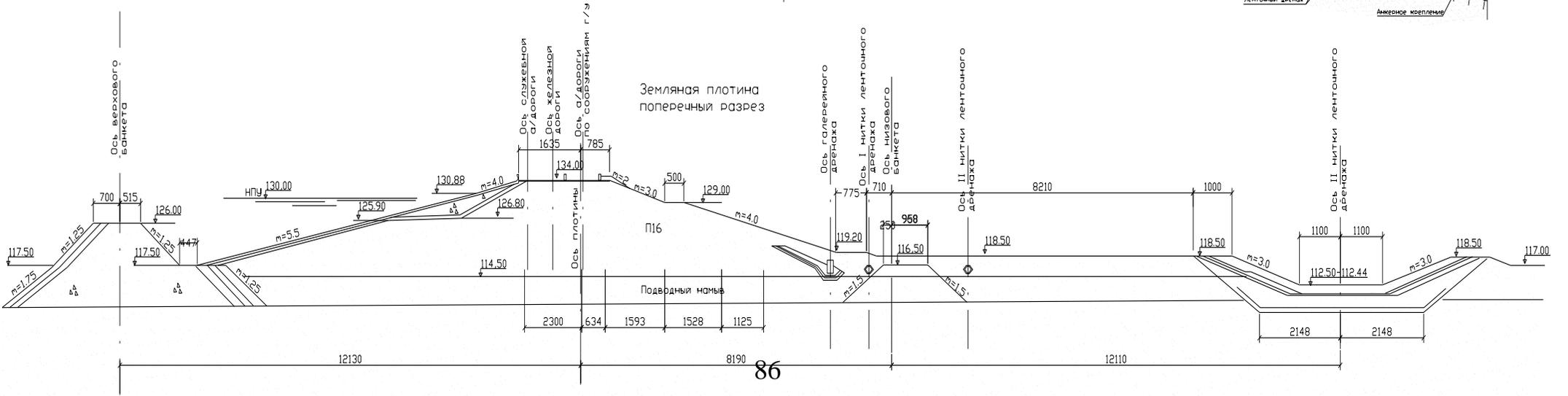
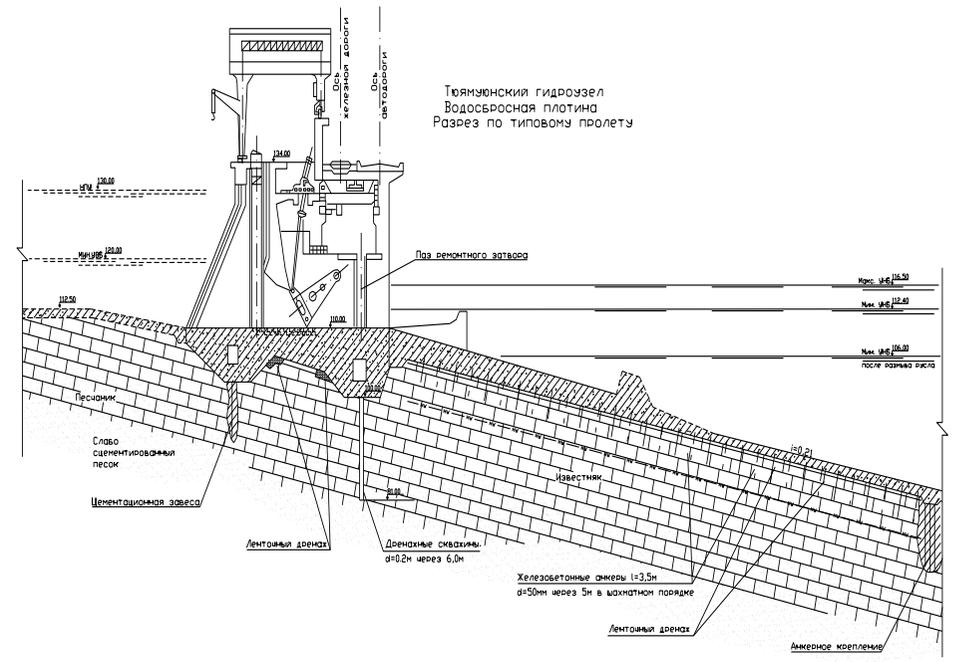
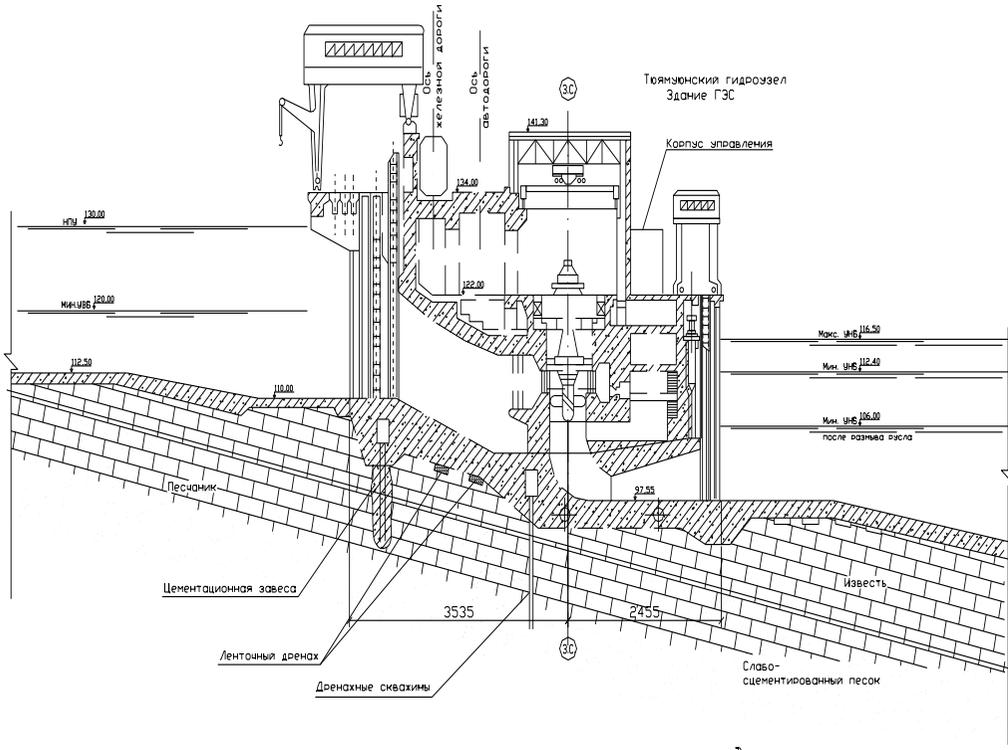
тип / материал глухая земляная / песок эолового и
неогенового происхождения
высота максимальная. 22,0 м
длина по гребню. 134,50 м

Водозабор наполнения и сработки Капарасского водохранилища:

описание представляет собой водосбросную плотину 4
отверстиями 5х6 м
пропускная способность. 450 м³/с
длина. 30,0 м

Контрольно-измерительная аппаратура:

пьезометры по проекту / факт. . . 402 / 301 шт.
геодезические знаки по проекту . 564 / 408 шт.
/ факт
водомерное устройство по не установлены
проекту / факт. . .



Водохранилища взаимосвязаны между собой.

Наносные характеристики на подходе к Туямуюнскому гидроузлу колеблются в пределах;

- в маловодные годы 30 ...40 млн. т;
- в средневодные годы 70...90 млн. т;
- в многоводные годы до 150...170 млн. т.

В годы средней водности суммарный объём стока взвешенных наносов в створе Дарганата составляет 81,5 млн. тонн, из которых 95% приходится на половодье; в многоводные годы сток наносов составляет 129,7 млн. тонн, в период половодья – 122,0 млн. тонн.

Натурные промеры глубин в Русловой ёмкости выполняются экспедицией САНИИРИ один раз в год. Поэтому, установленные по натурным данным объёмы заиления дают представление только о годовых величинах и не освещают внутреннюю динамику заиления рассматриваемой ёмкости.



Рис. 2.3.16. План зеркал водной поверхности Туямуюнского водохранилища

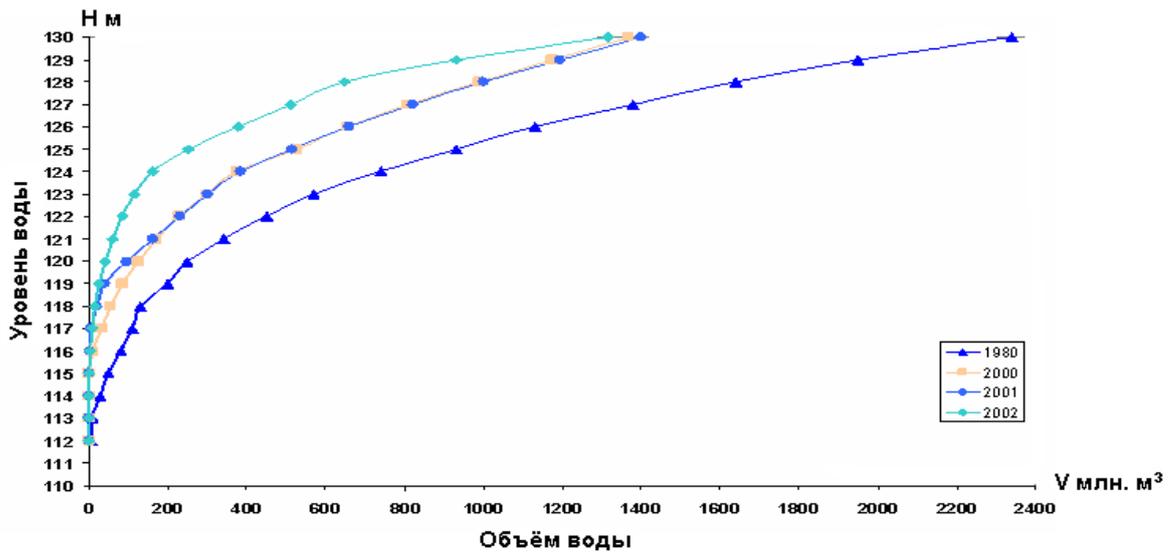


Рис. 2.3.17. Кривая объемов руслового водохранилища

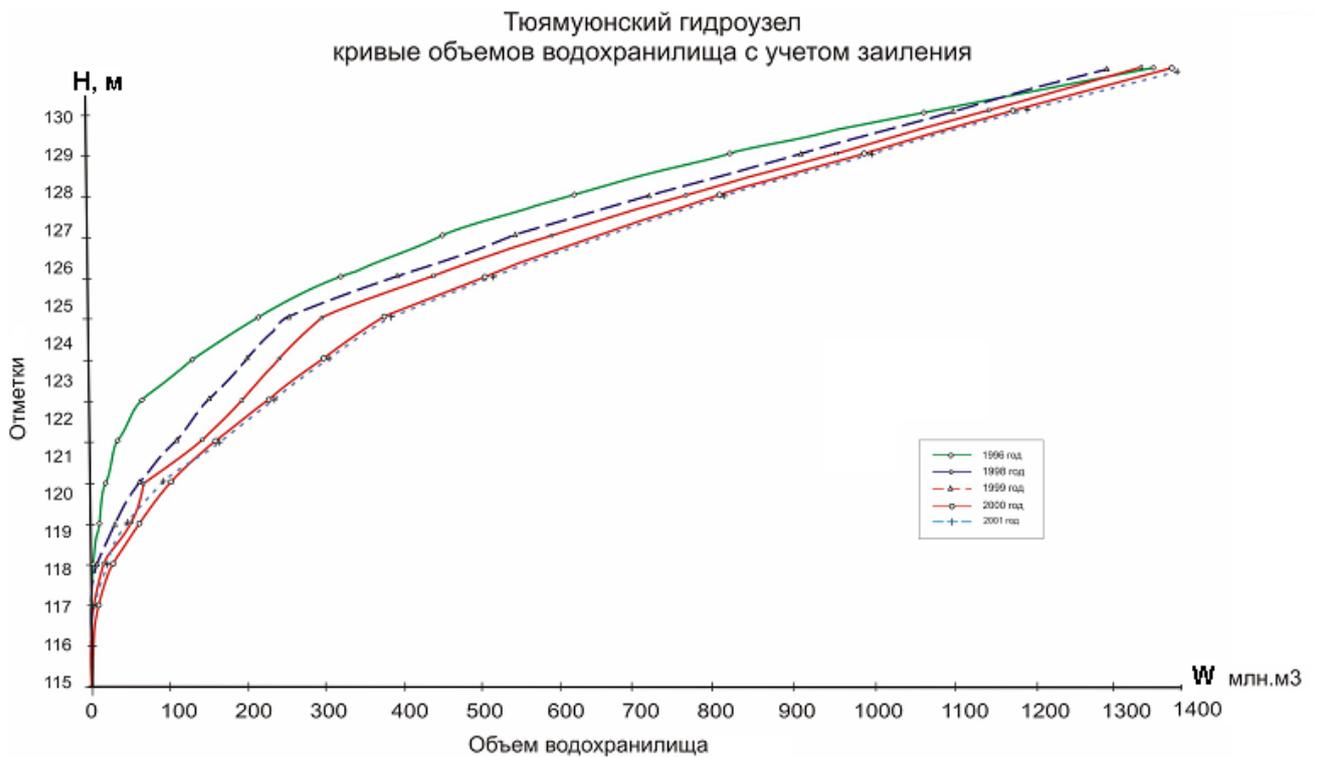


Рис. 2.3.18.

Объем заиления за 1981 – 2001 годы составляет около 950 – 1000 млн.м³.

В целом, за весь период работы гидроузла расчетная динамика хода заиления Русловой ёмкости значительно превышает проектный.

Наибольшая интенсивность заиления русловой ёмкости, согласно расчетам наблюдается в июле - августе, при горизонте воды у плотины выше 125 м. Наименьшая интенсивность заиления наблюдается в феврале - марте.

Осаждение в водохранилищах речных наносов, а также других твердых частиц, оседающих на дно чаши (песка приносимого ветрами с прибрежных пустынь, продуктов размыва берегов и т.д.) приводит к систематическому уменьшению их аккумулирующей ёмкости. В условиях Амударьи, являющейся пятой по содержанию речных наносов на кубометр воды рекою Центральной Азии, вопрос о ходе процесса заиления водохранилищ Туямуюнского гидроузла стоит очень остро.

Осаждение наносов в Русловом водохранилище, согласно уточненным расчётам В.С. Лапшенкова, уменьшает его полезную ёмкость через 5 лет на 16,6 - 12,3 %. В зависимости от варианта эксплуатации расчёты выполнены при двух вариантах: "энергетическом" и "ирригационном".

В "энергетическом" варианте расчета предусматривается длительное поддержание уровня воды на отметке НПУ в целях более полного обеспечения напором приплотинной ГЭС. В варианте В. В. Пославского предусматривается снижение горизонта воды в водохранилище во время паводков, в целях ослабления процесса осаждения наносов.

Для проверки результатов выполненных расчетов, составитель рабочих чертежей ТМГУ – Среднеазиатской филиал Гидропроекта сразу после ввода в эксплуатацию плотины ТМГУ в действие, организовал натурные исследования хода процесса заиления Руслового водохранилища.

В связи с этим, в чаше водохранилища на длине 73,5 км выше плотины было разбито и закреплено 36 промерных створов, на которых, начиная с 1981 г. проводились систематические промеры.

В ходе сравнения кривой объёмов $V = f(H)$ с проектной кривой $V = f(H)$ (1978г) и с кривой $V = f(H)$, построенной по результатам предыдущего промера, определялись:

а) общий объём отложений за прошедшее время эксплуатации (как разница между объёмами при $H=130$ м по проектной кривой и построенной по результатам промеров);

б) объём отложений за время между смежными промерами (как разница между объёмами при $H_{ПУ}=130$ по кривым $V = f(H)$ по результатам этих промеров);

в) распределение объёмов отложений по высотным зонам и длине чаши водохранилища (как разница между объёмами при одинаковых уровнях по проектной кривой $V = f(H)$ и кривой рассматриваемых промеров, или по кривым смежных промеров).

Промерные работы и обработка их результатов в 1981 – 86 годах проводились Среднеазиатским филиалом Гидропроекта и имели, как уже отмечалось, главной целью - проверку проектных предположений, т.е. практической применимости использованного в проекте метода расчета заиления В.С. Лапшенкова [40].

В 1987 г эти работы были переданы Джунской группе отдела русел НПО САНИИРИ, преобразованной в 1988 г. в малое предприятие «Река», которое занималось Комплексными натурными исследованиями по управлению режимом работы ТМГУ; в частности его оптимизацией с точки зрения уменьшения заиления Руслового водохранилища.

За период с 1981 г. по 1991г. промерные работы в чаше Руслового водохранилища производилось 2 раза в году: в конце летнего наполнения (июнь – июль) и в начале осеннего наполнения (сентябрь – октябрь).

Получаемые обработкой промеров кривые $V=f(H)$ соответствовали наибольшему заилению чаши (после прохода наиболее насыщенными наносами майских и июньских паводков и возможного промыва образовавшихся с реки наносов отложений, а также после глубоких сработок водохранилищ для обеспечения вегетационных поливов в конце вегетации).

Построенные по материалам промеров кривые $V=f(H)$ перерабатывались в эксплуатационные «таблицы» координат, которые сообщались затем службе

эксплуатации ТМГУ, использовавшей их в процессе оперативного регулирования режима работы узла.

Динамика изменения объёмов отложения наносов в Руслевом водохранилище ТМГУ за 1982 – 1992 г.г. приведена в таблице 2.3.27.

За первые годы эксплуатации, несмотря на понижение уровня воды при пропуске наиболее мутных расходов (по рекомендации академика В.В. Пославского) осветление потока на выходе из водохранилища было почти полное (>95%) и объёмный вес отложений примерно равен 1,12 т/м³.

Только после этого периода начался сказываться эффект пропуска наносов и промыв отложившихся в водохранилище наносов в нижний бьеф. За последние 2-3 года промыв наносов был настолько эффективным, что удалось промыть в нижний бьеф весь бытовой сток наносов и, таким образом сохранять ёмкость водохранилища.

Объёмы отложений в Руслевом водохранилище за период эксплуатации 1985 – 2001 годы, млн. м³ приведены в таблице 2.3.28.

Таблица 2.3.27

Объёмы отложений в Русловом водохранилище за период эксплуатации 1985-2001 годы, млн. м³

НПУ	Г О Д А															
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
130	585	450	528	585	565	559	664	781	867	913	954	898	1006	1050	971	940
129	520	415	454	520	495	488	570	690	766	807	887	785	807	850	776	755
128	471	374	414	471	454	450	520	640	693	734	814	702	684	728	652	640
127	440	351	372	440	401	417	480	590	641	687	765	590	611	654	573	560
126	389	308	334	389	340	352	419	520	562	602	698	488	540	584	474	470
125	345	278	288	345	300	302	370	455	501	637	610	410	492	532	403	415
124	330	235	244	295	250	236	293	384	421	455	525	341	444	488	363	355
123	240	195	199	240	200	180	222	300	344	375	440	290	328	371	273	270
122	210	164	170	210	172	150	199	254	296	325	385	280	254	298	223	219
121	176	139	133	176	142	120	200	205	236	265	305	230	195	235	168	177
120	144	115	117	144	130	98	125	160	185	200	230	182	152	189	126	155
119	133	103	108	133	120	88	120	140	161	171	190	156	145	170	116	160
118	93	89	92,2	93	84	58	93	93	109	116	126	109	114	122	74	110
117	85	71	73,2	85	89	62	86	90	100	105	110	103	105	107	79	104
116	70	57	59,8	70	69	52	68	72	77	79	80	79	79	79	72	78
115	43	36	38,3	43	50	37	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
114	27	24,1	24,3	27	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
113	10	8,9	8,5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
112	5	4,9	4,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Среднемноголетней твердый сток реки Амударьи перед Тюямуюнским русловым водохранилищем за 1982–91гг. составил $\frac{741,6}{12} = 61,8$ млн. м³/г.

Согласно отчету за 1987г., общий объём заиления водохранилища составил к 1987 году 528 млн. м³ и к 1988 году 608 млн. м³, из них к 1987 году заиления 117 млн. м³ ёмкости мертвого объёма.

В последующие 1989 и 1990 годы, по-видимому, из-за маловодности реки, произошли уплотнения ранее отложившихся наносов и промыв отложений при очень низких отметках пропуска воды, и поэтому, объёмы заиления несколько уменьшились (на 51 млн. м³).

Динамика изменения объёма отложения наносов в Русловом водохранилище ТМГУ за 1980 – 2001 г.г. приведена в таблице 2.3.28

Таблица 2.3.28.

Объём заиления Тюямуюнского водохранилища.

Год	W_0 млн. м ³	$W_{zo_i} = W_o - W_0$ млн. м ³	W_{mo} млн. м ³	$W_{zm_i} = W_{mo} - W_m$ млн. м ³	$K_2 = \frac{W_{z.m}}{W_{z.o}}$
проект	2340	-	250	-	-
1985	1755	585	106	144	0,246
1986	1890	450	135	115	0,255
1987	1812	528	133	117	0,222
1988	1755	585	106	144	0,246
1989	1775	565	120	130	0,230
1990	1781	559	152	98	0,1753
1991	1686	654	125	125	0,1911
1992	1556	781	90	160	0,205
1993	1473	867	65	185	0,213
1995	1427	913	50	200	0,219
1996	1346	994	20	230	0,231
1997	1442	898	68	182	0,203
1998	1332	1008	98	152	0,151
1999	1100	1240	61	189	0,152
2000	1144	1166	124	126	0,108
2001	1195	1145	95	155	0,135

Данные о заилении Тюямуюнского руслового водохранилища нами не использованы, так как снижение уровня воды ниже отметки мёртвого объёма (на 2,0 – 2,5 м) приводят к неточности в расчётах.

Андижанское водохранилище расположено на реке Карадарья. Начато строительство в 1979 г. и пущено в строй в 1983 г. Водоохранилище наливное, источники питания: реки Куршаб, Карадарья, Яссы. Общий объём воды по проекту 1900,0 млн. м³, полезный объём 1750,0 млн. м³, мёртвый объём 150,0 млн. м³. Самая высокая отметка воды (НПУ) 906,0 м абс., площадь зеркала 56,0 км² и УМО 846,0 м абс. Площадь зеркала 11,0 км². Длина дамбы 875 м и высота 121 м.

Таблица 2.3.29

Основные показатели по водохранилищу

Полный объём, млн. м ³	1900
Полезный объём, млн. м ³	1750
Объём заиления, млн. м ³	150
Отметка НПУ, м	906,0
Отметка МПУ, м	846,5
Площадь зеркала при НПУ, км ²	57,28
Отметка гребня, м	907,5
Высота плотины, м	115,5

При уровне воды в водохранилище 906 м абс. общий объём 1644,79 млн. м³, и площадь зеркала 57,28 км². Проектный объём воды 1900 млн. м³ и площадь зеркала равна 56 км². Отсюда видно, что в водохранилище 255,21 млн. м³ наносов набралось и за счёт размыва берегов водохранилища, за счёт увеличения поверхности водохранилища, произошло увеличение площади зеркала воды на 1,28 км².

Отсюда следует, что мёртвый объём заилен на 40 %. Общий объём – на 13%, полезный объём – на 11%.

