



ПК «ИНСТИТУТ КАЗГИПРОВОДХОЗ»

Алибаев К.У.

**БЕЗОПАСНОСТЬ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН
НА РЕКЕ СЫРДАРЬЯ**

Часть-1. Шардаринское водохранилище

АЛМАТЫ 2020 г.

Данный инженерный справочник включает в себя общие технические сведения по намывным плотинам, в том числе построенные на реке Сырдарья.

Действующие намывные плотины Кайраккумского и Шардаринского водохранилищ представляет большой практический интерес в связи с их длительной 50-летней эксплуатацией.

Важным является, что плотины построены по строительным нормам и правилам 50-60-х годов, а также с учетом накопленного советского и международного опыта.

Проблемам безопасности намывных плотин будут посвящены последующие публикации, в которых будут изучены вопросы устойчивости намывных плотин, а также мероприятия повышения сейсмической безопасности.

Свои замечания и предложения просим направлять в ПК «Институт Казгипроводхоз» , по адресу г.Алматы, пр.Сейфуллина д.434, эл.адрес: kazgipro@mail.ru.

Выпуск подготовил: Алибаев К.У. - главный инженер проектов
моб. +7 771 7663367

эл.адрес: karimalibaev@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Опыт строительства и эксплуатации намывных плотин в мире насчитывает более ста лет. Первоначальное применение гидромеханизации земляных работ получила в США в штате Калифорния при разработке золотоносных песков, изобретателем этого способа считается Матиссон (1853 г.) Грунт размывался мощной струей гидромонитора, создаваемой обычно с помощью насосной станции. Образованная при размыве пульпа самотеком или с помощью грунтового насоса по пульпопроводу транспортировалась на обогатительную фабрику, где выделялось золото.

Другим направлением явилось применение плавучих установок с установленным на палубе грунтовым насосом, с помощью которого ил и песок всасывался со дна водоема и транспортировался тем же насосом на береговой объект или наливался в баржу. Эту установку называли земснарядом и применяли первоначально на расчистке рек, а затем на намыве площадок, дамб и земляных плотин.

Благодаря высокой рентабельности при несложном оборудовании и незначительных капиталовложениях гидравлический способ весьма быстро получил широкое распространение сначала в золотой промышленности, а затем в конце XIX века стал применяться там же в США при строительстве земляных плотин и других сооружений.

Начиная с XX века, гидромеханизация в США постепенно завоевала главенствующее положение при возведении земляных плотин, называемыми в случае возведения способом гидромеханизации — намывными, причем размеры сооружаемых плотин все возрастали, и объемы намывных плотин достигли 75 млн.м³ (плотина Форт-Пек на р.Миссури, 1933—1939 гг.). До 1941 г. в США были намыты десятки крупных плотин высотой до 80 м. Ввиду ужесточения законов охраны окружающей среды в США, возведение плотин способом гидромеханизации сегодня не используется.

В СССР намыв плотин был начат в 1935 -1936 гг. при строительстве канала Москва —Волга по инициативе профессора Н. Д. Холина (Иваньковская плотина на р. Волга и др.).