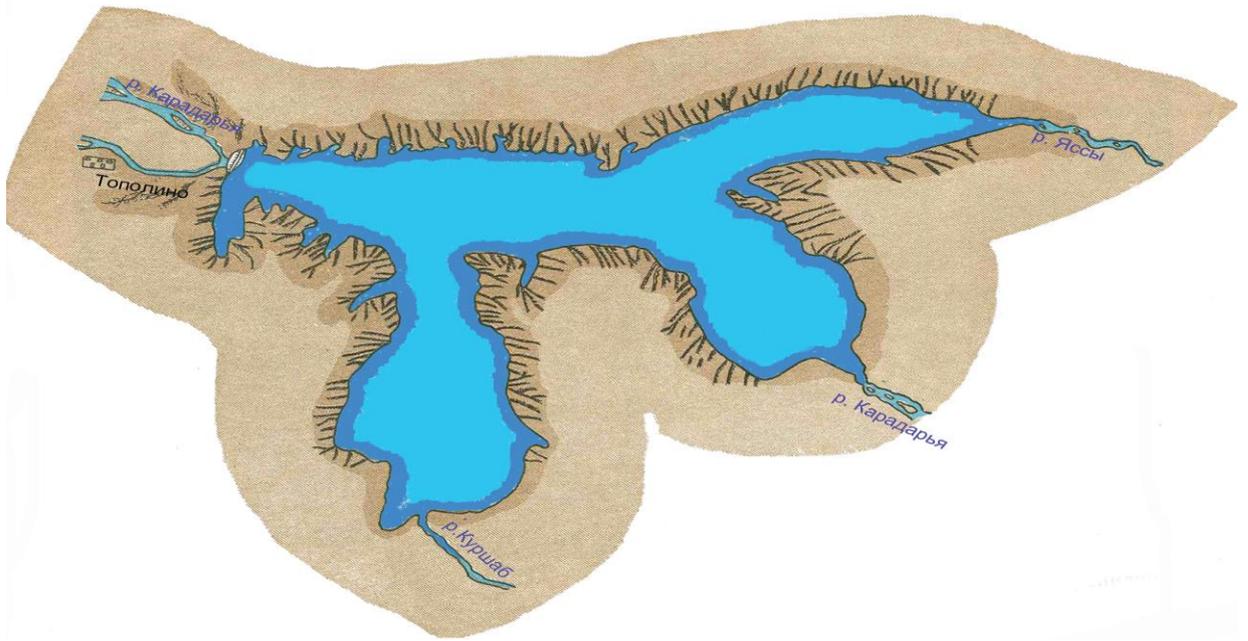


Рис.2.3.19. План зеркал водной поверхности Андижанского водохранилища

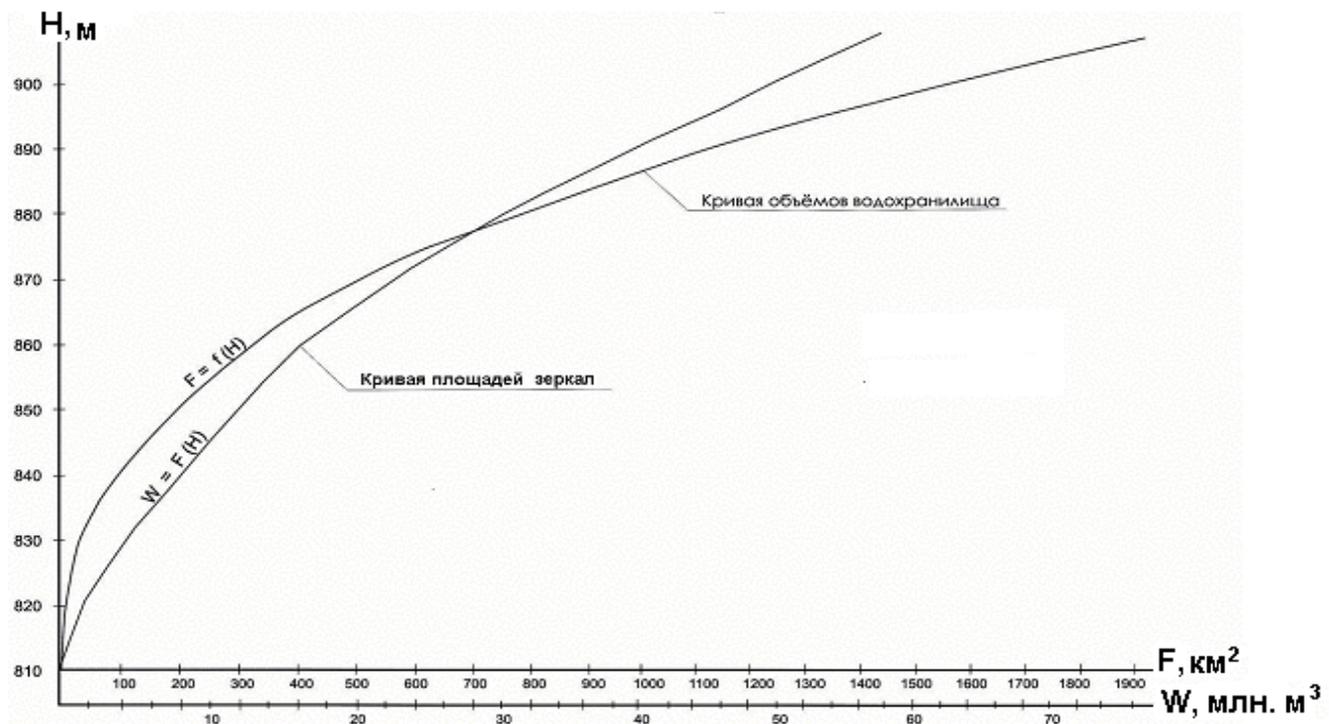


Рис. 2.3.20. Кривые зависимости площади зеркала и объёма водохранилища от уровней воды

Ниже приведена таблица 2.3.30, в которой показаны значения объёмов и площадей и таблица 2.3.30, в которой приведён расчёт заиления водохранилища. Замеры проводились в 2003 г. Батиметрическим Центром.

Таблица 2.3.30.

Объёмы и площади зеркала воды

Н, м	W, млн.м ³	F, км ²	Н, м	W, млн.м ³	F, км ²
1	2	3	4	5	6
819	0	0	859	216,14	11,801
820	0,998	0,19	860	228,41	12,22
821	1,8	0,377	861	241,37	12,66
822	2,59	0,558	862	254,23	13,121
823	3,23	0,74	863	267,76	13,581
824	3,91	0,916	864	281,57	14,071
825	4,63	1,095	865	296	14,565
826	5,59	1,29	866	310,74	15,094
827	6,83	1,495	867	362,22	15,62
828	8,21	1,71	868	342,31	16,18
829	9,93	1,95	869	359,03	16,733
830	12,12	2,20	870	376,15	17,32
831	14,65	2,49	871	394,24	17,909
832	17,63	2,808	872	412,43	18,498
833	20,74	3,149	873	431,18	19,08
834	24,21	3,514	874	450,35	19,682
835	27,94	3,882	875	470,52	20,323
836	32,01	4,262	876	491,05	20,955
837	36,45	4,644	877	512,45	21,645
838	41,32	5,014	878	534,78	22,382
839	46,25	5,375	879	558,09	23,181
840	51,69	5,71	880	582,91	24,03
841	57,47	6,025	881	608,35	24,93
842	63,52	6,334	882	634,18	25,87
843	69,99	6,634	883	660,58	26,937
844	76,65	6,923	884	688,02	27,852
845	83,68	7,21	885	716,32	28,904
846	91,14	7,498	886	746,11	30,017
847	98,79	7,798	887	777,13	31,191
848	106,81	8,095	888	808,89	32,438
849	115,19	8,392	889	842,43	33,736
850	123,81	8,71	890	879,75	35,11
851	132,71	9,03	891	916,5	36,607
852	142,08	9,359	892	956,09	38,243

853	151,52	9,678	893	997,46	39,987
854	161,38	10	894	1040,32	41,799
855	171,37	10,335	895	1088,3	43,645
856	182,1	10,679	896	1128,82	45,508
857	193,1	11,034	897	1174,45	47,344
858	204,43	11,414	898	1220,64	49,141
899	1268,12	50,829	903	1472,55	55,262
900	1324,21	52,350	904	1530,39	55,931
901	1365,12	53,559	905	1585,16	56,569
902	1417,36	54,496	906	1644,79	57,28

Таблица 2.3.31.

Расчёт заилениа Андижанского водохранилища

Отметки H , м	$W_{np}=f(H)$ 1983 г., млн. м ³	$W_{\phi}=f(H)$ 2003 г., млн.м ³	$dW=W_{np}- W_{\phi}$ заиление, млн. м ³
815	0	0	0
820	1,37	0,98	0,39
825	11,07	4,63	6,44
830	27,93	12,16	15,77
835	54,03	27,94	26,09
840	89,98	51,7	38,28
845	137,15	83,68	53,47
850	192,32	123,89	68,43
855	255,74	171,37	84,37
860	330,19	228,48	101,71
865	418,07	296	122,07
870	512,77	376,2	145,57
875	643,02	470,52	172,5
880	783,42	580,88	200,54
885	944,82	716,32	228,5
890	1131,95	879,75	252,2
895	1342,74	1088,3	254,44
900	1578,74	1324,21	254,65
905	1840,16	1585,16	255
906	1900	1644,79	255,21

2.4 Анализ и сравнение натуральных и проектных данных по наливным водохранилищам

Талимарджанское водохранилище расположено вблизи железнодорожной станции Талимарджан в Кашкадарьинской области. Водохранилище наливное. Источник питания – каскад насосных станций Каршинского магистрального канала, берущего воду из реки Амударья. Эксплуатация с 1975 года.

Таблица 2.4.1.

Основные показатели водохранилища

Полный объём, млн. м ³	1580
Полезный объём, млн. м ³	1400
Мёртвый объём, млн. м ³	80
Объём на заиление, млн. м ³	100
Площадь зеркала при НПУ, км ²	75
Отметка НПУ	400,5
Отметка ГМО	370,0
Высота плотины, м	35
Отметка верха плотины	403,5
Ежегодный проектный объём заиления, млн. м ³	8,1
Год вступления в эксплуатацию	1975

Талимарджанское водохранилище

Местоположение.	Нишанский туман, 75 км юго-западнее г. Карши
Наименование водотока.	в естественном понижении низкогориях Аляутдинтау, источник-р.Амударья, через КМК
Класс сооружений.	II
Сейсмичность района.	7 баллов
Годы строительства.	1974-1983 гг.

Год в ввода в эксплуатацию. . .	1985 год
Ген проектировщик.	институт «Узгипрмелиоводхоз»
Ген подрядчик.	трест «Гидрострой» управления «Каршистрой» Главсредазирсовхозстрой
Эксплуатирующая организация.	Управление эксплуатации КМК
Вид охраны.	милицейский
Линии связи.	телефонная и радио связь с водохозяйственными организациями вилоята

Водохранилища:

тип.	наливное
полный объем.	1525 млн.м ³
полезный объем.	1400 млн.м ³

Плотина:

тип.	плотина №1, №2 однородные
материал.	пески, песчаники, алевролит, супесь
высота максимальная.	плотина №1-35,0м, плотина №2-36,0м
длина по гребню.	плотина №1-9745м, плотина №2-1000м
объем тела.	40,3 млн. м ³
грунты основания.	песчанистый и глинистый алевролит
дренаж.	дренажная призма и перфорированной асбоцементной трубой

Водовыпуск:

тип.	башенный, расположен в центральной части плотины №2.
расчетный расход.	360 м ³ /с
затворы.	глубинные колесные сварные bхh=3,5х5,0 м

Водовыпускное сооружение насосной станции №7:

тип.	башенный, оборудовано двумя линиями стальных трубопроводов Д-3,6м
расчетный расход.	175 м ³ /с
длина.	70,6 м

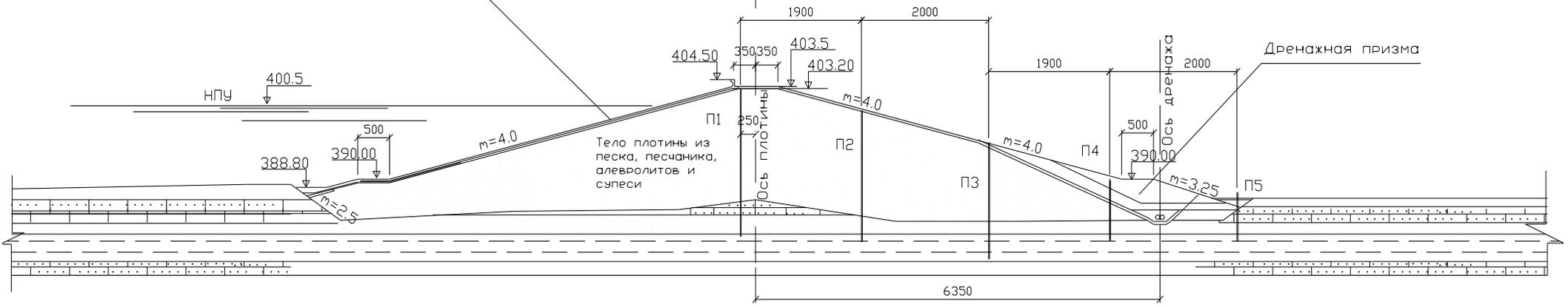
Контрольно-измерительная аппаратура:

пьезометры по проекту / факт. .	плотина №1 234 / 226 шт.	плотина №2 27 / 22 шт.
геодезические знаки по проекту / факт	плотина №1 209 / 209 шт.	плотина №2 54 / 54 шт.
водомерное устройство по проекту / факт. . .	плотина №1 5 / 5 шт.	плотина №2 4 / 4 шт.

Ж/бетная плита $t=0,2\text{м}$
Отмытый гравелит $t=0,3\text{м}$

Талимарджанское водохранилище
Плотина 1.

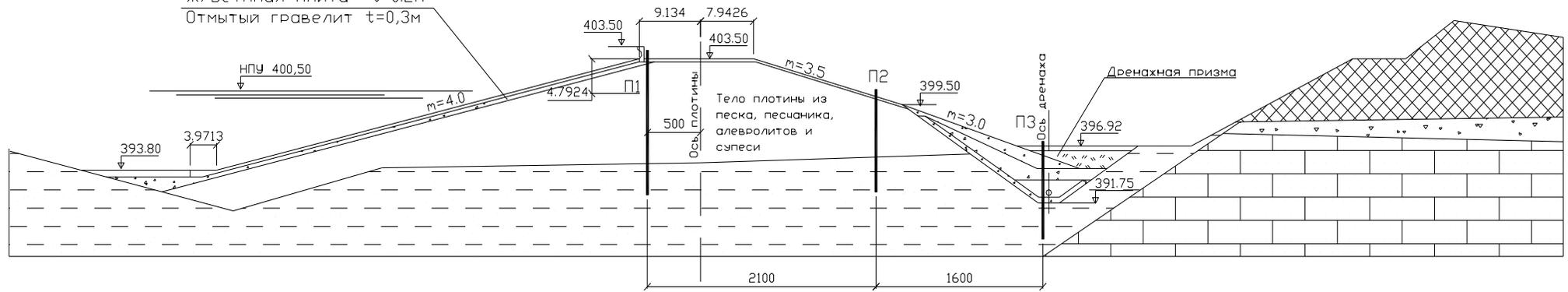
Поперечник на Пк16+50



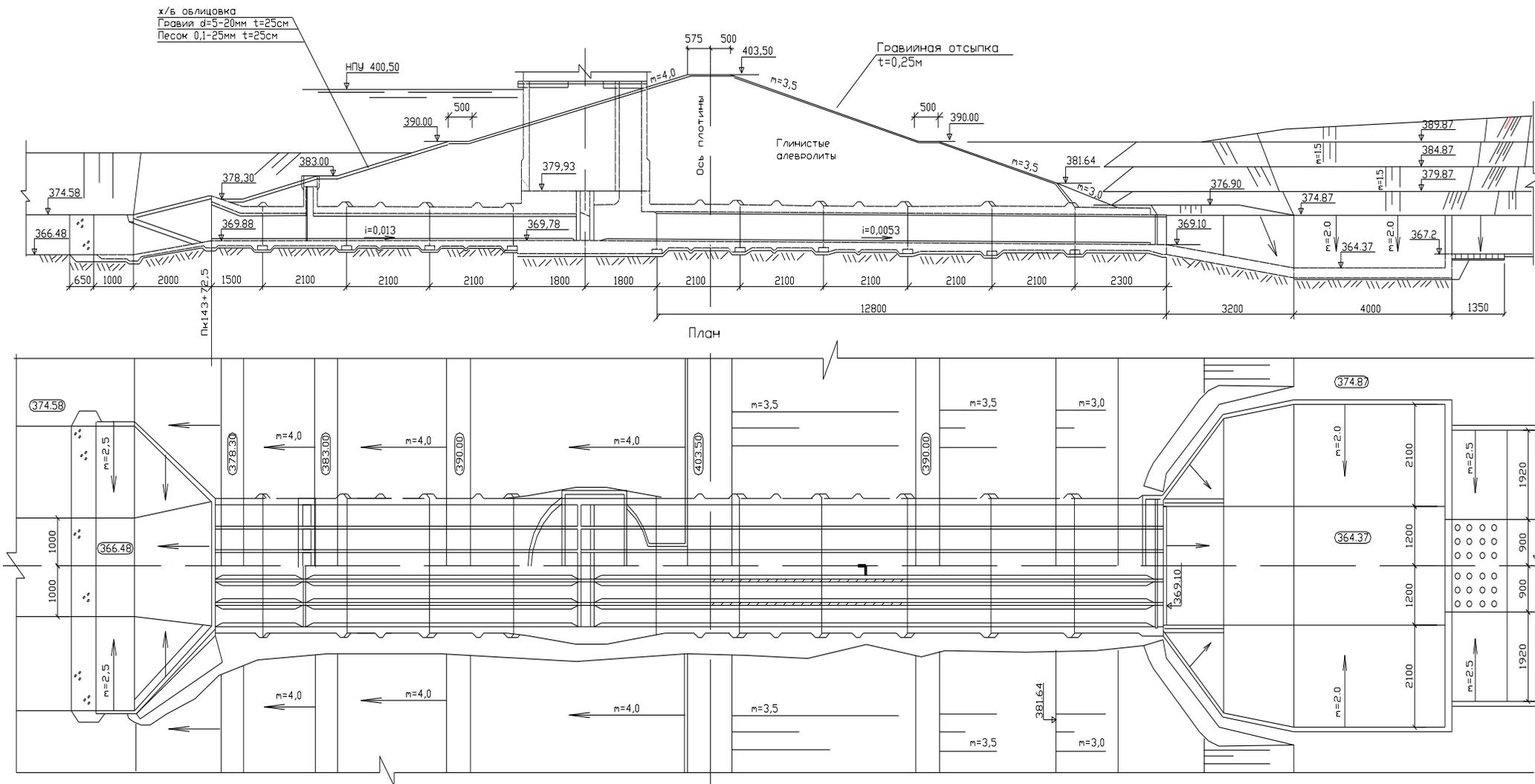
Талимарджанское водохранилище
Плотина 2.

Поперечник на Пк1+50

Ж/бетная плита $t=0,2\text{м}$
Отмытый гравелит $t=0,3\text{м}$



Талимарджанское водохранилище
Плотина 2.
Продольный разрез по оси водовыпуска



К 2002 году ёмкость водохранилища составила 1464,03 млн. м³. Объём заиления за 27 лет составил $W_{30} = 60,5$ млн. м³, что составляет в среднем за год 2,08 млн. м³. Это в 1,24 раза больше проектного.

Мёртвый объём к 2002 году составил 125 млн. м³, что в 1,5 раза больше проектного.

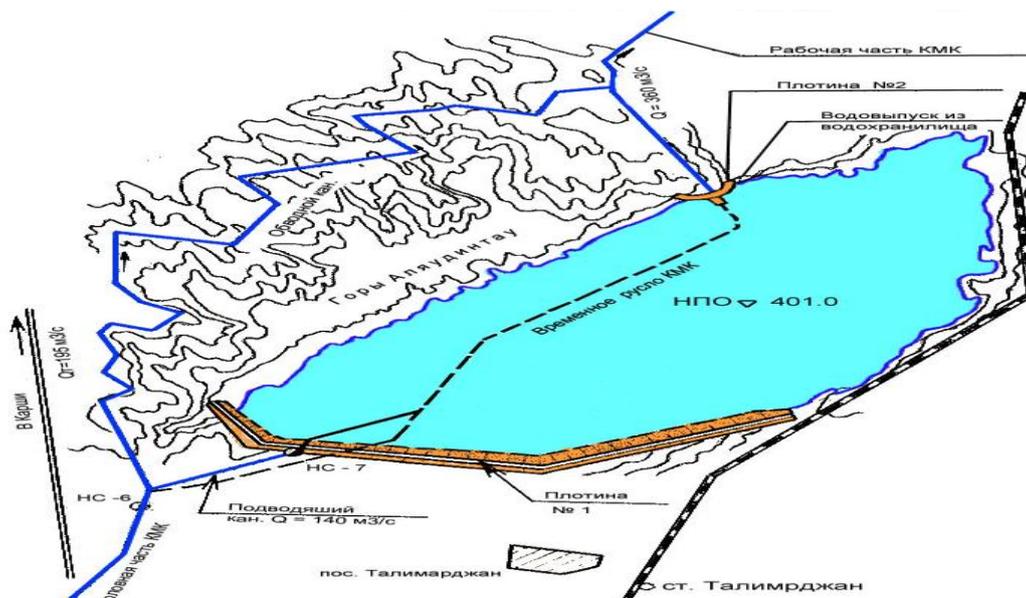


Рис. 2.4.1. План зеркал водной поверхности Талимарджанского водохранилища.

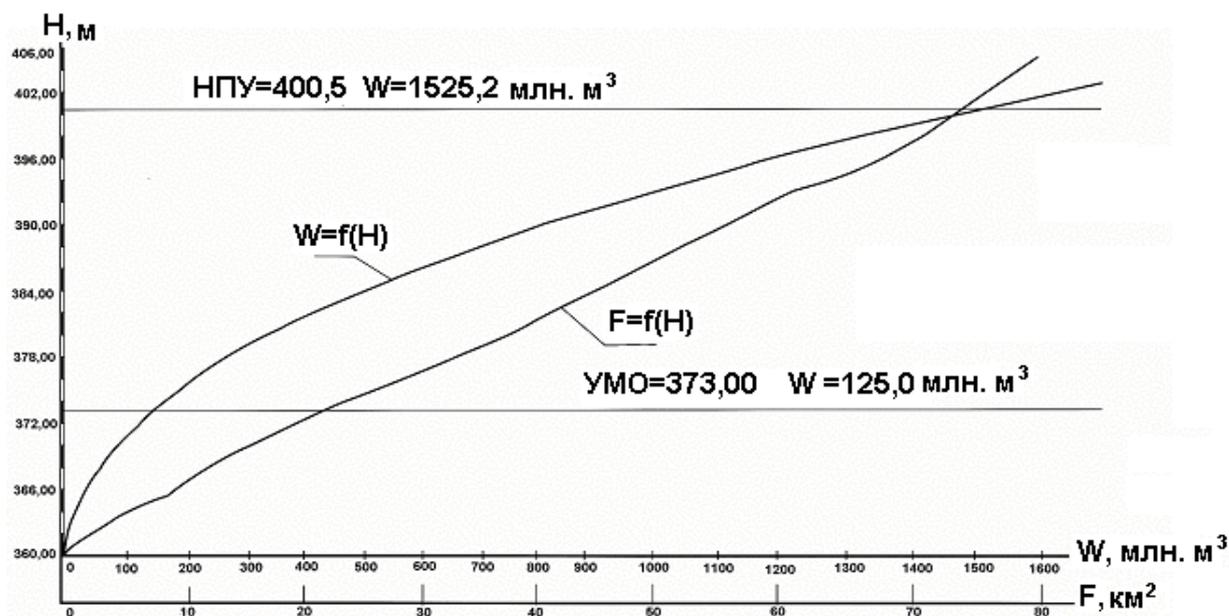


Рис. 2.4.2 Кривые зависимости площади зеркала и объёма водохранилища от уровня воды.

Пачкамарское водохранилище расположено на реке Гузардарья, в 15 км выше районного центра Гузар. Водоохранилище русловое, сезонного регулирования.

Таблица 2.4.2

Основные технические характеристики водохранилища.

Полная ёмкость, млн. м ³	260
Мёртвый объём, млн. м ³	10
Полезный объём, млн. м ³	250
НПУ на отметке	676,0
ГМО на отметке	636,0
Площадь зеркала при НПУ, км ²	12,4
Высота плотины, м	70,0
Расход водовыпуска, м ³ /с	40,0
Расход водосброса, м ³ /с	480
Ежегодный твёрдый сток водотока, млн. м ³	0,284
Год ввода в эксплуатацию	1968
Год перекрытия русла реки	1967

Пачкамарское водохранилище

Местоположение. Гузарский туман, в 15км от райцентра Гузар.
 Наименование водотока. река Гузардарья
 Класс сооружений. 2
 Сейсмичность района. 7 баллов
 Годы строительства. 1964 – 1967 гг.
 Год в ввода в эксплуатацию. 12 апреля 1968г.
 Ген проектировщик. институт «Узгипроводхоз»
 Ген подрядчик. трест «Пачкамарводстрой»
 Эксплуатирующая Управление эксплуатации Пачкамарского

организация.	водохранилища
Вид охраны.	милицейская
Линии связи.	телефонная и радио связь с водохозяйственными организациями вилоята

Водоохранилища:

тип.	русловое
полный объем.	260 млн. м ³
полезный объем.	250 млн. м ³

Плотина:

тип.	земляная, насыпная с суглинистым ядром
материал.	суглинок, песчано-гравелистый грунт
высота максимальная.	71,0 м
длина по гребню.	573,0 м
грунты основания.	глина, известняк, песчаник

Водовыпуск:

тип.	галерейный, 2-х очковый с 2-металлическим водоводом Д-1600мм
расчетный расход.	40,0 м ³ /с
затворы.	затворы «лудло», конусные затворы диаметром 1600 мм

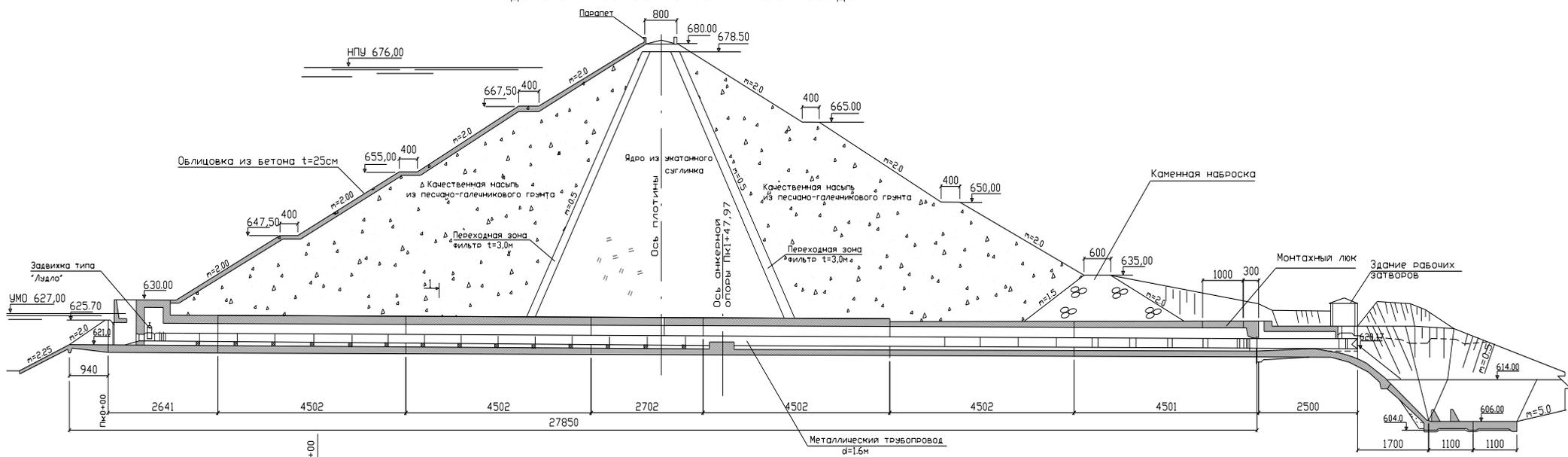
Водосброс:

тип.	поверхностный
расчетный расход.	480,0 м ³ /с

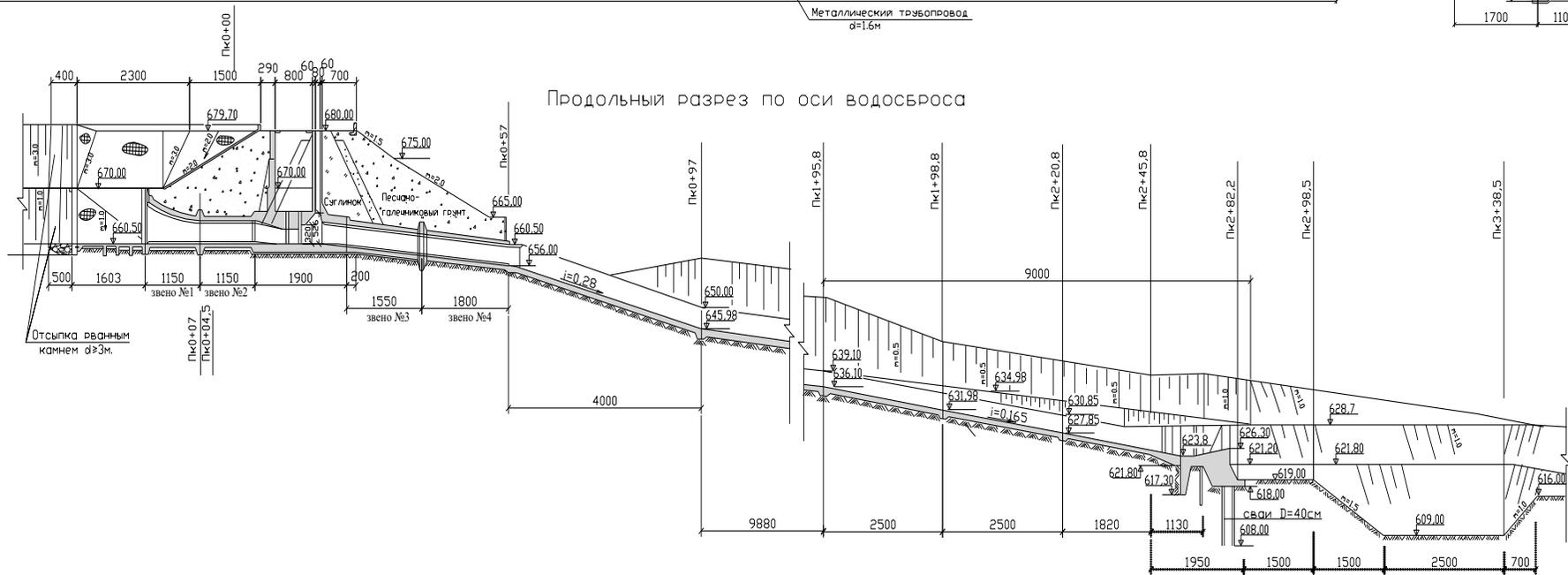
Контрольно-измерительная аппаратура:

пьезометры по проекту / факт.	106 / 67 шт.
геодезические знаки по проекту / факт.	67 / 67 шт
водомерное устройство по проекту / факт.	2 / 9 шт

Водовыпуск Продольный разрез по оси трубопровода.



Продольный разрез по оси водосбора



За 4 года (1967 – 70 гг.) водохранилище заилилось на 11 млн. м³. А к 1986 году ёмкость водохранилища составила 233,04 млн. м³ (заилилось 27 млн. м³), к 1996 году – 207,45 млн. м³ (заилилось 52,5 млн. м³).

Ежегодный объём заиления за 1967 – 70 гг. - 2,75 млн. м³;

за 1967 – 86 гг. - 1,35 млн. м³;

за 1967–96 гг.- 1,71 млн.м³.

Что соответственно в 9,68; 4,75; 6,44 раза больше, чем проектный объём заиления (в среднем в 7,21 раза).

Мёртвый объём к 1986 году заилен на 8,577 млн. м³ или на 86 %, а к 1996 году мёртвого объёма вообще не осталось. Доля заиления мёртвого

объёма к общему заилению $K_2 = \frac{8,577}{27} = 0,318$.

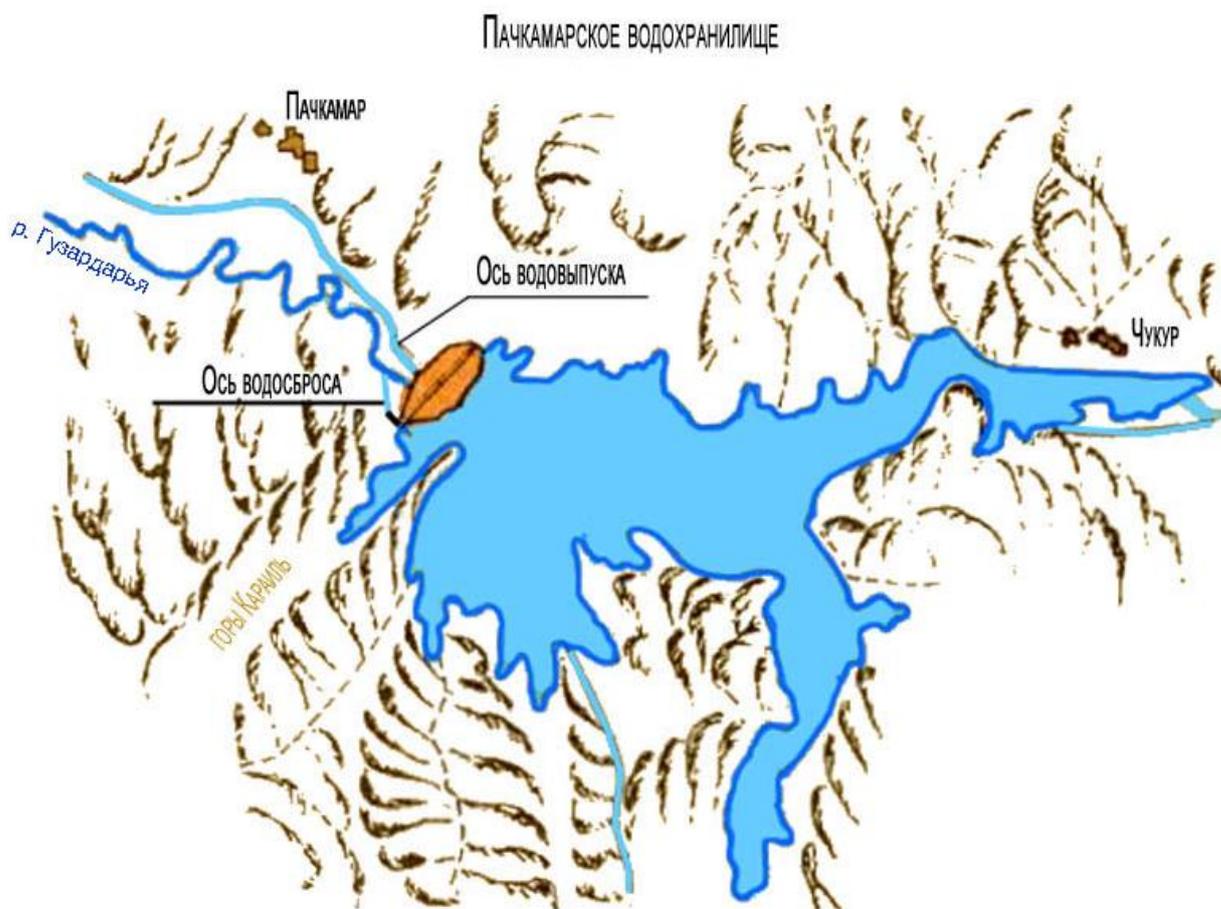


Рис. 2.4.3. План зеркал водной поверхности Пачкамарского водохранилища

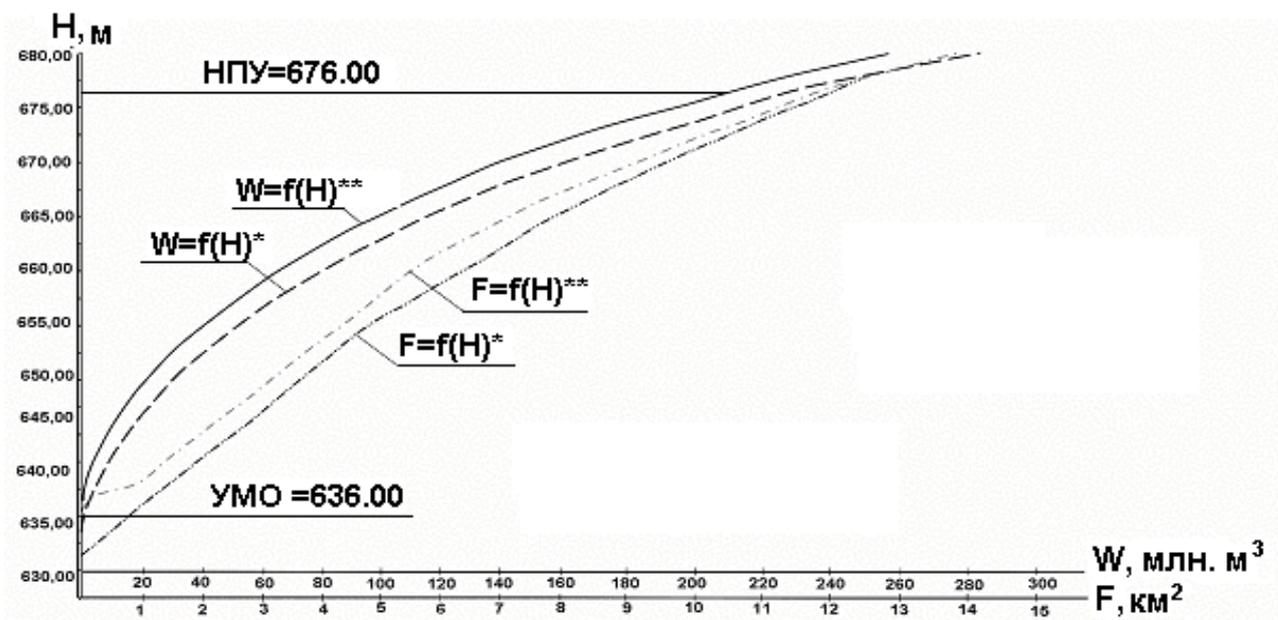


Рис. 2.4.4 Кривые зависимости площади зеркала и объёма водохранилища от уровней воды

Куюмазарское водохранилище расположено в Бухарской области в 16 км от станции Куюмазар. Введён в эксплуатацию в 1957 году. Вода в него подаётся по подводящему каналу из Верхнебухарского сброса, отходящего от реки Вибкентдарья и Карадарья. Пропускная способность подводящего канала до 160 м³/с, длина 18 км. Вода из водохранилища подаётся в Амубухарский канал. Ввод в эксплуатацию – 1957 год.

Таблица 2.4.3.

Основные показатели водохранилища

Ёмкость, млн. м ³	310
Мёртвый объём, млн. м ³	47,7
Отметка НПУ	238,0
Отметка ГМО	217,7
Ежегодный проектный твёрдый сток, млн. м ³	0,37
Набольшая глубина плотины, м	29
Площадь зеркала, км ²	16
Полный объём, млн. м ³	300,0
Полезный объём, млн. м ³	240,0
Длина дамбы, км	6,0
Высота дамбы, м	3,0

Куюмазарское водохранилище

Местоположение.	Кызылтепинский туман, в 26 км к северо-восточнее г Бухары.
Наименование водотока.	естественные котловины в пределах нижнего течения р. Заравшан
Класс сооружений.	2
Сейсмичность района.	по проекту 6 по КМК 7 баллов
Годы строительства.	1957 – 1958 гг.
Год в ввода в эксплуатацию.	1958 г.
Ген проектировщик.	институт «Узгипроводхоз»
Ген подрядчик.	трест Бухараирстрой.
Эксплуатирующая организация.	Межобластное управление эксплуатации АБМК
Вид охраны.	милицейская
Линии связи.	телефонная и радио связь с водохозяйственными организациями вилоята

Водохранилища:

тип.	наливное
полный объем.	310,0 млн. м ³
полезный объем.	263,0 млн. м ³

Плотина:

тип.	земляная, насыпная однородная
материал.	глина, рваный камень
высота максимальная.	23,5 м
.	
длина по гребню.	100 м
объем тела.	64,0 тыс. м ³
грунты основания.	глина

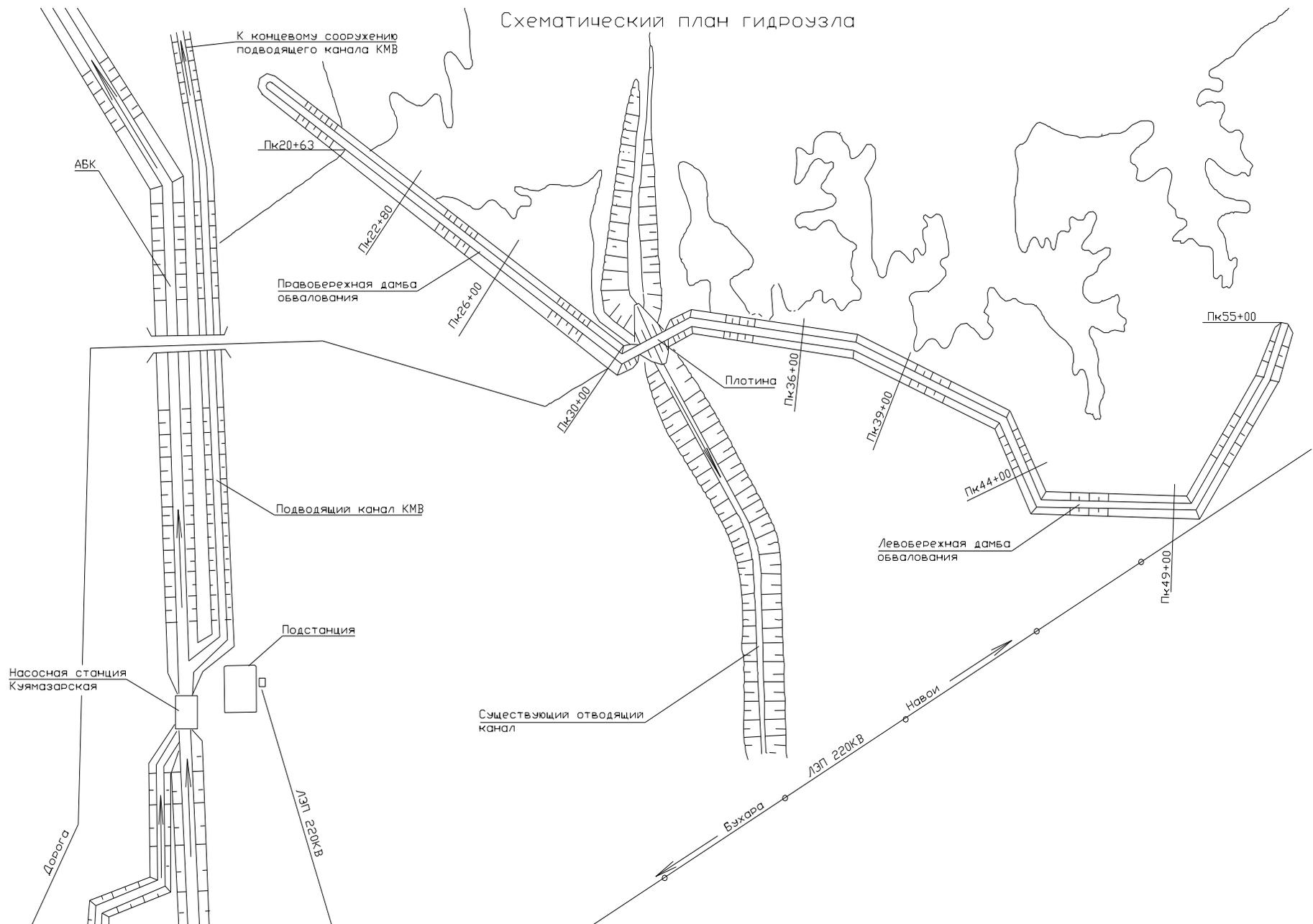
Водовыпуск:

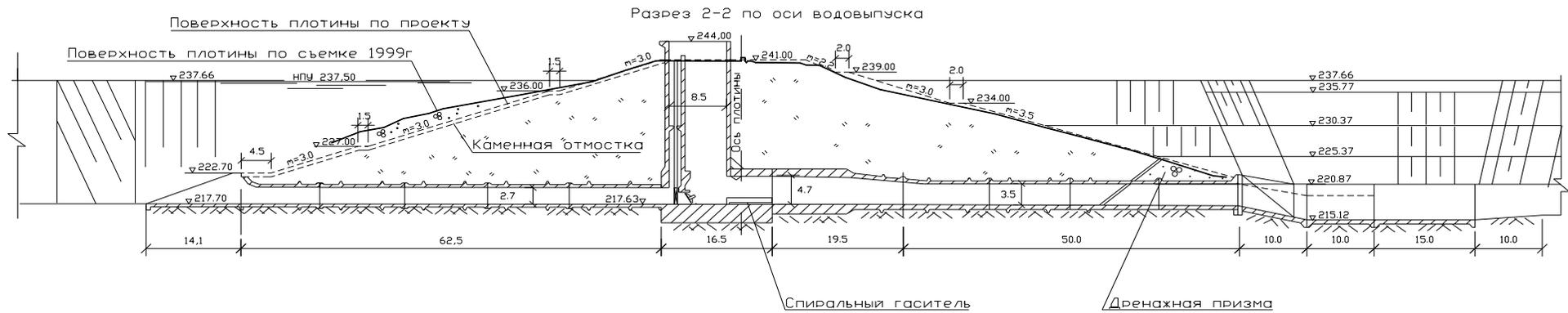
тип.	башенный, двухочковый
расчетный расход.	46,0 м ³ /с
затворы.	плоские ремонтные, рабочие сегментные bхh=4,0х2,0 м

Контрольно-измерительная аппаратура:

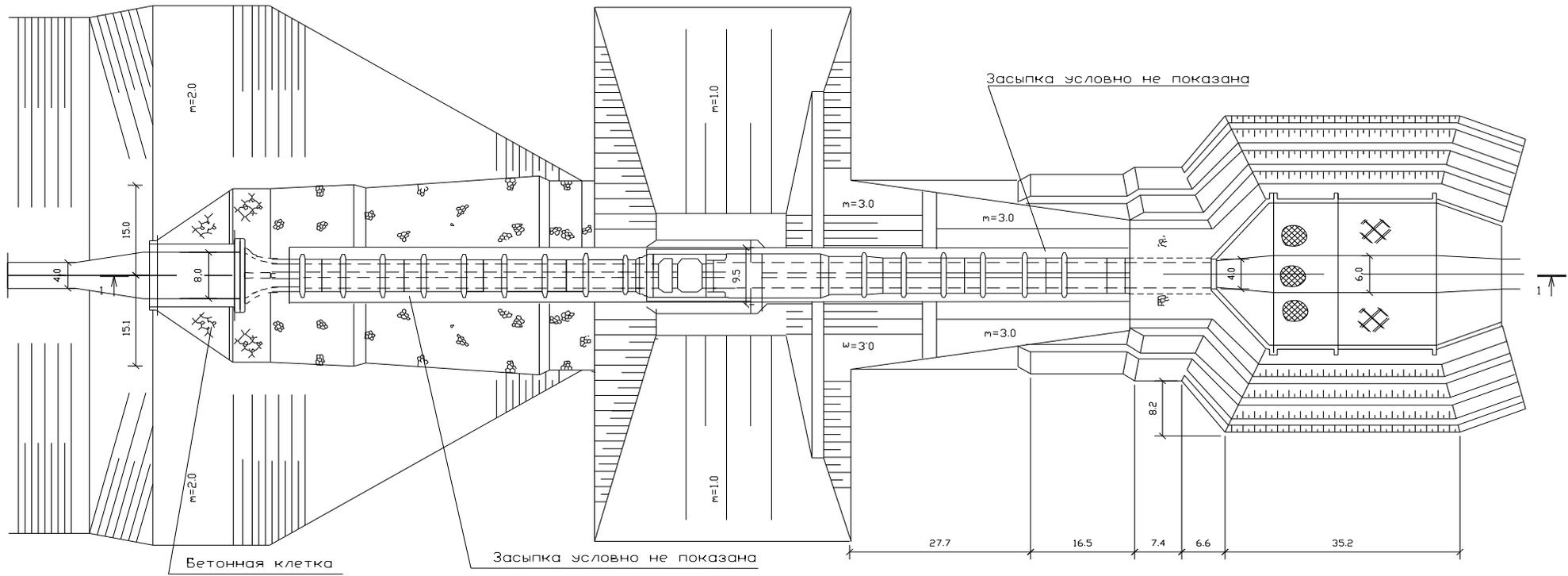
пьезометры по проекту / факт.	22 / 4 шт.
геодезические знаки по проекту / факт	н.с. / 36 шт
водомерное устройство по проекту / факт.	1 / 1 шт

Схематический план гидроузла





План



К 2002 году ёмкость водохранилища составляет 274,5 млн. м³, из них 44,3 млн. м³ приходится на мёртвый объём. Полезный объём к 2002 году равен 230,2 млн. м³. За 45 лет эксплуатации (1957-2002 гг.) водохранилище заилено на 35,5 млн. м³, из них 3,4 млн. м³ мёртвого объёма.

Ежегодная потеря ёмкости водохранилища составляет $\frac{310 - 271,5}{45} = \frac{38,5}{45} = 0,856$ млн. м³/г., что в $K_1 = \frac{0,856}{0,37} = 2,31$ раза превышает проектную величину.

Расчёты велись при НПУ = 236,44 м, по проектам этому уровню соответствуют объёмы 280,0 млн. м³.

Замеры показали, что при отметке 236,44м на сегодняшний день есть объём 249,7 млн. м³. Отсюда видно, что объём наносов составляет 30,3 млн. м³. При самом высоком уровне воды, объём заиления равен 30,5 млн. м³.

Выводы:

Со времени ввода в эксплуатацию в течение 45 лет (1957-2002г.г.) самый высокий уровень (237,5м) объём наносов 30,5 млн. м³, из них 3,4 млн. м³ объёма заиления находится при уровне УМО (217,7 м). Таким образом, при самом высоком уровне воды в водохранилище общий объём равен 274,5 млн. м³ и полезный объём - 230,2 млн. м³.





Рис. 2.4.5. План зеркал водной поверхности Куюмазарского водохранилища

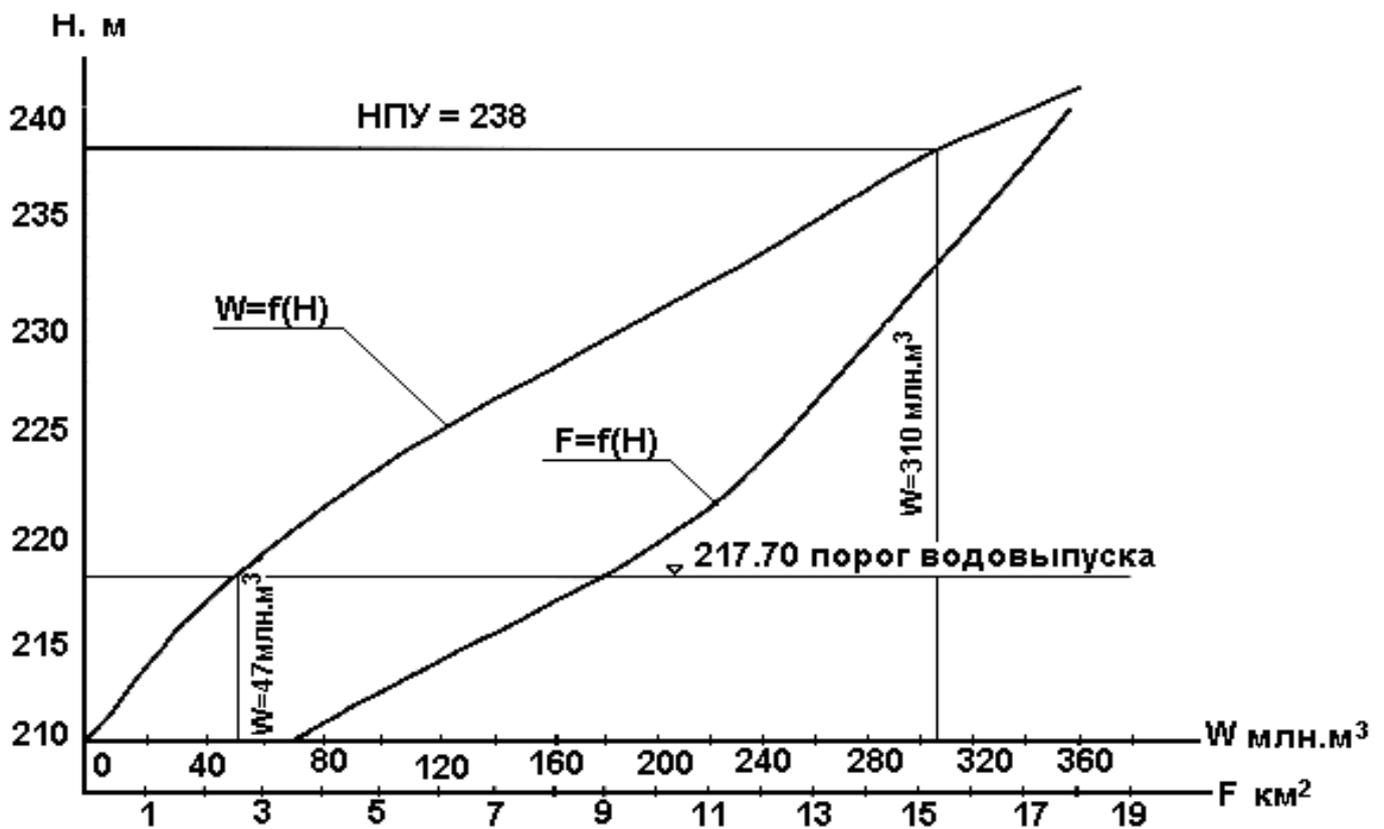


Рис. 2.4.6. Кривые зависимости площади зеркала и объёма водохранилища от уровней воды

Каттакурганское водохранилище расположено на левом берегу реки Заравшан вблизи города Каттакурган. Строительство плотины и подводящего канала было начато в 1941 году и первая очередь закончена в 1953 году, вторая очередь в 1967 году. Водоохранилище образовано путем устройства земляной водоудерживающей плотины длиной по гребню 3,9 км, превышение гребня плотины над нормальным подпертым горизонтом воды 2,5 м.

Источником наполнения водохранилища является левый рукав реки Заравшан – река Кашкадарья, с помощью Дамходжинского водозаборного узла. Подводящий канал длиной 15,9 км и пропускной способностью 145 м³/с. Отводящий канал имеет пропускную способность - 140м³/сек (после реконструкции). Полная ёмкость первой очереди 662 млн. м³, а второй очереди 900, мёртвый объём 24 млн. м³.

Таблица 2.4.4.

Основные показатели по водохранилищу

	1 очередь	2 очередь
Отметка НПУ	508,0	511
Отметка ГМО	490,0	490
Полный объём, млн. м ³	662	900
Полезный объём, млн. м ³	638	876
Мертвый объём, млн. м ³	24	24
Площадь зеркала, км ²	65	78,6
Максимальная глубина, м:		
-в центральной части	35	38
-у плотины	25	28
Средняя глубина, м	10	13
Максимальная длина, км:		
-восточной части	15	17
-западной части	13	1
Максимальная ширина, км	7	8

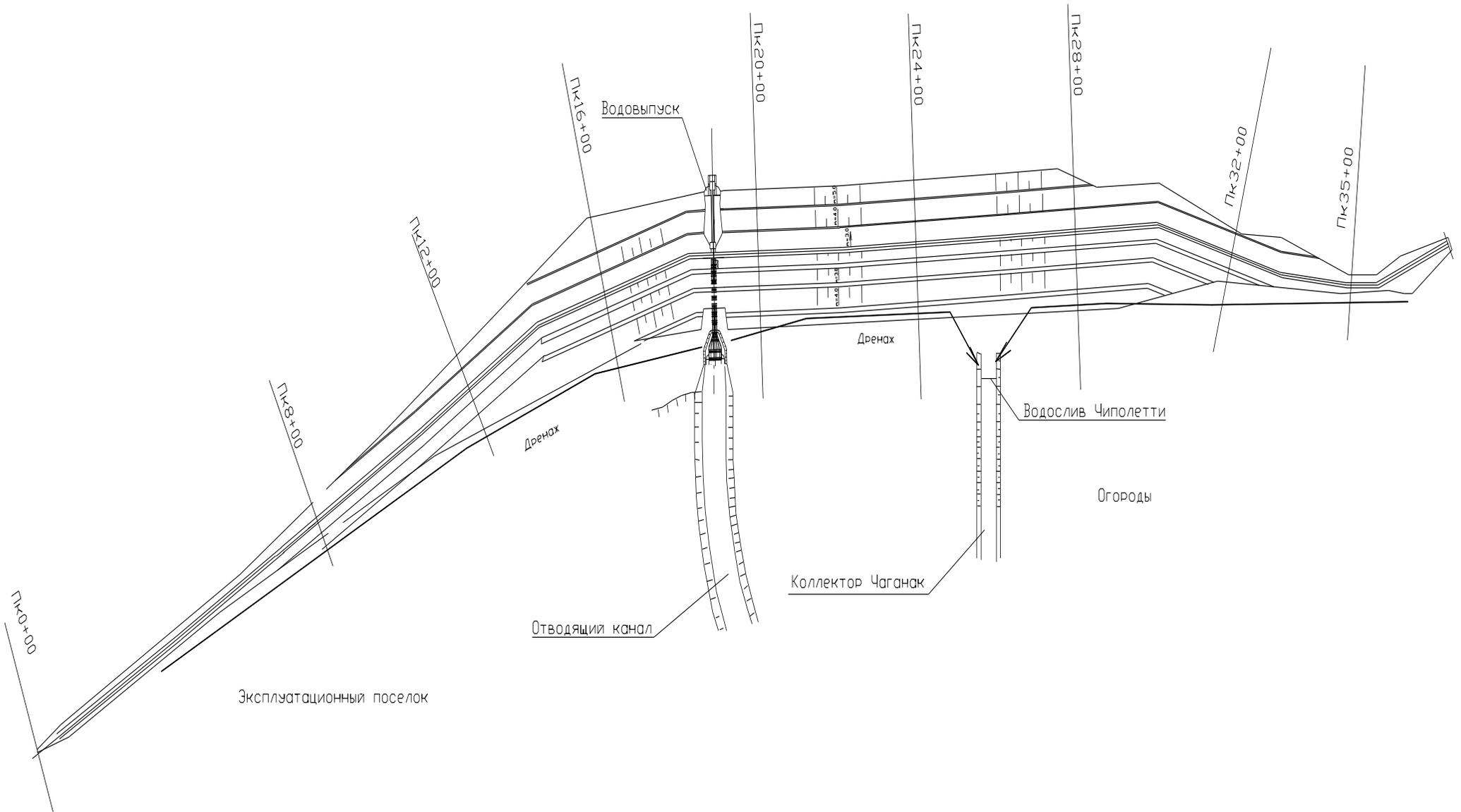
Каттакурганское водохранилище

Местоположение. Каттакурганский туман 5 км южнее г. Каттакурган

Наименование водотока. котловина Шур-Сай и Узун-Кудуксай, источник р.Зарафшан по подводящему каналу

Класс сооружений.	II
Сейсмичность района.	7 баллов
Годы строительства.	1940-1942 гг. 1946-1952 гг.
Год в ввода в эксплуатацию. . .	08.07.1953 г.
Ген проектировщик.	трест «Сазводпроиз» в дальнейшем институт «Средазгипроводхлопок»
Ген подрядчик.	трест «Самаркандводстрой»
Эксплуатирующая организация.	Зарафшанское БУ ирригационных систем
Вид охраны.	милицейский, 4поста
Линии связи.	телефонная и радио связь с водохозяйственными организациями вилоята
Водохранилища:	
тип.	наливное
полный объем.	900 млн.м ³
полезный объем.	876 млн.м ³
Плотина:	
тип.	земляная, насыпная, однородная
материал.	лессовидный суглинок
высота максимальная.	31,2 м
длина по гребню.	4040 м
объем тела.	6947 тыс.м ³
грунты основания.	супесь, суглинок, песок, глина
дренаж.	закрытый трубчатый, ж/бетонный
Водовыпуск:	
тип.	галерейный, трубчатый, 3-х очковый с подводной камерой управления затворами
расчетный расход.	140 м ³ /с
затворы	плоские bхh=3х3,7м
Контрольно-измерительная аппаратура:	
пьезометры по проекту / факт. .	48 / 32 шт.
геодезические знаки по проекту / факт	71 / 53 шт.
водомерное устройство по проекту / факт. . .	4 / 3 шт.

Каттакурганское водохранилище
План плотины



Исследования заиления водохранилища до 1955 года не проводились. В 1955 году во время опорожнения водохранилища была выполнена мензуральная съёмка северо–восточной части водохранилища, прилегающей к концевому сооружению подводящего канала и водовыпуску. Толщина слоя заиления площади, охваченной съёмкой, определялись на пяти створах через 100 м и прорезами отложений до коренных пород. Створы, на которых закладывались шурфы, отстояли от концевого сооружения подводящего канала на расстояниях 500, 1000, 1500 и 2250 м. Объём отложений на всей длине 2250 м составил 1,419 млн. м³ за 14 лет эксплуатации. Между тем, по данным учета стока наносов в подводящем канале, в водохранилище их поступило 2,7 млн. м³.

Объём отложений на всей длине 2250 м составил 1,419 млн. м³ за 14 лет эксплуатации. Между тем, по данным учета стока наносов в подводящем канале, в водохранилище их поступило 2,7 млн. м³.

Наблюдения за режимом наносов реки Кашкадарьи на станции Нарпайской, близкой к месту забора воды в подводящий канал, характеризуют твердый сток этого притока Заравшана такими показателями: среднегодовой сток взвешенных наносов составляет 1958 тыс. тонн, а средняя годовая мутность - 1,3 кг/м³.

Ниже приведен фрикционный состав взвешенных наносов в таблице 2.4.5.

Таблица 2.4.5.

Фракционный состав взвешенных наносов, в %

Диаметр фракций, мм			
>0,25	0,25 – 0,05	0,05 – 0,01	< 0,01
0,70	13,5	10,4	75,4

За время эксплуатации с 1941 года по 1965 год (когда была промерена чаша водохранилища) по подводящему каналу при среднегодовом расходе взвешенных наносов 22 кг/сек и объёмном весе 0,85 т/м³, в водохранилище поступило 22 млн. м³ наносов. Кроме этого подводящего канала в

водохранилище вливается множество саев, приносящих значительное количество наносов.

Расходы донных наносов изучены слабо, наблюдения в течение 1-2 лет велись на станциях Самаркандская, Чунакотинская, Джорастынская, и продолжительностью четырёх лет, по станции Распределительная. По наблюдениям этих станций сток донных наносов по отношению к стоку взвешенных составляет 4-7 %.

Вопросы заиления были рассмотрены в проекте водохранилища 1940 г.

Подсчет твердого стока, поступающего в водохранилище, произведен для самых невыгодных условий.

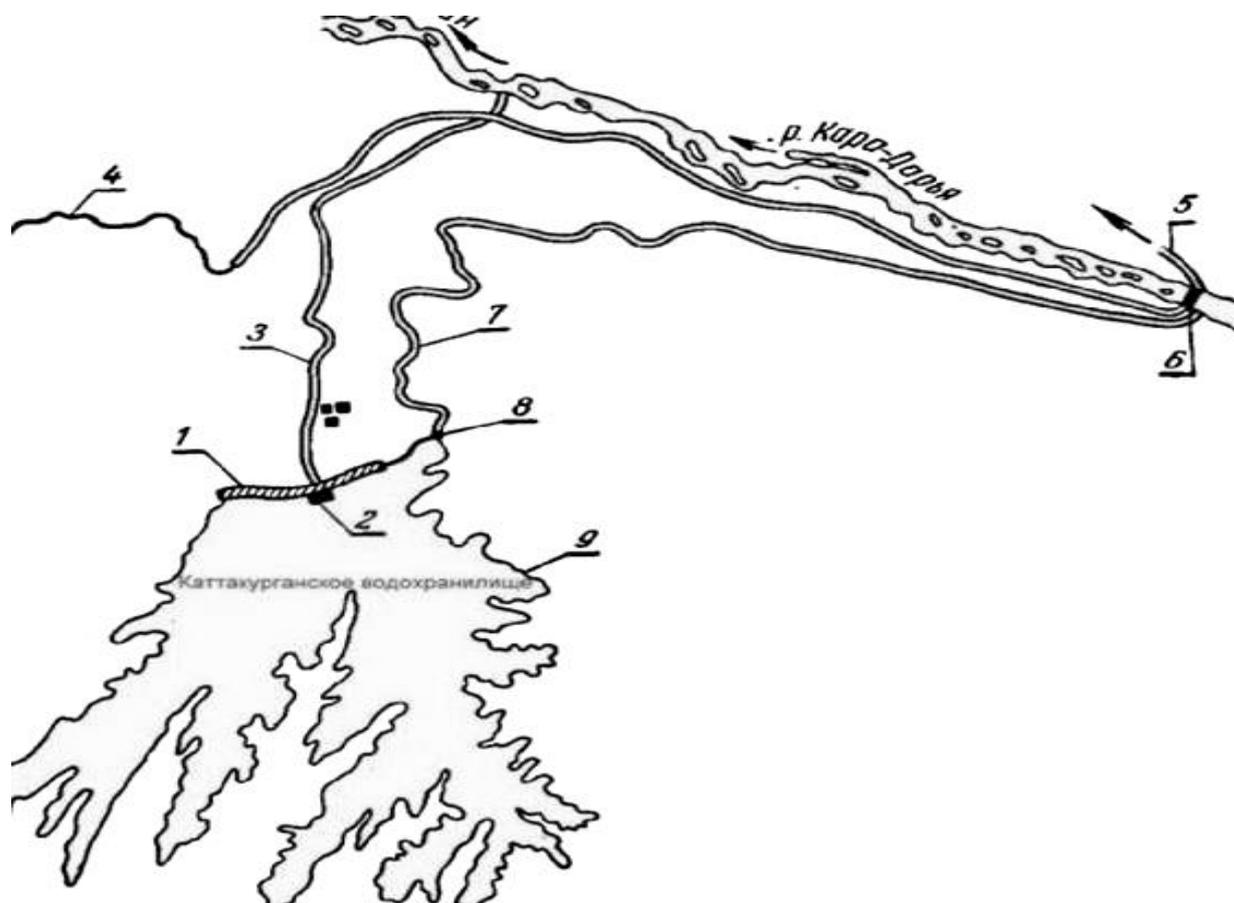


Рис. 2.4.7 План зеркал водной поверхности Каттакурганского водохранилища

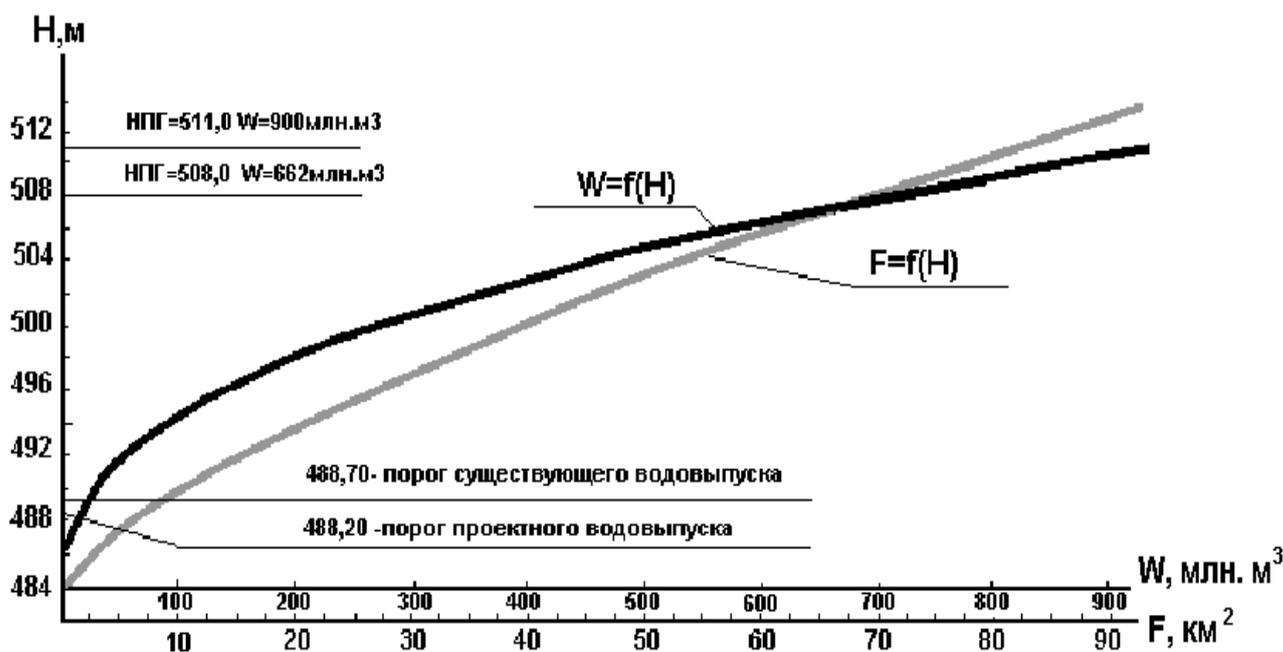


Рис. 2.4.8. Кривые зависимости площади зеркала и объёма водохранилища от уровней воды

За период эксплуатации, с целью определения заиления чаши водохранилища, неоднократно проводились батиметрические съёмки водохранилища. Обработка полевых материалов заключалась в построении планов и расчёте кривых зависимостей объёма водохранилища и площади водного зеркала от уровня воды. Съёмка, выполненная в 1999 году институтом «Самарканддавсувлойиха» показала, что за это время полный объём водохранилища сократился на 82,62 млн. м³. В заилении водоёма принимали участие, как сток взвешенных и влекомых наносов, так и отложения за счёт переформирования берегов.

Наиболее интенсивно заиление водохранилища происходило в первые годы эксплуатации. До 1965 г. объём заиления составлял 4,0-2,2 млн. м³ в год. Наименьшее заиление приходится на период с 1975 по 1986гг. (0,4-0,8 млн. м³ в год). С 1986 года интенсивность заиления водохранилища увеличилась: к 1991 году она в среднем составляла 1,14 млн. м³ в год, а к 1999 году-1,39 млн. м³ в год. Это вероятно, связано с многоводностью последних лет и повышенной мутностью р. Заравшан. Проектный прогноз заиления со скоростью 0,7 млн. м³ в год оказался верным только для периода 1975-1986 гг.

Таблица 2.4.6.

Данные по изменению объёмов в водохранилище

Отметки	Объёмы, млн. м ³		
	по проекту 1968 г.	по съёмке 1975г.	заиления
1	2	3	4
488,0	11	1,784	10,2016
489,0	20	5,736	14,264
ГМО=490,0	29	9,689	19,311
491,0	41	18,149	22,851
492	51	26,61	24,39
493	67,5	42,221	25,279
494	85	55,832	26,168
495	105	70,00	35,00
496	132	92,252	35,748
497	160	252	37,55
498	186,87	148,462	38,87
499	220	180,734	39,266
500	256,071	213,006	43,065
501	299	252,135	46,865
502	340	291,264	48,736
503	390	337,774	52,256
504	440	384,224	55,776
505	494,765	438,829	56,436
506	549,53	492,434	57,096
507	618,977	555,221	57,756
508	676,425	618,009	58,416
509	739,076	680,00	59,076
510	822	762,223	59,777
НПУ=511	900	840,00	60,0

По результатам батиметрических съёмок, проведённых в 2003 году, при НПУ=511 м общий объём 697,46 млн. м³ и площадь 84,5 км², при сравнении с проектными данными объём на 202,54 млн. м³ уменьшился, а площадь зеркала увеличилась на 4,5 км².

За период с 1941-2003 г. (за 63 года), водохранилище заилилось на 202,54 млн. м³, т.е. ежегодно в среднем на 3,21 млн. м³. При НПУ = 511 м общий объём 697,46 млн. м³, мёртвый объём (414,00) – 3,123 млн. м³ и полезный – 694,34 млн. м³ составляют:

1. наносы, приносимые рекой Заравшан - 170 млн. м³;
2. при размыве берегов – 15,54 млн. м³;
3. из-за селей -17 млн. м³.

Итого: 202,54 млн. м³.

На сегодняшний момент, 90% берегов размывто и 10% ещё находятся в процессе размыва. Мёртвый объём заилился на 87%, общий - на 22%, полезный – на 20%.

ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ЗАИЛЕНИЯ ИРРИГАЦИОННЫХ РУСЛОВЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

3.1. Стадии заиления русловых водохранилищ

Особенности заиления водохранилищ, работающих в ирригационном режиме отложения наносов, т.е. при переменном уровне воды в подпёртом бьефе.

Как говорилось в главе 1, ирригационные водохранилища сезонного регулирования, в основном имеют следующие 2 такта работы:

- накопление воды в водохранилище в вневегетационный период (сентябрь – март), начало и пик паводка (апрель – май);
- сработка воды на орошение в вегетационный период – спад паводка и конец вегетации (конец мая - август) (рис. 3.1.1).

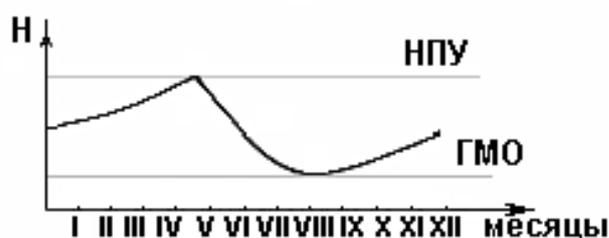


Рис. 3.1.1

Рассмотрим режим отложения наносов в водохранилище при накоплении в нем воды. По мере повышения уровня воды в водохранилище начало кривой выклинивания подпора начинает удаляться от створа плотины до момента достижения отметки уровня воды при НПУ.

Для простоты принимаем, что все наносы осаждаются в самом водохранилище без транзита в нижний бьеф (рис.3.1.2).

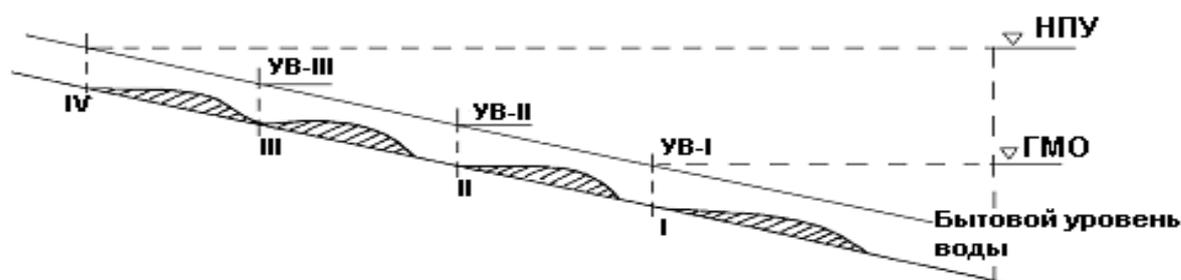


Рис. 3.1.2

Рассмотрим несколько характерных периодов, когда уровень воды равен УМО - (I), НПУ - (IV) и двум промежуточным уровням (II и III).

При уровне воды в водохранилище, равном УМО, все наносы оседают в мёртвом объёме. Во всех остальных случаях (II, III, IV) наносы откладываются в зоне полезного объёма.

Так как процесс наполнения водохранилища непрерывен и уровень в нем поднимается постепенно, характер отложения наносов по длине подпёртого бьефа будет более или менее равномерным, что подтверждается данными натурных наблюдений [9]. Это иллюстрируется поперечными профилями Урта-Токайского водохранилища с указанием слоя заиления за период с 1956 по 1966 годы (рис. 3.1.2). Такая же картина наблюдается и на других водохранилищах.

По мере снижения уровня воды (2 такт) створ выклинивания кривой подпора смещается вниз по течению. При этом на вышележащих участках уклон водной поверхности становится близким к бытовой величине, соответственно повышается и средняя скорость потока, начинается промыв отложений из этих участков вниз по течению.

Интенсивность промыва отложившихся наносов достаточно велика и поток промывает себе русло в отложениях практически до отметки своего естественного ложа.

Ширина промытого русла обычно бывает не более $(3\div 4)B_y$, где B_y - ширина устойчивого русла [3].

$$B_y = A \cdot \frac{Q^{0,5}}{i^{0,2}}$$

где Q – расход реки перед водохранилищем в период снижения уровня воды, т. е. ширина промываемого русла намного меньше ширины отложений.

В результате анализа многолетних наблюдений за заилением водохранилищ было выяснено, что заиление чаши водохранилища проходит 3 стадии:

1-я стадия – когда в водохранилище отлагаются все поступающие с водотоком наносы;

2-я стадия – когда в водохранилище отлагается часть приносимых водотоком наносов, а остальные наносы сбрасываются в нижний бьеф;

3-я стадия – практически бесконечная, когда объём приносимых потоком наносов равен объёму наносов, сбрасываемых в нижний бьеф, что происходит при снижении уровня воды в водохранилище до ГМО. Таким образом, ёмкости водохранилищ, работающих в ирригационном режиме (наполнение до НПУ и сработка до ГМО), никогда не достигнут нулевых значений.

Большинство русловых водохранилищ, расположенных на территории Республики Узбекистан, находятся в 1-ой стадии заиления, некоторые – во 2-ой стадии (в их числе Южно-Сурханское) и только одно – в 3-ей стадии заиления (Тюямуюнское Русловое).

По данным натурных наблюдений примерно третья часть от всего объёма попадает в мёртвый объём, а остальные две трети отлагаются в полезной ёмкости водохранилища.

Анализ данных заиления всех крупных (ёмкостью более 50 млн. м³) (таблица 3.1.1.) русловых водохранилищ Республики Узбекистан показал, что соотношение объёма отложений в мёртвом объёме к общему объёму отложений в водохранилищах к концу первой стадии заиления можно описать уравнением:

$$\frac{W_{3.м}}{W_{3.0}} = 0,17 + 0,13 \frac{W_{3.м}}{W_{м}} \quad (3.1-1)$$

где $W_{3.м}$ - объём отложений в мёртвом объёме;

$W_{3.0}$ - общий объём отложений;

$W_{м}$ - мёртвый объём.

Принимаем $K_2 = \frac{W_{3..M}}{W_{3..O}}$, - коэффициент, учитывающий отношение объёма

заиления мёртвой ёмкости к общему объёму заиления.

На рис. 3.1.3 показана зависимость $K_2 = f\left(\frac{W_{3..M}}{W_M}\right)$.

Зависимость (3.1-1) неудобна в расчётах, так как величина $W_{3..M}$ находится в обеих сторонах уравнения. Поэтому это уравнение представим в виде:

$$\frac{W_{3..M}}{W_{3..O}} - 0,13 \frac{W_{3..M}}{W_M} = 0,17, \quad \text{откуда} \quad W_{3..M} \cdot \left(\frac{1}{W_{3..O}} - \frac{0,13}{W_M} \right) = 0,17$$

и, преобразуя, получим:

$$\frac{W_{\xi i}}{W_i} = \frac{0,17}{1 - 0,13 \frac{W_{\xi i}}{W_i}} \quad (3.1-2)$$

обозначая $\frac{W_{3..O}}{W_M} = n$, $\frac{W_{\xi i}}{W_i} = \frac{0,17}{1 - 0,13 \cdot n}$ получаем

$$K_2 = \frac{0,17}{1 - 0,13 \cdot n} \quad (3.1-3)$$

Первая стадия заиления заканчивается, когда мёртвый объём заилится полностью, и наносы начинают поступать в нижний бьеф. Этому случаю соответствует $W_{3..M} = W_M$.

Подставляя в (3.1-2), получим

$$n = 3,33$$

Отсюда:

$$\hat{E}_2 = \frac{0,17}{1 - 0,13 \cdot n} = \frac{0,17}{1 - 0,13 \cdot 3,33} = 0,3$$

Во 2-й стадии заиления водохранилищ предполагается, что мёртвый объём заилен полностью, а часть наносов выносится в нижний бьеф. Во время натурных исследований объём выносимых в нижний бьеф наносов не измеряют, поэтому их количество приходится определять косвенным путём. Для этого мы экстраполируем уравнение (3.2.-1), принимая $W_{з.м.} = W_{м.} + W_{н.б.}$

Если считать, что во второй стадии заиления закономерность заиления сохраняется, то

$$K_2 = \frac{W_{нб} + W_{м.}}{W_{зо}} = 0,17 + \frac{(W_{нб} + W_{м.})}{W_{м.}} \cdot 0,13$$

Отсюда находим

$$\frac{W_{ia} + W_i}{W_{ci}} = \frac{0,17 \cdot W_i + 0,13 \cdot W_{ia} + 0,13 \cdot W_i}{W_i}$$

после преобразования и замены $\frac{W_{зо}}{W_{м.}} = n$, получаем:

$$\frac{W_{нб}}{W_{м.}} = \frac{0,3 \cdot n - 1}{1 - 0,13 \cdot n} \quad (3.1-4)$$

Полученные расчётные зависимости позволяют производить полный расчёт заиления ирригационных водохранилищ по этапам.

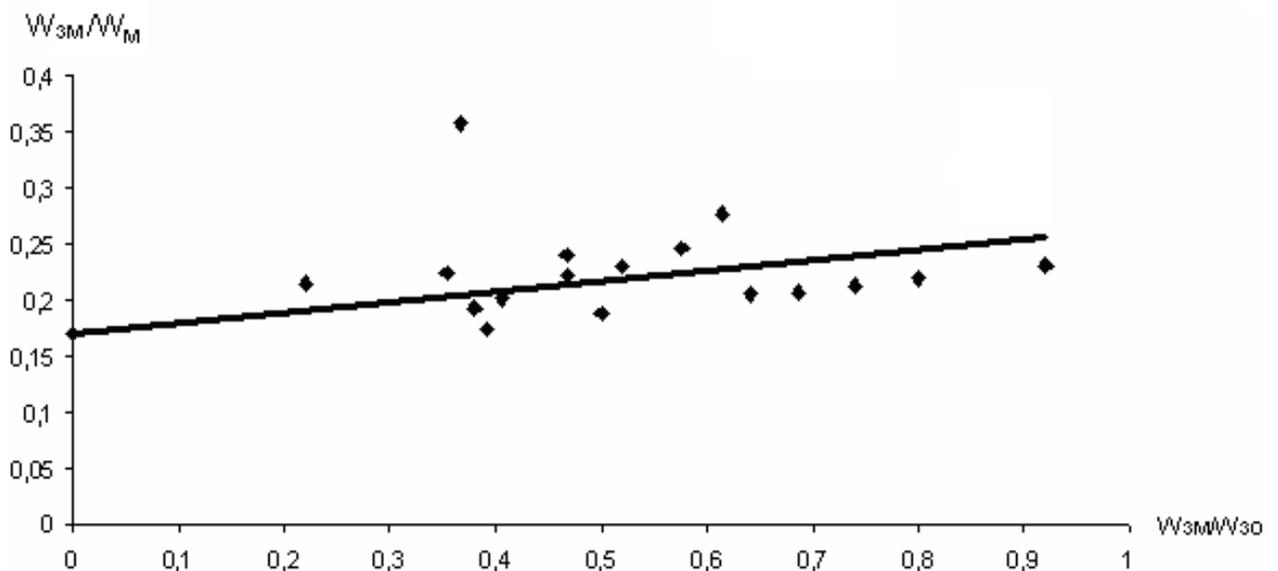


Рис. 3.1.3. График зависимости $K_2 = F(W_{3M}/W_M)$

Таблица 3.1.1.

ДАННЫЕ О ЗАИЛЕНИИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Наименование водохранилищ	Источник питания	Год вступ в экспл	НПУ, м	ГМО, м	Полная емкость W_0 , млн м ³	Мёрт-вый объём W_m , млн м ³	Период наблюдения	t лет	Общий объём заиления $W_{з.о}$ млн м ³	Годовое заиления общего объёма $R_{г.ф}$ млн м ³ /г.	Годовое заиление по проекту $R_{г.пр}$ млн м ³ /г.	$K_1 = \frac{R_{г.ф}}{R_{г.пр}}$	Заиление мертвого объёма $W_{з.м}$, млн м ³	$K_2 = \frac{W_{з.м}}{W_{з.о}}$	$\frac{W_{з.м}}{W_m}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Южно-Сурханское	Сурхандарья, русловое	1962	415,0	399	800	96	1962-70	9	98,41	10,93	6,8	1,61	35,2	0,358	0,367	
							1962-75	14	152	10,86		1,60	34,0	0,224	0,354	
							1962-79	18	194	10,78		1,59	39	0,201	0,406	
							1962-86*	24	213	8,88		1,31	59	0,277	0,614	
							1962-96	35	267	7,34						
						1962-2002	41	297	7,24				68,75	0,231	0,716	
Чимкурганское	Кашкардарья, русловое	1960	488,20	471,0	500	50	1960-71	11	51,1	4,64	1,2	3,87	11	0,215	0,22	
							1960-73	13	54,0	4,15		3,46				
							1960-2000	40	98,59	2,46		2,05	19,08	0,193	0,38	
Кайраккумское	Сыр-Дарья, русловое	1956	347,5	342,5	4160	2140	1956-69	13	413	31,77	19	1,67	100	0,24	0,467	
Тюямуюнское	Амударья, русловое	1980	130,0	120,0	2340	250	1980-87	7	528	75,43	47,5	1,59	117	0,222	0,468	
							1980-88	8	559	69,88		1,47	144	0,246	0,576	
							1980-89	9	565	62,78		1,32	130	0,23	0,52	
							1980-90**	10	559	55,90		1,18	98**	0,175	0,392	
							1980-91	11	664	60,36		1,27	125	0,188	0,50	
						1980-92	12	782	65,17		1,37	160	0,205	0,64		

Продолжение табл. 3.1.1															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
							1980-93	13	867	66,69		1,40	185	0,213	0,74
							1980-95	15	913	60,87		1,28	200	0,219	0,80
							1980-96	16	994	61,87		1,30	230	0,231	0,92
Ташкент- ское	Ангрен русловое	1963	394,0	371,65	250,0	18,0	1963-84	21	46,2	2,2	1,24	1,96			
							1963-97	35	59,81	1,709	1,53	12,36	0,207	0,686	
Андижанское	Кара- дарьё	1983	906,0	846,5	1900	150	1985-03	21	255,2	12,15	6,8	1,79	55,03	0,216	0,367
Ахангаранск ое	Аханга ран	1972	1043,0	1010,0	200,16	9,4	1972-02	30	12,1	0,400	6,17	6,17	3,6	0,273	0,3
Хиссаракское	Акдарья	1985	1118	1040	170	10	1985-03	18	22,4	1,244			10	0,357	1,0
Пачкамарское	Гузар дарья	1967	676,0	636	260		1967-70	4	11	2,75	0,28	9,68		0,318	0,86
							1967-86	20	27	1,35		4,75			
							1967-96	30	53,55	1,78		6,44			

3.2 Вывод расчётной зависимости для определения твёрдого стока.

Твёрдый сток. Большинство рек вместе с водой переносят значительное количество наносов. Реки, относимые по рельефу водосборной площади к горным и равнинным, по своей длине разделяются на верхнюю, среднюю и нижнюю части. В реках зрелых, достигших равновесия, таких как Амударья и Сырдарья, в верхней части наблюдаются более или менее интенсивные размывы русла, в средней части – преимущественно перенос наносов и частично местные подмывы берегов, и в нижней – отложение наносов. В более молодых реках размывы русла и берегов и блуждание реки по пойме наблюдается на всём протяжении (например, реки Заравшан, Сурхан-Дарья, Чирчик, Карадарья, Нарын и др). В средних и нижних частях старых рек размывы русла менее значительны [9], [21], [24], [46].

В горных районах во время таяния ледников и снега, во время выпадения ливней происходят размывы крутых склонов, тальвегов, нередко обвалы выветрившихся и подмытых потоком горных пород. Наносы, передвигаясь с водой, постепенно истираются; характерно изменение размеров слагающих русло горных рек наносов: в верховьях – преимущественно крупные булыги, далее – крупная галька, ниже – мелкая галька и гравий, и в низовьях – пески и гравий.

Большую часть твёрдого стока составляют взвешенные наносы, количество донных наносов обычно значительно меньше, чем взвешенных, за исключением селевых потоков [10], [22], [37],[42].

При заполнении объёмов подпёртых бьефов и водохранилищ наносами, регулирующая способность их сокращается, что приводит к необходимости составления прогноза заиления.

По М.М. Гришину [16], верхние бьефы гидроузлов подразделяются на подпёртые бьефы и водохранилища. Разделение основано на различном уровненом режиме при эксплуатации: в подпёртых бьефах уровень воды

поддерживают примерно на одной отметке в пределах от НПУ до ФПУ, в водохранилищах его для перерегулирования расходов во времени изменяют в значительном диапазоне – от УМО до НПУ.

Данные о заилении всех водохранилищ, расположенных на территории Республики Узбекистан, имеющих в нашем распоряжении, приведены в таблице 3.2.1.

Находим значение

$$\alpha = R_{\Gamma} \cdot t \cdot \frac{2}{W_H + W_K} \quad (3.2 - 1)$$

W_H - ёмкость водохранилища в начале расчётного периода, млн. м³;

W_K - ёмкость водохранилища в конце расчётного периода, млн. м³;

R_{Γ} - объём твёрдого стока в верхнем бьефе водохранилища за расчётный период, млн. м³/год;

t - продолжительность периода, в годах.

Все эти данные были нанесены на логарифмическую сетку $\alpha = f(\text{НПУ})$. Оказалось, что все точки лежат на кривой (или вблизи неё),

$$\alpha = \left(\frac{H_H}{\text{НПУ}'} - 1 \right) \cdot 0.004 \quad (3.2 - 2)$$

где $\text{НПУ}'$ - относительный нормальный подпёртый уровень – (абсолютная отметка НПУ относительно уровня моря);

$H_H=1600$ м- высота, выше которой объём наносов стремится к нулю.

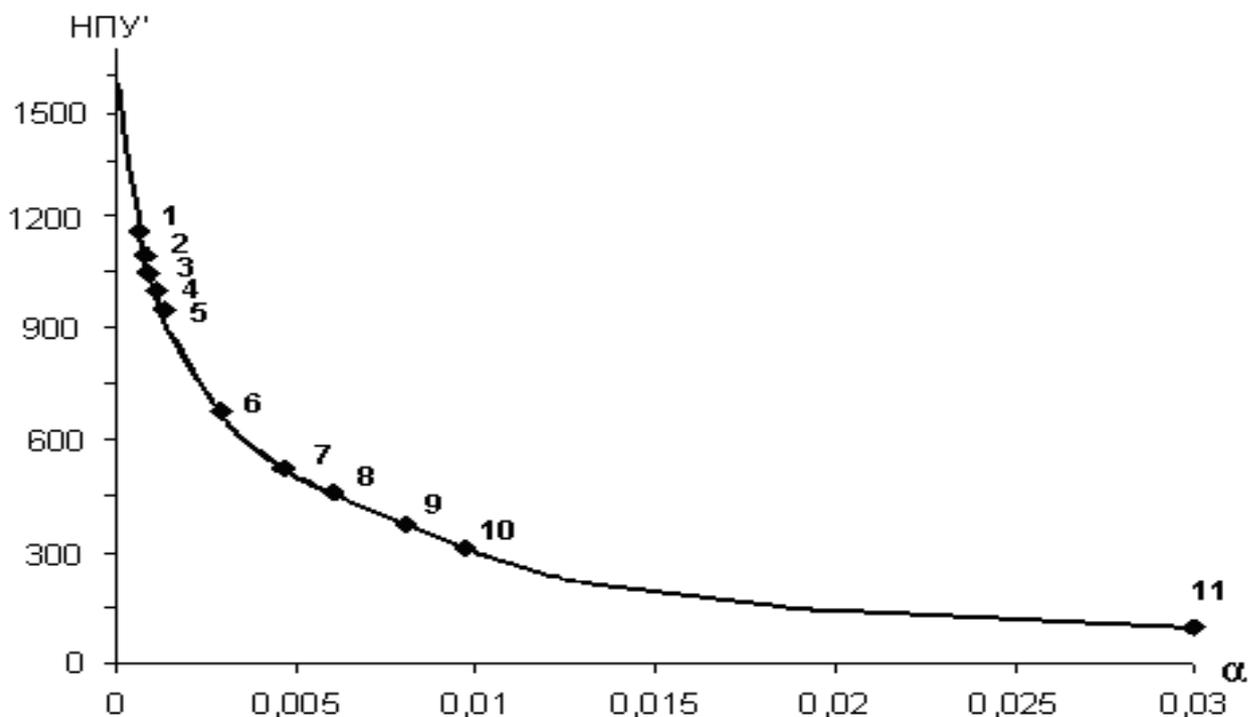
Расчеты, выполненные по зависимости (3.2 – 2) показали хорошую сходимость с натурными данными, что важно при расчётах заиления русловых водохранилищ.

Динамика заиления крупных русловых водохранилищ

Таблица 3.2.1

№	Водохранилище	НПУ	Общий объем $W_{об}$, млн.м ³	Период наблюдения	$W_{зо}$, млн.м ³	T , лет	R_g , млн.м ³ /г.	$W_{зо}/W_{об} * 100\%$	$W_{зо}/W_{об} * 100\%$ среднее	W_K , млн.м ³	W_H , млн.м ³	$W_K + W_H 2$	α	$\alpha_{ср}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Ахангаранское	1070,5	200	1972-2000	12,1	28	0,432	0,216	0,216	187,9	200	193,9	0,00223	0,00223
2	Пачкамарское	676	260	1967-70	11	4	2,75	1,06	0,75	249	260	254,5	0,01085	0,00788
				1967-86	27	20	1,35	0,519		233	260	246,5	0,00547	
				1967-96	53,55	30	1,71	0,658		2065	260	133,2	0,0733	
3	Кайраккумское	347,5	4160	1956-58	97	3	32,33	0,777	0,682	4063	4160	4112	0,00786	0,007114
				1956-60	143	5	28,6	0,688		4017	4160	4088	0,007	
				1956-66	221	11	20,6	0,495		3939	4160	4050	0,00508	
				1956-69	413	13	31,76	0,763		3747	4160	3952	0,00803	
				1956-75	560	19	29,47	0,708		3600	4160	3880	0,0076	
4.	Чимкурганское	488,2	500	1962-71	51,1	9	5,68	1,136	0,879	449	500	474,5	0,012	0,0098
				1962-73	54	11	4,91	0,982		446	500	473	0,0104	
				1962-2000	98,59	38	2,59	0,518		401,6	500	451	0,00574	
5.	Южно-Сурханское	415	800	1962-71	98,4	9	10,93	1,366	1,34	701,6	800	751	0,01455	0,01205
				1971-75	53,6	5	10,71	1,339		648	701,6	675	0,01587	
				1976-79	42	4	10,5	1,3125		602	648	625	0,0169	
				1980-89	41	10	4,1	0,5125		561	602	582	0,00706	
				1990-96	32	7	4,57	0,571		529	561	545	0,00834	
				1997-2002	30	6	5	0,625		500	529	514	0,00973	
6.	Ташкентское	394	250	1963-85	46	23	2	0,8	0,75	204	250	227	0,00881	0,0084
				1963-97	59,81	34	1,759	0,7		180	250	220	0,008	
7.	Кассансайское	1128,5	165	1943-53	0,989	10	0,099	0,06	0,091	163	165	164	0,000603	0,00092
				1943-60	2,43	17	0,143	0,0876		162,6	165	164	0,000872	
				1943-65	3,486	22	0,158	0,0958		161	165	163	0,000969	
				1943-69	5,6	28	0,2	0,1212		160	165	162	0,001233	

8.	Русловое ТМГУ	130	2430	1980-85	585	5	117	4,815	2,988	1845	2430	2137	0,0547	0,0341
				1980-86	450	6	75	3,086		1980	2430	2205	0,034	
				1980-87	528	7	75,4	3,103		1902	2430	2166	0,0348	
				1980-88	585	8	73,1	3,008		1945	2430	2138	0,0342	
				1980-89	565	9	62,8	2,58		1865	2430	2147	0,0292	
				1980-90	559	10	55,9	2,3		1871	2430	2150	0,026	
				1980-91	664	11	60,4	2,633		1766	2430	2095	0,0288	
				1980-92	781	12	65,1	2,679		1649	2430	2040	0,0319	
				1980-93	867	13	66,2	2,72		1563	2430	1996	0,0333	
9.	Андижанское	905	1900	1983-03	255	21	12,14	0,639	0,639	1645	1900	1772	0,00635	0,00635
10.	Тупаланское	960	500	1985-03	16,63	19	0,875	0,175	0,175	483,34	500	491,7	0,00178	0,00178
11.	Хиссаракское	1118	147,6	1986-03	22,4	18	1,244	0,843	0,843	147,6	170	158,8	0,0078	0,0078



- 1- Кассансайское водохранилище (НПУ=1128,5 м);
- 2- Гиссаракское водохранилище (НПУ=1118 м);
- 3- Ахангаранское водохранилище (НПУ=1070,5 м);
- 4- Тупаланское водохранилище (НПУ=960,0 м);
- 5- Андижанское водохранилище (НПУ=905,0 м);
- 6- Пачкамарское водохранилище (НПУ=676,0 м);
- 7- Чимкурганское водохранилище (НПУ=488,2 м);
- 8- Южносурханское водохранилище (НПУ=415,0 м);
- 9- Ташкентское водохранилище (НПУ=394,0 м);
- 10- Кайраккумское водохранилище (НПУ=347,5 м);
- 11- Русловое ТМГУ (НПУ=130,0 м).

Рис. 3.2.1. график зависимости $\alpha = f(\text{НПУ}')^i$

Из этого графика видно, что коэффициент приведённой мутности водотока α и связанный с ним годовой твёрдый сток реки, отлагаемый в верхнем бьефе руслового водохранилища, напрямую зависят от географического расположения объекта: чем ниже расположено водохранилище, тем больше величины коэффициента приведённой мутности и годового твёрдого стока, и чем выше отметка его расположения - тем

меньше. При отметке выше 1600 м величины коэффициента приведённой мутности и годовой твёрдый сток, стремятся к нулю.

3.3. Порядок расчёта твёрдого стока реки

Расчёт проводим в следующем порядке:

1. Зная НПУ, определяется приведённая мутность потока α по зависимости (3.2- 2)

$$\alpha = \left(\frac{H_H}{H_{НПУ}^I} - 1 \right) \cdot 0.004$$

2. Зная ёмкость водохранилища, определяется твёрдый сток реки в первый год эксплуатации

$$R_{\Gamma} = \frac{\alpha \cdot W_O}{\Delta t}$$

где $\Delta t = 1$ год.

3. Задаваясь длительностью периода t (в годах), вычисляем объём водохранилища к концу 1-й стадии

$$W_{O_p} = W_O - R_A \cdot t$$

4. Определяется общий твёрдый сток реки за период t

$$R_{\Gamma} \cdot t = W_{cp} \cdot \alpha \quad \text{где} \quad W_{cp} = \frac{W_H + W_K}{2}$$

тогда

$$R_{\Gamma_{cp}} = \alpha \cdot W_{cp} \cdot \frac{1}{t}$$

5. Определяется ёмкость водохранилища, остающаяся к концу 2-ой стадии

$$W_K = W_H - R_{\Gamma} \cdot t$$

6. Полученная зависимость в виде

$$R_{\Gamma} = \alpha \cdot \frac{W_H + W_K}{2} \cdot \frac{1}{t}$$

рекомендуется только для русловых водохранилищ, расположенных на территории Средней Азии. Для других территорий эту зависимость следует уточнить.

Например: для Южно-Сурханского водохранилища, имеющего НПУ=415,0, ёмкостью 800 млн. м³, в первый год эксплуатации (1962 г.)

$$\alpha = \left(\frac{H_H}{HПУ^I} - 1 \right) \cdot 0,004 = 0,0154 - 0,004 = 0,0114$$

$$R_{\Gamma} = 800 \cdot 10^6 \cdot 0,0114 = 9,12 \text{ млн. м}^3/\text{год.}$$

В конце 2003 года ёмкость водохранилища $W_K = 503 \text{ млн. м}^3$.

Средняя величина ёмкости

$$W_{cp} = \frac{800 + 503}{2} = 651 \text{ млн. м}^3$$

$$R_{\Gamma cp} = 651 \cdot 0,0114 = 7,42 \text{ млн. м}^3/\text{год}$$

За 41 год эксплуатации в водохранилище откладывается

$$W_{з.о} = 41 \cdot 7,42 \cdot 10^6 = 304 \text{ млн. м}^3 \text{ наносов.}$$

Фактически в водохранилище за указанный срок отложилось

$$W_{з.о} = 800 \cdot 10^6 - 503 \cdot 10^6 = 297 \text{ млн. м}^3 \text{ наносов.}$$

3.4. Определение коэффициента корреляции

Степень взаимного влияния, или взаимосвязи, двух случайных величин можно выразить особым безразмерным числом, называемым *коэффициентом корреляции*.

Чтобы подойти к математическому выражению этого коэффициента, представим себе ряд значений величин x и y , измеренных в определённые моменты времени,

$$x_1 \quad y_1$$

$$\begin{array}{cc}
 x_2 & y_2 \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 x_k & y_k \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 x_n & y_n
 \end{array}$$

Число членов ряда предполагаем достаточно большим, чтобы вычисленные по ним средние значения обладали большой точностью; вычтем из каждого значения обоих рядов соответственное среднее значение и образуем два ряда приращений

$$\begin{array}{cc}
 x'_1 & y'_1 \\
 x'_2 & y'_2 \\
 \dots & \dots \\
 x'_n & y'_n
 \end{array}$$

Среднее значение их произведений $\overline{x'y'}$ носит название *момента корреляции*.

Очевидно, что в случае, когда чаще наблюдаются одинаковые знаки этих отклонений, то и среднее значение произведения $\overline{x'y'}$, составленное из их суммы, будет по абсолютной величине сравнительно велико. В случае же когда положительным отклонениям x одинаково часто соответствуют и положительные и отрицательные отклонения y , это произведение по абсолютной величине будет мало.

Оказалось весьма удобным и плодотворным для получения безразмерного коэффициента делить момент корреляции на произведение средних квадратичных отклонений обеих величин. Полученное частное и называется коэффициентом корреляции

$$r_{xy} = \frac{\overline{x'y'}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (3.4-1)$$

Определим границы изменения этого коэффициента. Для этого возьмём среднее значение квадрата величины

$$\frac{x'}{\sigma_x} \pm \frac{y'}{\sigma_y}$$

Раскрываем

$$\overline{\left(\frac{x'}{\sigma_x} \pm \frac{y'}{\sigma_y}\right)^2} = 1 \pm 2 \frac{\overline{x'y'}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} + 1 = 1 \pm 2 \cdot r + 1.$$

А так как левая часть равенства положительна, то имеем $\pm 2 \cdot r + 2 \geq 0$, отсюда следует $0 \leq r \leq 1$.

Но мы уже знаем, что при полной независимости между x и y момент корреляции, а следовательно, и коэффициент корреляции равны нулю; значит имеем два крайних значения $r = \pm 1$, соответствующие наличию функциональной зависимости между этими величинами.

Все промежуточные значения коэффициента корреляции между -1 и $+1$ характеризуют *меру тесноты связи* между двумя случайными величинами. Но необходимо подчеркнуть условность в построении дроби в зависимости (3.4-1), числитель и знаменатель которой отвечают различным и, по существу, мало связанным друг с другом характеристикам двух рядов: числитель характеризует степень согласованности между собой изменения обеих величин, знаменатель же выражает степень разбросанности значений, или дисперсию каждой из величин в отдельности.

Вероятная ошибка коэффициента корреляции равна

$$\varepsilon_r = \pm 0,67 \cdot \frac{1-r^2}{\sqrt{n}},$$

где n – число пар значений x и y .

Коэффициент корреляции

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot (y_i - \bar{y})^2}}$$

где r_{xy} - коэффициент корреляции;

x_i, y_i - случайные параметры;

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} ; \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

n - число переменных величин.

№	НПУ=x	$\alpha_{\bar{n}\delta} = \delta$	$ x_i - x $	$(x_i - x)^2$	$ y_i - y $	$(y_i - y)^2$	$\Sigma(\cdot)(\cdot)$
1	1128,5	0,00092	434,62	188894,54	0,008	0,000064	3,48
2	1118,0	0,0078	424,12	179877,77	0,0011	0,0000012	0,466
3	1070,5	0,00223	376,62	141842,62	0,0066	0,0000435	2,486
4	960,0	0,00178	266,12	70819,854	0,00717	0,0000514	1,91
5	905,0	0,00635	211,12	44571,654	0,0026	0,0000067	0,55
6	676,0	0,00788	-17,88	319,6944	0,00107	0,0000011	0,019
7	488,2	0,00980	-205,68	42304,262	0,00085	0,0000007	0,175
8	415,0	0,01205	-278,88	77774,054	0,0031	0,00000096	0,86
9	394,0	0,00840	-299,88	89928,014	0,00055	0,0000003	0,165
10	347,5	0,007414	-346,38	119979,1	0,001836	0,0000033	0,636
11	130,0	0,0341	-563,88	317960,65	0,0251	0,00063	14,15
Σ	7632,7	0,09842	3425,16	1274272,1	0,057976	0,0008118	24,9

$$r_{xy} = \frac{24,9}{\sqrt{12742721 \cdot 0,0008118}} = \frac{24,9}{1128,84 \cdot 0,028} = 0,79$$

Глава IV. ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

4.1. Порядок расчёта заиления водохранилищ

Расчёт первой стадии заиления

1. Определяется безразмерный коэффициент α (при известных значениях H_n и НПУ водохранилища)

$$\alpha = \left(\frac{H_n}{\text{НПУ}^I} - 1 \right) \cdot 0.004$$

2. Назначается шаг расчётного периода Δt (обычно 1-2 года) и определяется

$$K_{2_i} = \alpha \cdot \left(1 - \frac{\alpha \cdot \Delta t}{2} \right)$$

где K_i коэффициент, зависящий от α и Δt .

3. Определяется ежегодный твёрдый сток в верхнем бьефе водохранилища

$$R_{\Gamma} = K_{2_i} \cdot W_0$$

4. Определяется объём заиления водохранилища для каждого шага рассматриваемого периода

$$W_{30_i} = R_{\Gamma_i} + R_{\Gamma_{i+1}}$$

$R_{\bar{A}_i}$ - годовой твёрдый сток в верхнем бьефе водохранилища в i -й год рассматриваемого периода;

$R_{\bar{A}_{i+1}}$ - годовой твёрдый сток - в $i+1$ год рассматриваемого периода.

5. Рассчитываем величину $n = \frac{W_{\zeta_i}^i}{W_i}$.

6. Рассчитываем правую сторону формулы

$$K_{2_i} = 0,17 + \frac{W_{\zeta_i}^i \cdot 0,13}{W_i} = \frac{0,17}{1 - 0,13 \cdot n}.$$

7. Объём заиления мёртвого объёма определяем как

$$W_{\zeta_i} = W_{\zeta_i} \cdot K_{2i}$$

Зная величину W_m , определяется время заилнения мёртвого объёма (конец I стадии заилнения водохранилища) $W_{zo} = \frac{W_m}{K_2}$ где $K_2=0,3$ и по графику $W_{zo} = f(t)$ определяется t_I - время, когда начинается вынос наносов в нижний бьеф.

Расчёт второй стадии заилнения водохранилищ

1. Определяется объём заилнения $W_{\zeta_i}^i$ в начале 2-ой стадии

$$W_{\zeta_i}^i = \frac{W_i}{K_2},$$

где $K_2=0,3$

2. Зная $n = \frac{W_{\zeta_i}^i}{W_i}$ (для начала 2-ой стадии $n = 3,33$), рассчитываем правую сторону равенства:

$$\frac{W_{ia}}{W_i} = \frac{0,3 \cdot n - 1}{1 - 0,13 \cdot n}$$

3. Затем определяем W_{ia_i} - объём наносов, сбрасываемый в нижний бьеф за каждый шаг i расчётного периода,

$$W_{ia} = W_i \cdot \frac{0,3 \cdot n - 1}{1 - 0,13 \cdot n}$$

4. Определяем объём наносов, сбрасываемый в нижний бьеф водохранилища за каждый шаг расчётного периода

$$W_{нб_\phi} = W_{нб_i} - W_{нб_{i+1}}$$

$W_{нб_\phi}$ - фактический объём наносов, выносимых в нижний бьеф,

$W_{\acute{a}_i}$ - объём наносов, выносимых в нижний бьеф за период i ,

$W_{\grave{n}b_{i-1}}$ - объём наносов, выносимых в нижний бьеф за период $i-1$.

5. Определяется оставшаяся ёмкость водохранилища в конце рассматриваемого периода

$$W_{Op} = W_O - W_{\acute{c}f_i}$$

и строится график $W = f(t)$.

6. Ежегодный приток наносов в верхнем бьефе водохранилища определяется по формуле

$$R_{\Gamma} = K_{2_i} \cdot W_{Op}$$

7. Объём заиления в конце рассматриваемого периода

$$W_{3O_i}^{\kappa} = R_{\Gamma} \cdot \Delta t - W_{\grave{n}b_{\phi}}$$

8. Суммарный объём отложившихся наносов в начале следующего расчётного периода

$$W_{3O_{i+1}}^{\eta} = W_{3O_i}^{\eta} + W_{3O_i}^{\kappa}$$

9. Вторая стадия заиления водохранилища заканчивается, когда $W_{Op} \leq 0$, т.е. когда объём приносимых в чашу водохранилища наносов сравнивается или станет меньше объёма выносимых в нижний бьеф наносов.

4.2. Примеры расчёта заиления водохранилищ

а) Южно - Сурханское водохранилище. Год ввода в эксплуатацию – 1962 год, полная ёмкость – 800 млн. м³, отметка НПУ – 415,0, мёртвый объём - 96 млн. м³, отметка УМО – 399,0.

Приведённую мутность в верхнем бьефе определяем по формуле (3.2-2):

$$\alpha = \left(\frac{H_H}{H_{ПУ}^I} - 1 \right) \cdot 0.004 = 0,0114$$

Расчёт ведём в табличной форме с шагом периода 2 года

$$K_{2_i} = \alpha \cdot \left(1 - \frac{\alpha \cdot t}{2}\right) = 0,0114 \cdot \left(1 - \frac{0,0114 \cdot 2}{2}\right) = 0,02254$$

Расчёт заиления водохранилища в I стадии, когда все наносы откладываются в водохранилище, представлен в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1.

Расчет 1 стадии заиления Южно-Сурханского водохранилища

t лет	W_0 , млн. м ³	$R_i = K_i \cdot W_0$	$W_{3.0}$, млн. м ³	$n = \frac{W_{3.0}}{W_m}$	$0,13 \cdot n$	$1 - 0,13 \cdot n$	$K_2 = \frac{W_{3M}}{W_{3.0}}$	$W_{3M} =$ $W_{3.0} \cdot K_2$, млн. м ³
0	800	18,03	18,03	0,188	0,0244	0,9756	0,174	3,1
2	781,97	17,63	35,66	0,371	0,0482	0,9518	0,179	6,33
4	764,34	17,23	52,89	0,551	0,0716	0,9284	0,183	9,67
6	747,11	16,84	69,73	0,726	0,0944	0,9056	0,187	13,04
8	130,27	16,46	86,19	0,898	0,117	0,883	0,192	16,55
10	713,81	16,09	102,28	1,065	0,138	0,862	0,197	20,15
12	697,72	15,72	118,0	1,229	0,160	0,840	0,202	23,84
14	682,0	15,37	133,37	1,3892	0,180	0,82	0,207	27,61
16	666,63	15,03	148,4	1,546	0,261	0,799	0,212	31,48
18	651,6	14,62	162,02	1,698	0,221	0,779	0,218	35,54
20	636,98	14,36	177,38	1,848	0,240	0,760	0,223	39,56
22	622,62	14,03	191,41	1,994	0,259	0,741	0,229	43,83
24	608,59	13,72	206,13	2,137	0,278	0,722	0,235	48,20
26	594,87	13,41	218,54	2,28	0,296	0,704	0,241	52,67
28	581,46	13,01	231,55	2,41	0,313	0,687	0,247	57,19
30	568,45	12,81	244,36	2,54	0,330	0,670	0,253	61,82
32	555,64	12,52	256,88	2,676	0,348	0,652	0,261	67,05
34	543,12	12,24	269,12	2,803	0,364	0,636	0,267	71,86
36	530,88	11,97	281,09	2,927	0,380	0,620	0,274	77,8
38	518,91	11,70	292,79	3,050	0,397	0,603	0,282	82,57
40	507,21	11,43	304,32	3,170	0,412	0,588	0,291	88,56
42	495,68	11,17	315,49	3,286	0,427	0,573	0,297	93,70
43	490	10,92	320,41	3,33	0,433	0,567	0,30	96,00

Ежегодный объём притока наносов в водохранилище в начале эксплуатации равен $\frac{18,03}{2} = 9,015 \cdot 10^6$ м³/г., в конце I стадии - $\frac{10,92}{2} = 5,46 \cdot 10^6$ м³/г. (2 года – шаг расчётного периода).

$$K_2 = 0,17 + \frac{W_{зм} \cdot 0,13}{W_m} = \frac{0,17}{1 - 0,13 \cdot n}$$

Из таблицы 4.2.1 видно, что мёртвый объём водохранилища будет полностью заилен и начнётся вынос наносов в нижний бьеф через 43 года с начала эксплуатации, что соответствует 2005 году.

В таблице 4.2.2 приведён расчёт заиления водохранилища во II стадии (когда часть наносов оседает в водохранилище, а часть сносится в нижний бьеф).

$$W_{зо} = \frac{W_m}{K_2} = \frac{96}{0,3} = 320 \text{ млн. м}^3; \quad W_k = W_o - W_{ci} = 800 - 320 = 480 \text{ млн. м}^3;$$

$$t_I = 43 \text{ года}; \quad \Delta t = 2 \text{ года}; \quad K_2 = 0,02254.$$

Объём выносимых в нижний бьеф наносов (с начала эксплуатации)

$$W_{ia} = W_i \cdot \frac{0,3 \cdot n - 1}{1 - 0,13 \cdot n}$$

$$W_{ia\delta} = W_{ia i} - W_{ia i+1}$$

Ежегодный твёрдый сток в верхнем бьефе водохранилища за расчётный период:

$$R_{ГР} = \alpha \cdot W_{OH} \left(1 - \frac{\alpha \cdot \Delta t}{2} \right)$$

Таблица 4.2.2.

РАСЧЁТ ЗАИЛЕНИЯ ЮЖНО-СУРХАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ВО II СТАДИИ

$$W_{30}^0 = \frac{W_M}{K_2} = \frac{96}{0,3} = 320 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad t = 2 \text{ года}; \quad t_1 = 43 \text{ года}; \quad W_0 = W'_0 - W_{\text{от}}^0 = 800 - 320 = 480 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad \alpha = 0,0442; \quad K_2 = 0,02254;$$

$t+t_1$	W_{30} , МЛН. М ³	$n = \frac{W_{30}}{W_M}$	$0,3 \cdot n$	$0,3 \cdot n - 1$	$0,13 \cdot n$	$1 - 0,13 \cdot n$	$\frac{W_{\text{нб}}}{W_M}$	$W_{\text{нб}}$, МЛН. М ³	$W_{\text{нб}i} - W_{\text{нб}i-1}$, МЛН. М ³	$R_{\Gamma} = K_2 \cdot W_0$	$R_{\Gamma} \cdot \Delta t - W_{\text{нб}}$, МЛН. М ³	$W_{\text{оп}}$, МЛН. М ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
43	320	3,33	1,0	0	0,433	0,567	0	0	0	10,8	10,8	480
45	327,9	3,416	1,0247	0,0247	0,448	0,552	0,0546	5,24	5,24	10,58	5,34	467,9
47	333,1	3,471	1,0412	0,0412	0,451	0,549	0,075	7,20	1,96	10,52	6,82	460,08
49	339,82	3,5408	1,0622	0,0622	0,461	0,54	0,115	11,06	3,86	10,37	6,51	453,57
51	346,43	3,6086	1,0826	0,0826	0,469	0,531	0,1555	14,93	3,87	10,22	6,35	447,22
53	352,78	3,675	1,1024	0,1024	0,478	0,522	0,1962	18,83	3,90	10,08	6,13	441,08
55	358,92	3,739	1,1216	0,1216	0,486	0,514	0,2366	22,71	3,88	9,94	6,06	435,02
57	364,98	3,802	1,1406	0,1406	0,494	0,506	0,2779	26,68	3,97	9,80	5,83	429,19
59	370,81	3,863	1,1588	0,1588	0,502	0,498	0,3189	30,61	3,93	9,67	5,74	423,45
61	376,55	3,922	1,1767	0,1767	0,510	0,49	0,3606	34,62	4,01	9,54	5,53	417,92
63	382,08	3,979	1,1937	0,1937	0,517	0,483	0,4101	38,50	3,88	9,42	5,54	412,38
65	387,62	4,038	1,2113	0,2113	0,525	0,475	0,4448	42,70	4,20	9,30	5,10	407,28
67	392,72	4,091	1,2272	0,2272	0,532	0,468	0,4855	46,60	4,10	9,18	5,08	402,20
69	397,80	4,144	1,243	0,243	0,538	0,462	0,526	50,49	4,11	9,07	4,96	397,24
71	402,76	4,195	1,2586	0,2586	0,545	0,455	0,568	54,56	4,07	8,95	4,88	392,36
73	407,64	4,246	1,2739	0,2739	0,532	0,448	0,6114	58,69	4,22	8,84	4,62	387,76
75	412,24	4,294	1,2882	0,2882	0,558	0,442	0,652	62,60	3,91	8,74	4,83	382,93
77	417,07	4,344	1,3033	0,3033	0,565	0,435	0,697	66,93	4,33	8,63	4,30	378,63
79	421,37	4,389	1,3168	0,3168	0,571	0,429	0,738	70,89	3,96	8,53	4,57	374,06
81	425,99	4,4369	1,3311	0,3311	0,577	0,423	0,7827	75,14	4,25	8,43	4,18	369,88
83	430,12	4,4804	1,344	0,3441	0,582	0,418	0,8232	79,03	3,89	8,33	4,44	365,44

Продолжение табл. 4.2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
85	434,56	4,527	1,3580	0,3580	0,5855	0,411	0,8710	83,62	4,59	8,24	3,65	361,79
87	438,4	4,565	1,3694	0,3694	0,5935	0,4065	0,9087	87,23	3,61	8,15	4,54	357,25
89	442,75	4,612	1,3836	0,3836	0,60	0,400	0,959	92,06	4,83	8,05	3,22	354,03
91	445,97	4,646	1,3937	0,3937	0,604	0,396	0,994	95,44	3,38	7,98	3,91	350,12
93	449,88	4,686	1,4059	0,4059	0,6092	0,3908	1,0386	99,71	4,27	7,89	3,62	346,50
95	453,5	4,724	1,4172	0,4172	0,6141	0,386	1,081	103,76	4,05	7,81	3,76	342,74
97	457,26	4,7632	1,4290	0,4290	0,6192	0,3808	1,1266	108,15	4,39	7,73	3,34	339,4
99	460,6	4,80	1,439	0,439	0,624	0,376	1,1675	112,08	3,93	7,65	3,72	335,68
101	464,32	4,837	1,451	0,451	0,6288	0,3712	1,215	116,64	4,56	7,57	3,01	332,67
103	467,33	4,868	1,4604	0,4604	0,6328	0,3672	1,254	120,38	3,74	7,50	3,76	328,91
105	471,09	4,907	1,4722	0,4722	0,638	0,362	1,304	125,22	4,84	7,41	2,57	326,34
107	473,66	4,934	1,4802	0,4802	0,6414	0,3586	1,3391	128,55	3,33	7,36	4,03	322,31
109	477,69	4,976	1,4928	0,4928	0,647	0,353	1,396	134,02	5,47	7,26	1,79	320,52
111	479,48	4,995	1,4984	0,4984	0,649	0,351	1,420	136,31	2,29	7,22	4,93	315,59
113	484,91	5,046	1,5138	0,5138	0,656	0,344	1,493	143,4	7,09			

W_{O_H} - объём водохранилища в начале расчётного периода;

t - продолжительность расчётного периода, в годах;

Объём отложений наносов в водохранилище за расчётный период равен:

$$W_{з.о} = R_{\Gamma} \cdot t - W_{нб}$$

II стадия заиления закончится, когда объём наносов, отлагаемых в водохранилище, будет равен нулю.

По результатам расчётов в таблице 4.2.1. видно, что этот момент наступит через 111 лет эксплуатации (1962+111=2073 год) когда объём водохранилища сократится до $315 \cdot 10^6$ млн. м³.

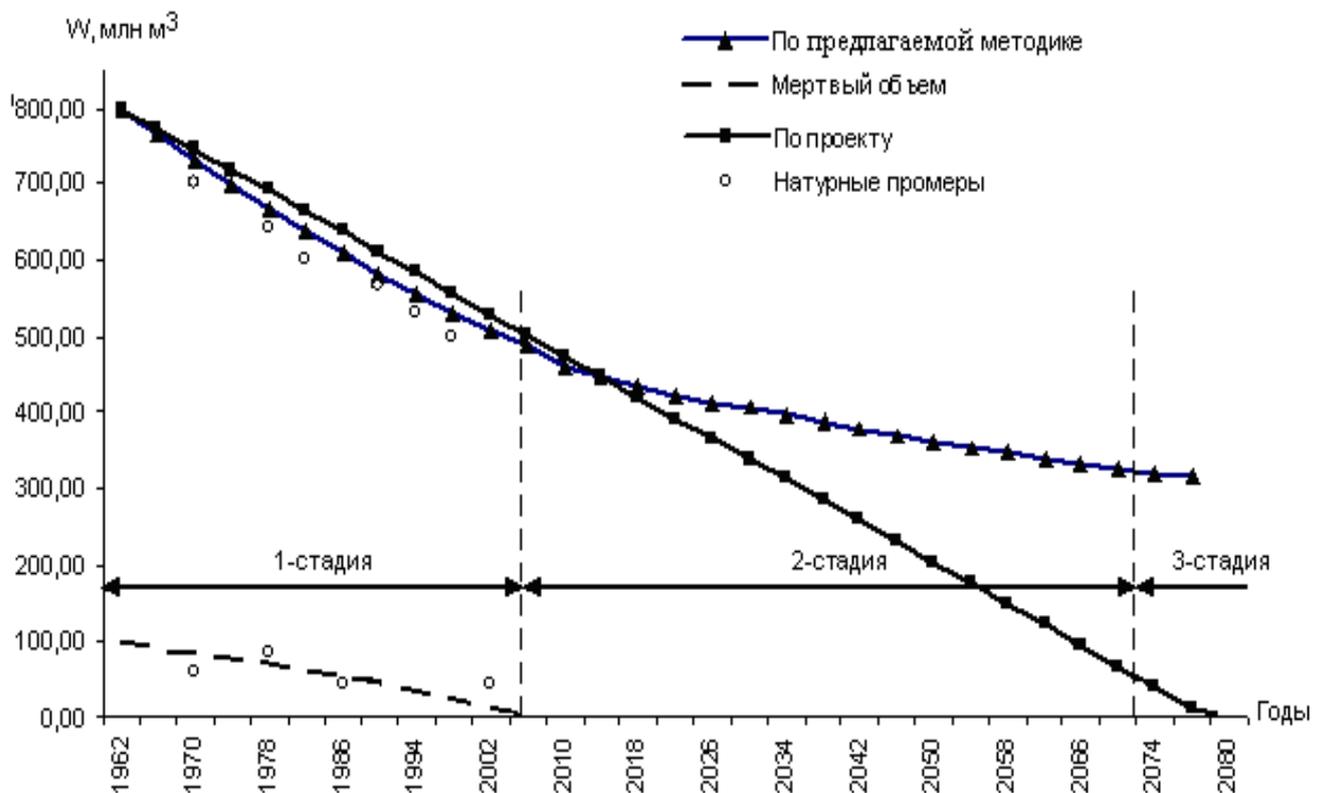


Рис. 4.2.1. Кривая зависимости объёмов Южно-Сурханского водохранилища от времени.

б) Пример расчёта заиления Тюямуюнского водохранилища

ТМГУ состоит из Руслового и 3-наливных водохранилищ: Капарас, Султансанджар и Кошбулак.

За двадцать с лишним лет эксплуатации гидроузла произошли серьезные изменения, связанные с полезной емкостью водохранилищ. Проектные показатели водохранилищ изменились: объем заиления Руслового водохранилища ТМГУ по состоянию на 2003 г. превышает 1050 млн. м³; Капарас используется для создания запасов качественной воды; Кошбулак потерял часть полезной емкости из-за оползневых явлений; дамба Султансанджарского водохранилища фильтрует и не позволяет накопить проектный объем воды в чаше.

В отношении мёртвого объёма и ГМО Руслового Тюямуюнского водохранилища нет конкретного указания. В «Ирригации Узбекистана» том III (стр. 243) сказано, что ёмкость проектируемого руслового Тюямуюнского водохранилища при НПУ=130,0м равен 2,34 млрд. м³ и полезный объём 2,07 млрд. м³ (т.е. мёртвый объём равен 270 млн. м³), причём сработка производится до отметки 119,0 – 120,0 метров. Сбросные отверстия гидроузла рассчитаны на пропуск паводка расходом 7500 м³/с, при отметке 120,0 м. Только исключительный по размерам паводок с расходом 12800 м³/с (0,01 процентной обеспеченности) пройдёт при отметке 130,0 м.

Из данных проекта невозможно установить ГМО. Фактически горизонт воды в водохранилище срабатывается до отметки 118,35 и ниже.

Нами рассмотрено несколько вариантов значений мёртвого объёма и его уровня:

1. ГМО =118,0 м, мёртвый объём 150 млн. м³;
2. ГМО =118,5 м, мёртвый объём 165 млн. м³;
3. ГМО = 119,0 м, мёртвый объём 200,0 млн. м³;
4. ГМО =120,3 м, мёртвый объём 270 млн. м³.

Расчёт заиления водохранилища производим по нижеприведенной методике.

Находим приведённую мутность для Руслового водохранилища:

$$\alpha = \left(\frac{H_H}{НПУ^I} - 1 \right) \cdot 0.004$$

где, α – приведенная мутность,

$НПУ^I = 130$ - относительная отметка НПУ.

Объём наносов, попадающих в водохранилище в первый год эксплуатации

$$R_T = \alpha \cdot W_0 = 0,0442 \cdot 2340 \cdot 10^6 = 103,4 \text{ млн. м}^3 / \text{год}$$

(Проектный ежегодный объём наносов по методике В.С. Лапшенкова-43,5 млн. м³/г.)

где: W_0 - начальная ёмкость водохранилища, млн. м³;

$R_{\bar{A}}$ - годовой объём наносов, отлагаемых в водохранилище, млн. м³/г.

Расчёт 1 этапа заиления Тюямуюнского водохранилища.

Исходные данные:

$W_0 = 2340$ млн. м³, $НПУ = 130,0$, $\Delta t = 1$ год

$$\alpha = 0,004 \cdot \left(\frac{1600}{НПУ^I} - 1 \right) = 0,004 \cdot 11,31 = 0,04923$$

$$K_2 = \alpha \cdot \left(1 - \alpha \cdot \frac{\Delta t}{2} \right) = 0,04923 \cdot 0,9754 = 0,048$$

Таблица 4.2.2.

t	W_0 , млн.м ³	$W_{3.O_i} = W_0 \cdot K_2$, млн.м ³	$W_{O_i} = W_0 - W_{3.O_i}$, млн.м ³	$W_{30} = W_0 - W_{O_i}$, млн.м ³
1	2340	112,36	2223	112,36
2	2228	106,94	2121	219,30
3	2121	101,81	2019	312,11
4	2019	96,91	1921	418,02
5	1919	92,11	1827	510,13
6	1827	87,7	1739	597,83
7	1739	83,47	1655	681,3
8	1655	79,44	1575	760,74
9	1575	75,6	1499	836,34
10	1499	71,95	1427	908,29

Продолжительность 1 этапа для различных вариантов ГМО

1 вариант

$$W_M = 150 \text{ млн. м}^3, W_{\text{гг}} = 3,333 \cdot W_0 = 3,333 \cdot 150 = 500 \text{ млн. м}^3, t_1 = 5 \text{ лет.}$$

2 вариант

$$W_M = 165 \text{ млн. м}^3, W_{\text{гг}} = 3,333 \cdot W_0 = 3,333 \cdot 165 = 550 \text{ млн. м}^3, t_1 = 6 \text{ лет.}$$

3 вариант

$$W_M = 270 \text{ млн. м}^3, W_{\text{гг}} = 3,333 \cdot W_0 = 3,333 \cdot 270 = 900 \text{ млн. м}^3, t_1 = 10 \text{ лет.}$$

4 вариант

$$W_M = 200 \text{ млн. м}^3, W_{\text{гг}} = 3,333 \cdot W_0 = 3,333 \cdot 200 = 666,7 \text{ млн. м}^3, t_1 = 7 \text{ лет.}$$

Тюямуюнское Русловое водохранилище, полная ёмкость $W_0 = 2340$ млн. м³. Ежегодное поступление наносов в водохранилище $R_2 = 47,5$ млн. м³ /год.

Начало эксплуатации 1980 г.

$$\text{Срок службы водохранилища } t = \frac{2340}{47,5} = 49,3 \approx 50 \text{ лет.}$$

$T=1980+50=2030$ год.

Фактическая остающаяся ёмкость:

В 1987 г.	$2340-528=1817$ млн. м ³ ,
1988 г.	$2340-559=1781$ млн. м ³ ,
1989 г.	$2340-565=1775$ млн. м ³ ,
1990 г.	$2340-664=1676$ млн. м ³ ,
1992 г.	$2340-782=1559$ млн. м ³ ,
1993 г.	$2340-867=1473$ млн. м ³ ,
1995 г.	$2340-913=1427$ млн. м ³ ,
1996 г.	$2340-954=1386$ млн. м ³ ,
1999 г.	$2340-1050=1290$ млн. м ³ ,
2000 г.	$2340-971=1369$ млн. м ³ ,
2001 г.	$2340-940=1400$ млн. м ³ .

Проектная ёмкость к 2010 году (т.е. через $T=2010-1980=30$ лет)

Поступление наносов к 2010 г:

$$W_{30}=30*47,5=1425 \text{ млн. м}^3$$

Остающаяся ёмкость:

$$W_{oi}=2340-1425=915 \text{ млн. м}^3$$

1997	$2340-898=1442$ млн. м ³
1998	$2340-1006=1334$ млн. м ³
1999	$2340-1050=1290$ млн. м ³
2000	$2340-971=1369$ млн. м ³
2001	$2340-940=1400$ млн. м ³

Из рис. 4.2.2. видно, что проектный уровень мёртвого объёма соответствует второму из рассмотренных вариантов, то есть отметке ГМО=118,5 м и мёртвому объёму, равному 165 млн. м³.

Результаты расчётов показывают, что I-я стадия заиления составила 7,5 лет (к 1988 году закончилась), а II-я стадия заиления, когда в нижний бьеф. выносятся часть наносов, продолжалась до 2005 года, после которого объёмы

приходящих и выносимых в нижний бьеф наносов стали равны. Остающаяся ёмкость в 1300 ± 100 млн. м³ будет неизменной до конца эксплуатации водохранилища.

Сопоставление фактической ёмкости Тюямуонского Руслового водохранилища с расчётными по годам (в млн. м³)

Год	T, с начала экспл.	W _{оф} фактическая ёмкость, млн. м ³	W _{опр} проектная ёмкость, млн. м ³	W _{ор} результаты расчётов по вариантам, млн. м ³			
				1	2	3	4
1980	0	2340	-	2228	2228	2228	2228
1981	1	2320	2253	2121	2121	2121	2121
1982	2	2290	2245	2019	2019	2019	2019
1983	3	2260	2197	1919	1919	1919	1919
1984	4	2040	2150	1827	1827	1827	1827
1985	5	1979	2102	1760	1739	1739	1739
1986	6	1890	2055	1734	1711	1655	1655
1987	7	1817	2008	1678	1678	1601	1601
1988	8	1781	1960	1653	1624	1573	1573
1989	9	1775	1917	1617	1588	1522	1522
1990	10	1781	1865	1578	1558	1498	1495
1991	11	1676	1917	1562	1523	1452	1425
1992	12	1559	1710	1519	1503	1425	1394
1993	13	1473	1723	1519	1465	1394	1370
1994	14	-	1675	1519	1462	1370	1347
1995	15	1427	1627	1519	1455	1347	1319
1996	16	1386	1580	1519	1445	1319	1302
1997	17	1442	1532	1519	1435	1302	1300
1998	18	1334	1485	1519	1425	1302	1290
1999	19	1290	1437	1519	1415	1302	1283
2000	20	1369	1390	1519	1410	1302	1275
2001	21	1400	1337	1519	1405	1258	1258
2002	22		1295	1519	1400	1258	1198
2003	23		1247	1519	1395	1179	1179
2004	24		1200	1519	1385	1113	1095
2005	25		1153	1519	1385	1088	1073
2006	26		1105	1519	1385	1047	1056
2007	27		1057	1519	1380	972	1024
2018	38				1340		815

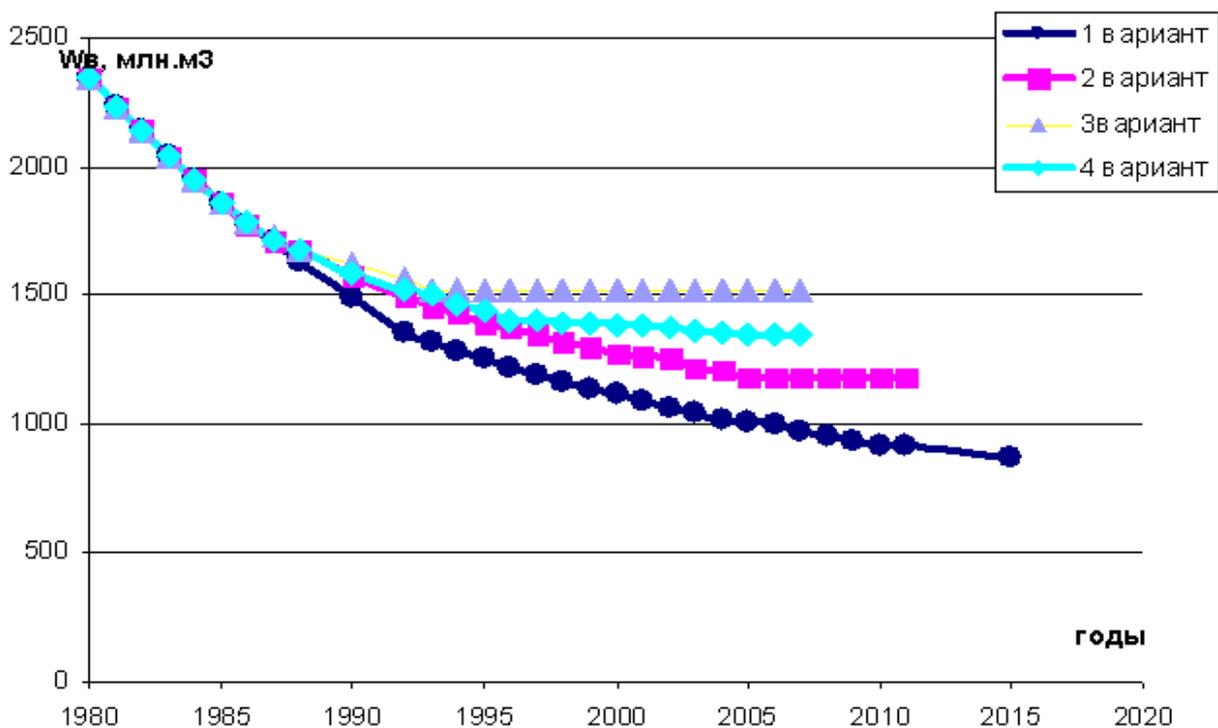


Рис. 4.2.2. График изменения ёмкости Тюямуюнского водохранилища.

При этом на графике (рис. 4.2.2.) напрашивается сдвиг по времени на 2 года, тогда совпадение значений расчётной и фактической ёмкостей будут почти идеальными.

Этот сдвиг по времени может объясняться следующими факторами:

1. Увеличение фактической ёмкости за счёт просадки основания водохранилища. Это явление часто происходит в природе, например на Чардарьинском и Пачкамарском водохранилищах, дно которых в первые годы эксплуатации просело более чем на 1,0 м, что привело к увеличению объёма водохранилищ.
2. В первые годы эксплуатации горизонт воды в водохранилище поддерживался не на отметке НПУ, а гораздо ниже, что также привело к пропуску в нижний бьеф части наносов.

Результаты изучения изменения мёртвого объёма и его уровня показывают, что в русловом водохранилище Тюямуюнского гидроузла

фактически II стадия заиления закончилась и наступила III стадия, когда ёмкость водохранилища не будет изменяться, т.е. ёмкость водохранилища сохранится в районе 1300 ± 100 млн.м³.

По результатам расчётов построен график зависимости объёма Руслового Тюямуюнского водохранилища от времени рис. 4.2.3.

Расчеты второй стадии заиления водохранилища приведены в таблице 4.2.3. для варианта, когда УМО =120,3м и мёртвый объём 270 млн.

$$W_{zo} = \frac{W_m}{K_2} = \frac{270}{0,3} = 900 \text{ млн.м}^3; \quad W_o = W_{oi} - W_{zo} = 2340 - 900 = 1440 \text{ млн.м}^3;$$

$$\alpha = 0,0442; \quad K_1 = 0,0432; \quad K_2 = 0,0845.$$

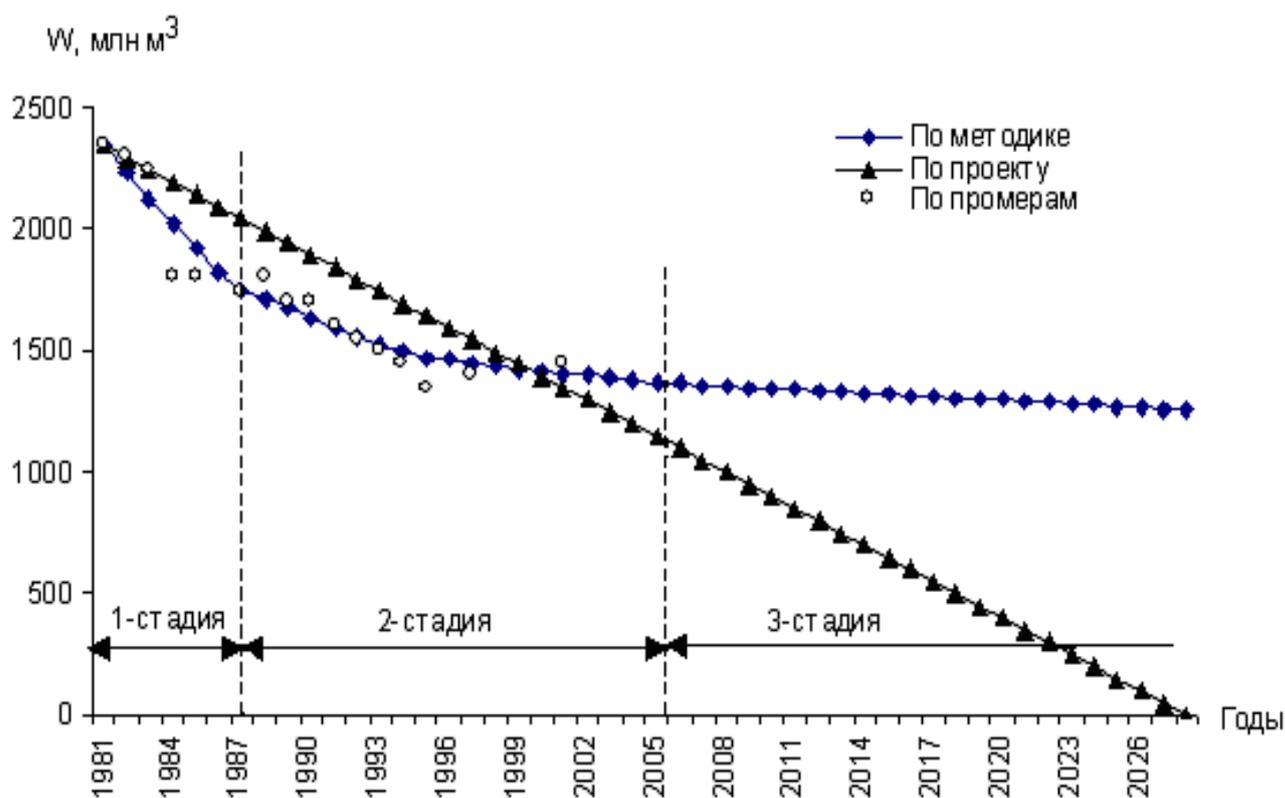


Рис. 4.2.3. График $W_0=F(T)$ Тюямуюнского руслового водохранилища.

Таблица 4.2.3

РАСЧЁТ 2-Й СТАДИИ ЗАИЛЕНИЯ ТЮЯМУЮНСКОГО РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
(первый вариант, $W_M = 270$ млн. м³)

$$W_{\text{зт}}^0 = \frac{270}{\hat{E}_2} = \frac{270}{0,3} = 900 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad t = 11 \text{ лет (1990)}; \quad W_0 = W_0' - W_{\text{зт}}^0 = 2340 - 900 = 1440 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad \alpha = 0,0442; \quad K_1 = 0,0432; \quad K_2 = 0,0845;$$

t	$W_{\text{зо}}$, МЛН. М ³	$\frac{W_{\text{зо}}}{W_M}$	$0,3 \cdot \frac{W_{\text{зо}}}{W_M}$	$0,3 \cdot \frac{W_{\text{зо}}}{W_M} - 1$	$1 - 0,13 \cdot \frac{W_{\text{зо}}}{W_M}$	$\frac{W_{\text{нб}}}{W_M}$	$W_{\text{нб}}$, МЛН. М ³	$W_{\text{нб}} - W_{\text{нб пр}}$, МЛН. М ³	$R_r = K_1 \cdot W_{0r}$, МЛН.М ³ /ГО Д	W_o , МЛН. М ³	$W_{\text{зо}} =$ $R_r \cdot \Delta t - W_{\text{нб}}$ МЛН. М ³
0	900	3,33	1,0	0	0,01	0	0	0	62,2	1378	962,2
1	966,2	3,578	1,0735	0,0735	0,535	0,1374	37,1	37,1	59,5	1356	984
2	988,6	3,661	1,0984	0,0984	0,525	0,187	50,6	13,5	58,6	1316	1024
3	1024	3,792	1,1378	0,1378	0,507	0,2718	73,38	22,78	56,7	1282	1058
4	1058	3,918	1,1755	0,1755	0,491	0,3574	96,50	23,12	55,97	1251	1089
5	1089	4,033	1,210	0,210	0,476	0,441	119,12	22,62	54,04	1220	1120
6	1120	4,148	1,244	0,244	0,461	0,529	142,9	23,78	52,70	1191	1149
7	1149	4,256	1,277	0,277	0,447	0,620	167,3	24,4	51,45	1162	1178
8	1177	4,359	1,3078	0,3078	0,433	0,7108	191,93	24,63	50,24	1137	1203
9	1204	4,459	1,3378	0,3378	0,420	0,8044	217,18	25,25	49,11	1113	1227
10	1228	4,548	1,364	0,364	0,409	0,890	240,3	23,12	48,08	1088	1252
12	1252	4,638	1,391	0,391	0,397	0,985	265,9	25,6	91,95	1047	1293

14	1293	4,789	1,437	0,437	0,378	1,156	312,1	46,2	88,3	1005	1335
16	1335	4,944	1,483	0,483	0,358	1,349	367,3	55,2	84,92	972	1368
18	1368	5,067	1,520	0,520	0,342	1,520	410,5	43,2	82,13	936	1404
20	1404	5,201	1,560	0,560	0,324	1,729	466,8	56,3	79,1	919	1421
22	1427	5,285	1,585	0,5855	0,313	1,870	505,1	38,3	77,15	879	1461
24	1461	5,411	1,623	0,623	0,296	2,105	568,5	63,4	74,3	868	1472
26	1472	5,4518	1,6355	0,635	0,2913	2,180	588,9	20,4	73,3	815	1525
28	1525	5,6848	1,694	0,694	0,261	2,659	718,0	129,1			

Таблица 4.2.4.

РАСЧЁТ II СТАДИИ ЗАИЛЕНИЯ ТЮЯМУОНСКОГО РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

(2 вариант $W_m=200$ млн. м³)

$$W_{ct}^0 = \frac{200}{\hat{E}_2} = \frac{200}{0,3} = 667 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad t = 7,5 \text{ года}; \quad W_0 = W'_0 - W_{ct}^0 = 2340 - 667 = 1673 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad \alpha = 0,0442; \quad K_1=0,0432; \quad K_2=0,0845$$

t	W_{30} , млн. м ³	$n = \frac{W_{30}}{W_m}$	$0,3 \cdot n$	$0,3 \cdot n - 1$	$1 - 0,13 \cdot n$	$\frac{W_{нб}}{W_m}$	$W_{нб}$, млн. м ³	$W_{нб} - W_{нб пр}$, млн. м ³	$R_\Gamma = K_1 \cdot W_{Op}$ млн.м ³ /ГОД	$R_\Gamma \cdot \Delta t - W_{нб}$ млн. м ³	W_{Op} , млн. м ³
0	667	3,33	1,0	0	0,567	0	0	0	72,3	72,0	1673
1	739	3,695	1,1085	0,1085	0,520	0,2086	41,7	41,7	69,16	27,5	1601
2	767	3,835	1,1505	0,1505	0,514	0,2928	58,6	16,9	67,95	51,0	1573
3	818	4,090	1,297	0,227	0,468	0,485	97,0	38,4	65,78	27,4	1522
4	845	4,225	1,267	0,267	0,451	0,592	118,4	21,4	64,58	43,2	1495
5	888	4,44	1,332	0,332	0,423	0,768	153,7	35,8	62,72	27,0	1452
6	915	4,575	1,3725	0,3725	0,405	0,920	184,0	30,3	61,6	31,3	1452
7	946	4,73	1,419	0,419	0,3801	1,102	220,4	36,4	60,2	24,0	1394
8	970	4,85	1,455	0,455	0,37	1,230	246,0	26,0	59,2	23,0	1370
9	993	4,965	1,490	0,490	0,355	1,380	276,0	30,0	58,2	28,0	1347
10	1021	5,105	1,5315	0,5315	0,336	1,582	316,0	40,0	57,0	17,0	1319
12	1038	5,19	1,557	0,557	0,325	1,7138	346,0	66,0	110,4	44,0	1285
14	1082	5,41	1,623	0,623	0,2967	2,10	420,0	27,0	106,3	78,0	1258
16	1161	5,805	1,7415	0,7415	0,245	3,02	604,0	184,0	92,1	-	1079

Конец 2 стадии.

Таблица 4.2.5.

РАСЧЁТ 2-ОЙ СТАДИИ ЗАИЛЕНИЯ ТЮЯМУЮНСКОГО РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

(3-й вариант $W_m = 150 \cdot 10^6 \text{ м}^3$)

$$W_{сг}^o = \frac{W_i}{K_2} = \frac{150}{0,3} = 500 \cdot 10^6 \text{ м}^3, t_1 = 5,5 \text{ лет}; W_o = W_o^l - W_{30}^o = 2340 - 500 = 1840 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \alpha = 0,0442; K_1 = 0,0432; K_2 = 0,0845$$

t	W_{30} , млн. м ³	$n = \frac{W_{30}}{W_m}$	$0,3 \cdot n$	$0,3 \cdot n - 1$	$1 - 0,13 \cdot n$	$\frac{W_{нб}}{W_m}$	$W_{нб}$, млн. м ³	$W_{нбi} - W_{нбi-1}$, млн. м ³	$R_\Gamma = K_1 \cdot W_{Op}$, млн. м ³ /год	$R_\Gamma \cdot \Delta t - W_{нб}$ млн. м ³	W_{Op} , млн. м ³
0	500	3,33	0	0,61	0	0	0	0	78,5	78,5	1840
1	580	3,867	1,160	0,160	0,493	0,324	48,7	48,7	76,03	19,5	1760
2	607	4,047	1,214	0,213	0,474	0,449	67,4	19,7	74,9	27,33	1733
3	662	4,413	1,324	0,324	0,4262	0,760	114,0	46,6	72,5	54,8	1678
4	687	4,58	1,374	0,374	0,405	0,923	138,0	25,0	71,4	25,2	1653
5	723	4,82	1,446	0,446	0,373	1,196	179,0	31,0	70,0	35,0	1617
6	762	5,08	1,524	0,524	0,340	1,541	231,0	52,2	68,2	39,0	1578
7	778	5,187	1,556	0,556	0,326	1,705	255,8	24,0	67,5	16,0	1562
8	821	5,473	1,642	0,642	0,2885	2,225	333,8	78,0	66,9	43,0	1519

Конец 2-ой стадии

Таблица 4.2.6.

РАСЧЁТ 2-ОЙ СТАДИИ ЗАИЛЕНИЯ ТЮЯМУЮНСКОГО РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
(4-й вариант $W_m = 165$ млн. м³)

$$W_{ci}^0 = \frac{W_i}{K_2} = \frac{165}{0,3} = 550 \text{ млн.м}^3; \quad t_1 = 6 \text{ лет}; \quad W_o = W_o^I - W_{30}^o = 2340 - 550 = 1790 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad \alpha = 0,0442; \quad K_1 = 0,0432$$

t	W_{30} , млн.м ³	$n = \frac{W_{30}}{W_m}$	$0,3 \cdot n$	$0,3 \cdot n - 1$	$1 - 0,13 \cdot n$	$\frac{W_{нб}}{W_m}$	$W_{нб}$, млн.м ³	$W_{нб} - W_{нб пр}$, млн.м ³	$R_{\Gamma} = K_1 \cdot W_{Op}$, млн.м ³ /ГОД	$R_{\Gamma} \cdot \Delta t - W_{нб}$ млн.м ³	W_{op} , млн.м ³
0	550	3,33	0	0	0	0	0	0	79,2	79,2	1790
1	629,2	3,813	1,144	0,144	0,503	0,286	47,2	47,2	73,9	33,3	1710,8
2	662,5	4,015	1,2045	0,2045	0,478	0,428	70,6	23,4	72,1	48,7	1677,5
3	711,2	4,310	1,293	0,293	0,444	0,666	109,9	29,3	70,36	41,0	1628,8
4	752,2	4,559	1,3676	0,3676	0,407	0,903	149,0	39,1	68,3	29,2	1587,8
5	781,4	4,7358	1,4207	0,4207	0,384	1,095	180,8	31,8	67,3	35,5	1558,6
6	816,9	4,951	1,4853	0,4853	0,354	1,371	226,2	45,4	65,8	20,4	1523,1
7	837,3	5,075	1,5224	0,5224	0,340	1,536	253,5	27,3	64,9	37,6	1502,7
8	874,9	5,302	1,5907	0,5907	0,311	1,899	313,4	59,9	63,3	3,4	1465,1
9	878	5,321	1,5964	0,5964	0,308	1,9036	319,5	60,1	63,1	37	1462
10	935	5,667	1,700	0,700	0,263	2,66	430,2	120		0	1405

Конец 2-й стадии

4.3. Сравнительный анализ

Для приведённых в данной работе примеров расчёта заиления водохранилищ были построены графики зависимости объёма водохранилища от продолжительности срока эксплуатации по проектным данным и по предложенной методике расчёта (рис. 4.3.1. и рис. 4.3.2.).

Ход расчёта заиления водохранилищ по проекту производится следующим образом. Известные данные по водохранилищам:

1. Год вступления водохранилища в строй – 1962 г.
2. Ёмкость водохранилища $W_0=800$ млн. м³;
3. Ежегодный объём наносов, поступающих в водохранилище - $R_{Г.нр}$ (таблица 4.3.1.) - 6,8 млн. м³/г.;
4. Срок службы водохранилища, год

$$t = \frac{W_0}{R_{Г.нр}} = \frac{800}{6,80} = 117,64 \approx 118 \text{ лет}$$

т.е. 1962 г.+118=2080 год

Потеря объёма водохранилища за время t_i

$$W_{з.о} = t_i \cdot R_{Г.нр}$$

Остающийся объём водохранилища

$$W_{0_i} = W_0 - W_{з.о}$$

По этим данным были построены графики зависимости объёма водохранилища от времени для Южно-Сурханского (рис 4.3.1) и для Тюямуюнского Руслового водохранилищ (рис.4.3.2).

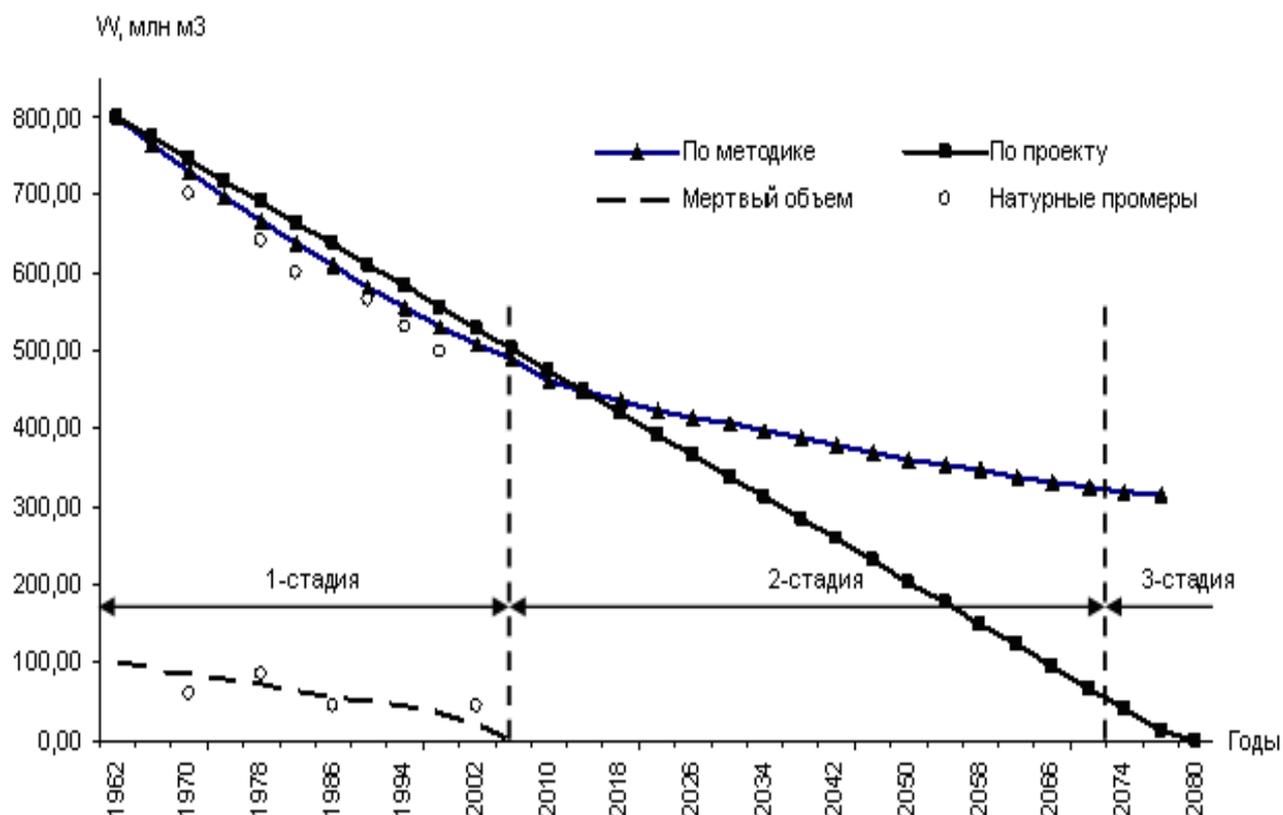


Рис. 4.3.1 Сравнение предложенной методики расчёта заиления с проектной на примере Южно-Сурханского водохранилища

Вместе с тем, особенно на рис. 4.3.1. видно, что расчёт по методу А.Н. Гостунского только на данном этапе работы водохранилища даёт значения, близкие к натурным, а после 2005 года идёт резкая разница между вычисленными и фактическими значениями. Кроме того, до 2000 года также наблюдаются большие отклонения в расчётах объёмов заиления по проекту в сравнении с фактическими данными.

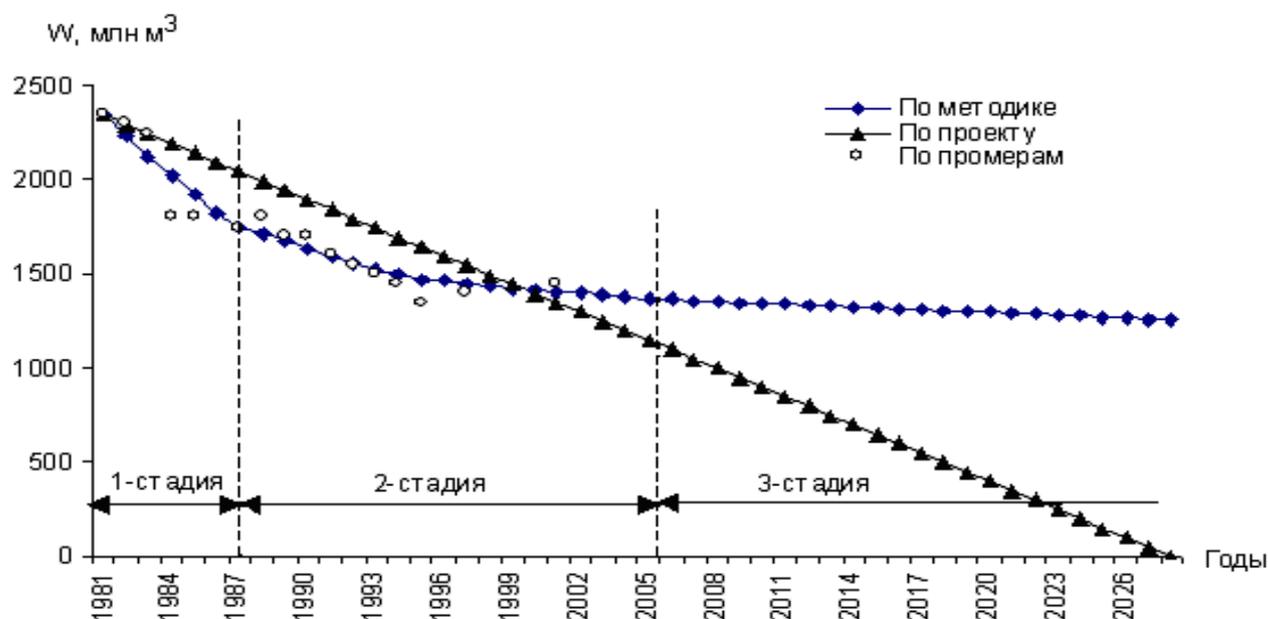


Рис. 4.3.2 Сравнение предложенной методики расчёта заиления с проектной на примере Руслового водохранилища ТМГУ.

Сопоставив график, построенный по предлагаемому методу расчёта объёмов заиления с проектными данными, подсчитанными по методу А.Н.Гостунского можно видеть, что проектная зависимость сильно отличается от фактических данных, тогда как кривая по предложенной зависимости даёт хорошую сходимость с ними.

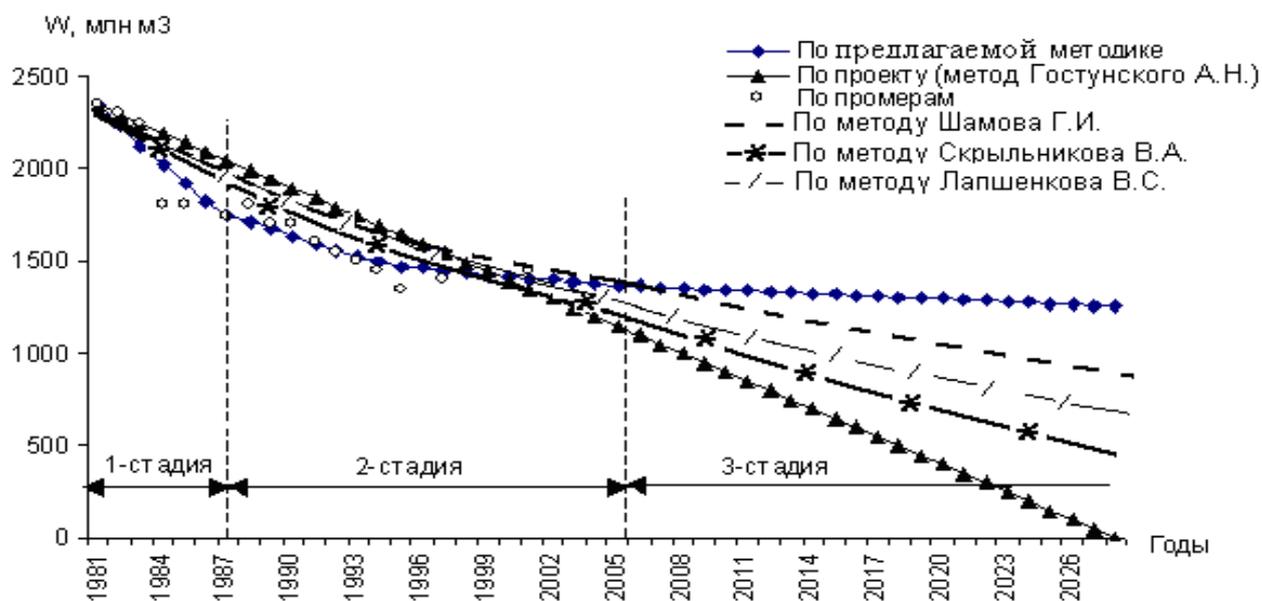


Рис. 4.3.3. Сравнение методик расчёта объёмов заиления.

На примере Тюямуюнского Руслового водохранилища проведено сравнение результатов расчёта объёмов заиления, произведённого по методам А.Н. Гостунского, Г.И. Шамова, В.С. Лапшенкова и В.А. Скрыльникова с данными фактических измерений (рис. 4.3.3), которое показало удовлетворительную сходимость полученных результатов для водохранилищ, **находящихся во второй стадии заиления**. Сопоставление результатов расчёта заиления по этим методам для других стадий заиления водохранилища показало весьма существенное расхождение.

Таким образом, предложенная методика расчёта объёмов заиления ирригационных водохранилищ может быть использована для расчёта заиления русловых водохранилищ Республики Узбекистан.

ВЫВОДЫ:

1. Существующие методы расчёта объемов заиления водохранилищ имеют целый ряд недостатков. Прежде всего, имеется резкое несовпадение природы и прогнозов для одних и тех же исходных данных из-за отсутствия комплексной оценки различных факторов и отсутствия единых принципов подхода к решению проблемы. Срок службы и регулирующая способность водохранилищ в процессе их эксплуатации зависят от интенсивности заиления, которая характеризуется величиной приведённой мутности α . При этом величина отношения $W_{зо}/W_m=3,33$, полученная в процессе обработки натуральных материалов о заилении водохранилищ, является своеобразным критерием, позволяющим определить конец первой стадии заиления.

2. Сравнение результатов расчёта заиления, произведённого по предложенному методу с фактическими данными по водохранилищам, показало хорошую сходимость (рис. 4.3.1 и рис 4.3.2.).

Сравнение расчёта заиления по методу Лапшенкова В.С. и Шамова Г.И. с натурными данными водохранилищ, находящихся во второй стадии заиления. В отличие от метода Лапшенкова В.С. предлагаемый метод не требует громоздких дополнительных вычислений по определению первоначальной степени осветления бьефа.

3. Предложенный метод расчёта заиления, позволяет более точно и без громоздких трудоёмких вычислений прогнозировать объёмы заиления и определять продолжительность срока службы водохранилищ.

4. Основным фактором потери емкости водохранилища является заиление ее приносимыми водотоком наносами. Потери емкости за счет переработки берегов составляет всего несколько процентов от общих потерь и доля этой величины из года в год уменьшается;

5. Фактический объем отложений в водохранилище всегда превышает проектный объем:

- по Тюямуюнскому, Южносурханскому, Кайраккумскому, Ташкентскому русловым водохранилищам в среднем 1,5 раза;
- по Андижанскому водохранилищу в 1,8 раза;
- по Чимкурганскому водохранилищу в 4,7 раза;
- по Ахангаранскому, Пачкамарскому водохранилищам в 6,2 - 7,2 раза;
- по Талимарджанскому, Каттакурганскому, Куюмазарскому наливным водохранилищам в 1,25 – 2,00 раза.

6. Годовой твёрдый сток зависит от географического расположения водохранилища: чем ниже расположено водохранилище, тем больше годовой твёрдый сток, и чем выше отметка его расположения, тем меньше годовой твёрдый сток. При отметке выше 1600м твёрдый сток стремится к нулю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абальянц С.Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. - Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 240с.
2. Авакян А.Б. Водохранилища и окружающая среда. - М.: изд. общества «Знание», 1982. -48 с.
3. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. - М.: Мысль, 1987. -325 с.
4. Алтунин С.Т. Заиление водохранилищ и размыв русел в нижнем бьефе плотин // Русловые процессы и гидротехническое строительство. -Т., 1957г. - 336с.
5. Алтунин С.Т. Водозаборные узлы и водохранилищ. -М.: 1964.- 431с.
6. Артамонов К.Ф. Регулировочные сооружения при водозаборе на реках в предгорных районах. - Фрунзе, 1963. -334с.
7. Артамонов К.Ф. и др. Русловые наносохранилища на малых горных реках (Крошкин А.Н., Быстров Н.Н.) // Гидротехника и мелиорация. 1974, №6. -С.34-37.
8. Артамонов К.Ф., Гребенщиков П.С. Натурные исследования заиления Орто – Токайского водохранилища // Заиление водохранилищ и борьба с ним. - М., 1970.-С. 35-38.
9. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. 1956. -323с.
10. Водохранилища мира. -М.: Наука, 1979. - 287 с.
11. Вуглинский В. С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР, -Л.: Гидрометеиздат, 1991.- 222 с.
12. Гаппаров Ф.А. Определение потерь воды на испарение из водохранилищ при недостаточных метеоданных: Дис. на соискание учёной степени к.т.н.. - Ташкент, 2003г. - 120 с.
13. Гончаров В.Н., Полтавцев В.И. Русловые деформации, возникающие при устройстве водохранилищ // Метеорология и гидрология. 1956, №5, - С.44-49.
14. Гостунский А.Н. Устойчивое русло // В кн.: Вопросы гидротехники,

-Ташкент, 1955, вып.1.-С. 25-32.

15. Гришин М.М. Роль водохранилищ и их эффективность в условиях водного хозяйства Средней Азии: Тр. Средазгипроводхлопка, вып.8. –Т., 1977. –С. 11-19.
16. Джалалов А.А. Водопользование и правовая культура – традиция народов бассейна Аральского моря // Водные ресурсы Центральной Азии (Материалы научно-практической конференции, посвящённой 10-летию МКВК 20-22 февраля 2002 г.). - Алматы, 2002г. -С. 10-14.
17. Замарин Е.А. Размыв нижнего бьефа // Гидротехническое строительство, 1941, №2. -С. 31-36.
18. Замарин Е.А., Попов К.В. и др. Курс гидротехнических сооружений. – М: Сельхозгиз, 1946г. –С. 151-155.
19. Зедгенидзе А.С., Мечитов И.И. Приёмы расчёта хронологического хода заиления подпёртых бьефов взвешенными и донными наносами // В кн.: Русловые процессы. - М., 1958, -С. 299-306.
20. Ибад-Заде Ю.А. Движение наносов в открытых руслах. - М.: Стройиздат, 1974. -352 с.
21. Исмагилов Х.А. Некоторые морфометрические зависимости Амударьи в среднем и нижнем течении: Тр. САНИИРИ. –Т., 1968, вып.117. –С.70-91.
22. Карасёв И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. -288с.
23. Караушев А.В. Теория и метод расчёта заиления малых водохранилищ и прудов: Тр. ГГИ (Гос. гидрологический институт), 1966, вып. 132. –С.68-71.
24. Караушев А.В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. -416 с.
25. Караушев А.В. Теория и метод расчёта речных наносов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 271 с.
26. Каюмов О.А. Морфометрические закономерности р. Амударьи: Труды САНИИРИ. - Ташкент, 1974, вып 140. –С. 3-9.
28. Кереселидзе Н.Б., Крутовая В.И. Методика расчёта заиления горных водохранилищ с учётом геодинамических береговых процессов и удаления наносов. - Тбилиси: Мецниереба, 1982. - 20 с.

29. Кипшакбаев Н.К, проф. Соколов В.И. Водные ресурсы бассейна Аральского моря – формирование, распределение, водопользование // Водные ресурсы Центральной Азии: Материалы научно-практической конференции, посвящённой 10-летию МКВК 20-22 февраля 2002 г. – Алматы, 2002г. - С. 18-20.
30. Козьменко А.С. Заиление речных водохранилищ и борьба с ним. - М.: Сельхозиздат, 1959. - 167 с.
31. Кондратьев Н.Е. и др. Руслевой процесс.–Л.: Гидрометеиздат, 1956.-371с.
32. Конспект лекций по дисциплине «Экология», раздел: Экологическое обоснование ведения сельского и водного хозяйства. – Т. 2000 г. -115с.
33. Костяков А.Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. - 622 с.
34. Кромер Р.К. Метод расчёта занесения верхних бьефов речных водозаборов // Гидротехника и мелиорация, 1985, №12. - С. 18-21.
35. Кузьмин И.А. Калганова М.В. Общие деформации в нижних бьефах гидроузлов и вопросы их расчёта // В кн.: Доклады Всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам. – Т., 1974, -С.56-62.
36. Кулеш Н.П. О процессе заиления и занесения водохранилищ. // Гидротехническое строительство, 1964, №8. -С. 49-52.
37. Кулеш Н.П. Расчёт заиления водохранилищ на реках, несущих большое количество взвешенных наносов // В кн.: Заиление водохранилищ и борьба с ним. - М., 1970. -С. 53-62.
38. Кумина Т.Д. Михалев В.А. Инженерная гидрология: Лабораторный практикум. - Л. 1980. - 71 с.
39. Лапшенков В.С., Лубинчик Е.И. Опыт моделирования русловых деформаций р. Сырдарьи у Чардарьинского гидроузла // В кн.: Вопросы гидротехники. - Ташкент, 1963, вып. 13. –С.123-128.
40. Лапшенков В.С. Прогнозирование заиления верхних бьефов гидроузлов // Сб. статей советских специалистов: Борьба с наносами в водозаборных сооружениях оросительных каналов. - М., 1975. - 89 с.

41. Лапшенков В.С. Расчёт заиления водохранилищ при постоянном уровне в квазиламинарном режиме течения // Известия АН УзССР. Серия техн. Наук, 1965, №2. –С. 76-85.
42. Латипов К.Ш., Джурабеков С. Осаждение неоднородных по крупности частиц в жидкости // В кн.: Аэродинамика многофазных сред. – Т.: ФАН, 1967.-С.35-42.
43. Леви И.И., Кулеш Н.П. Движение сильно насыщенного мелкими наносами потока в водохранилищах и особенно методики расчёта заиления таких водохранилищ: Тр. лаборатории озероведения АН СССР, 1958, том 7. -С. 87-90.
44. Макаров А.И., Вейнерт В.А. О классификации водоёмов (водохранилищ): - Тр. координационного совещания по гидротехнике, 1976, вып. 107. -С. 8-11.
45. Мирцхулава Ц.Е. Прогноз общего размыва русл при искусственном изменении их режима // В кн.: Работа нижних бьефов гидравлических сооружений. - М.,1969., -С. 155-169.
46. Мостков М.А. Очерк теории руслового потока. – М., 1955. -246с.
47. Мухаммедов А.М., Кулеш Н.П. Мухаммедов Я.С. Условия образования и движения донного плотного потока в водохранилище Нурекской ГЭС. //Заиление водохранилищ и борьба с ним. – М.: Колос, 1970. –С. 18-31.
48. Мухаммедов А.М., Сивец Н.Н. Опыт эксплуатации Верхнезеравшанского водозаборного гидроузла // В кн.: вопросы гидротехники. - Ташкент, 1963, вып.13. –С. 145-186.
49. Мухаммедов А.М. Эксплуатация низконапорных гидроузлов на реках, транспортирующих наносы. – Ташкент: ФАН, 1976. - 237с.
50. Мухамеджанов Ф.Ш. Расчёт перестроения русла у низконапорных плотин // В кн: Пособия и методические указания для расчётов и проектирования. -Ташкент, 1962. - 45 с.

51. Мухамеджанов Ф.Ш. Приближённый способ расчёта промыва занесенного наносами подпёртого бьефа // Гидротехническое строительство, 1962, №6, - С. 36-38.
52. Пилюсов Э.М., Скрыльников В.А. Некоторые результаты лабораторных исследований общего русла р. Вахш в связи со строительством Нурекской ГЭС. // В кн.: вопросы гидротехники, -Ташкент, 1965, вып.24. -С. 129-139.
53. Пулатов А.Г. Расчёт распределения крупности отложений в верхнем бьефе низконапорного гидроузла: Сб. научных трудов (САНИИРИ).-Т., 1976, вып. 151. - С. 74-78.
54. Пулатов А.Г., Скрыльников В.А. Расчёт занесения подпёртых бьефов низконапорных гидроузлов для однородного состава донных наносов: Сб. научных трудов (САНИИРИ). - Ташкент, 1979, вып. 154. - С. 182- 187.
55. Рабкова Е.К. Теоретические основы расчёта переформирования русл рек при переброске стока и регулирований: Сб. научных трудов (Университет Дружбы Народов), 1982. - С. 43-67.
56. Румянцев И.С., Кромер Р.К. Режим занесения верхних бьефов ирригационных низконапорных гидроузлов // Доклады ВАСХНИЛ, 1980, №8. - С. 38-40.
57. Садыков А.Х., Белесков Б.И., Гаппаров Ф.А. Наполнение и сработка водохранилищ в маловодных условиях // Мелиорация и водное хозяйство: Сб. научных трудов САНИИРИ, Ташкент, 1997. – С. 130 – 133.
58. Садыков А.Х., Гаппаров Ф.А. Метод расчёта ежегодного сокращения объёма водохранилища на основе водных балансов предыдущих лет его эксплуатации: Сб. научных трудов (к 80–летию САНИИРИ им. В.Д.Журина). - Ташкент, 2006г.. - С. 404-410.
59. Скрыльников В.А К вопросу расчёта заиления подпёртых бьефов гидроузлов // Вопросы гидротехники, Ташкент, 1963, вып.13. - С. 87-104.
60. Скрыльников В.А., Кожевникова М.С. Расчёт заиления подпёртых бьефов гидроузлов и водохранилищ // Пособие к ВСН 11-14-76. (САНИИРИ), - Ташкент, 1984. -51 с.

61. Скрыльников В.А. Некоторые закономерности процесса занесения верхних бьефов низконапорных гидроузлов // Труды САНИИРИ. - Ташкент, 1970, вып.120. - С. 231-248.
62. Скрыльников В.А, Пулатов А.Г. О расчёте кривой подпора в верхнем бьефе низконапорных гидроузлов // Известия АН УзССР. Сер. Техн. Наук. 1976, №6. -С. 45-47.
63. Скрыльников В.А, Пулатов А.Г. О расчёте продолжительности занесения верхних бьефов низконапорных гидроузлов // Известия АН УзССР. Сер. Техн. Наук. 1976, № 4. -С. 51-55.
64. Скрыльников В.А, Пулатов А.Г. Расчёт кривой подпора в процессе занесения верхнего бьефа низконапорных гидроузлов: Сб. научных трудов (САНИИРИ), 1976, вып. 151. - С. 67-71.
65. Скрыльников В.А., Кеберле С.И., Белесков Б.И. Повышение эффективности эксплуатации водохранилищ. - Ташкент: Издательство «Мехнат», 1987.- 244 с.
66. Скрыльников В.А. Расчёт заиления водохранилищ // Известия АН УзССР. Серия техн. Наук, 1988, №8. -С. 30-33.
67. Скрыльников В.А. Методы расчёта элементов и режимов эксплуатации магистрального питания открытых оросительных систем: Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, 1996 г.- 366 с.
68. Тер-Абрамянц Г.А. Размыв отложений наносов при гидравлической промывке головных участков каналов и отстойников: Труды ВНИИГиМ (Всесоюз. НИИ гидротехники и мелиорации), 1957, том 24. - С. 23-42.
69. Фортунатов М.А. Проблема сооружения водохранилищ и предварительные итоги их учёта в различных частях света // В кн.: Материалы 1 науч. техн. совещ. по изуч. Куйбышевского водохранилища, вып.1. -Куйбышев, 1963. -С. 203-211.
70. Фортунатов М.А. Типизация и группировка водохранилищ различного назначения // В кн.: Материалы межвуз. Науч. Конф. По вопросу изуч. Влияния водохранилищ на природу и хозяйство окружающих территорий.

-Калинин, 1970. - С. 8-12

71. Хачатрян А.Г., Шапиро Х.Ш., Щарова З.И. Заиление и промыв ирригационных отстойников и водохранилищ. - М.: Колос, 1966. -239 с.

72. Шамов Г.И. Заиление водохранилищ.-М.-Л.:Гидрометеиздат,1959.-139с.

73. Шапиро Х.Ш. Методика заиления верхних бьефов гидроузлов на р. Амударье // Гидротехническое строительство, 1963, №2. - С. 41-42.

74. Шапиро И.А. Заиление русловых водохранилищ. // В кн.: Заиление водохранилищ и борьба с ним. М., 1970. - С. 155-179.

75. Шнеер И.А. Осаждение наносов и грунтов: Научные труды (Ташкентский Государственный Университет), - Т., 1964, вып.237. - С. 5-152.

76. Шолохов В.Н. К вопросу о формировании русл в бьефах низконапорных плотин на горно-предгорных участках рек: Тр. САНИИРИ,1957,вып.84.-36с.

77. Эдельштейн К.К. Морфологическая классификация водохранилищ. – М: Вестник МГУ, 1977, №5. - С. 96 – 04.

78. Brune G.M. Trap efficiency of reservoirs. Trans. Amer. Geophys. Union,1953, vol.34, № 3. -p. 617-635.

79. Sediment control methods: d. Reservoirs.-J. Hydraul. Dsiv. Proc. Amer. Soc, of Civil Eng., 1973, № 4.-p. 45-48.

Использованные в диссертационной работе данные из Интернета

1. <http://www.vlasenko.ru/Pike-txt/P-0900.htm>.
2. http://mneu.sura.ru/Student/ecologia/2_kurs/gidroshaera.htm.
3. <http://www.glossary.ru/Глоссарий.ru>: Долинные водохранилища.
4. <http://www.geonews.ru/Геологические новости>.
5. <http://www.glossary.ru/Глоссарий.ru>: Сток наносов.
6. http://www.glossary.ru/Глоссарий_ru Фильтрация.
7. <http://www.glossary.ru/Глоссарий.ru>: Эксплуатация водохранилищ.
8. <http://guar.ru/Кафедра> $\frac{1}{15}$ промышленной и экологической безопасности.
9. <http://www.geogr.msu.ru/Кафедра физической географии и ландшафтоведения>.
10. <http://lake.baikal.ru/>"Научно-образовательный центр Байкал".
11. <http://hydro-msu.ru/>Официальный сайт кафедры гидрологии суши МГУ им. М.В. Ломоносова.
12. <http://www.pereplet.ru/>Почему размываются берега рек - Чалов Р.С.
13. <http://www.bks-mgu.ru/>Рациональное использование и охрана водных ресурсов.

14. <http://www.diplombox.ru/>Реферат "Причины строительства Зейской ГЭС. Положительные и отрицательные воздействия, вызванные ее строительством".
15. <http://revolution.allbest.ru/>Эколого-экономическая оценка использования и охраны водных ресурсов.
16. http://mneru.sura.ru/Student/ecologia/2_kurs/gidroshaera.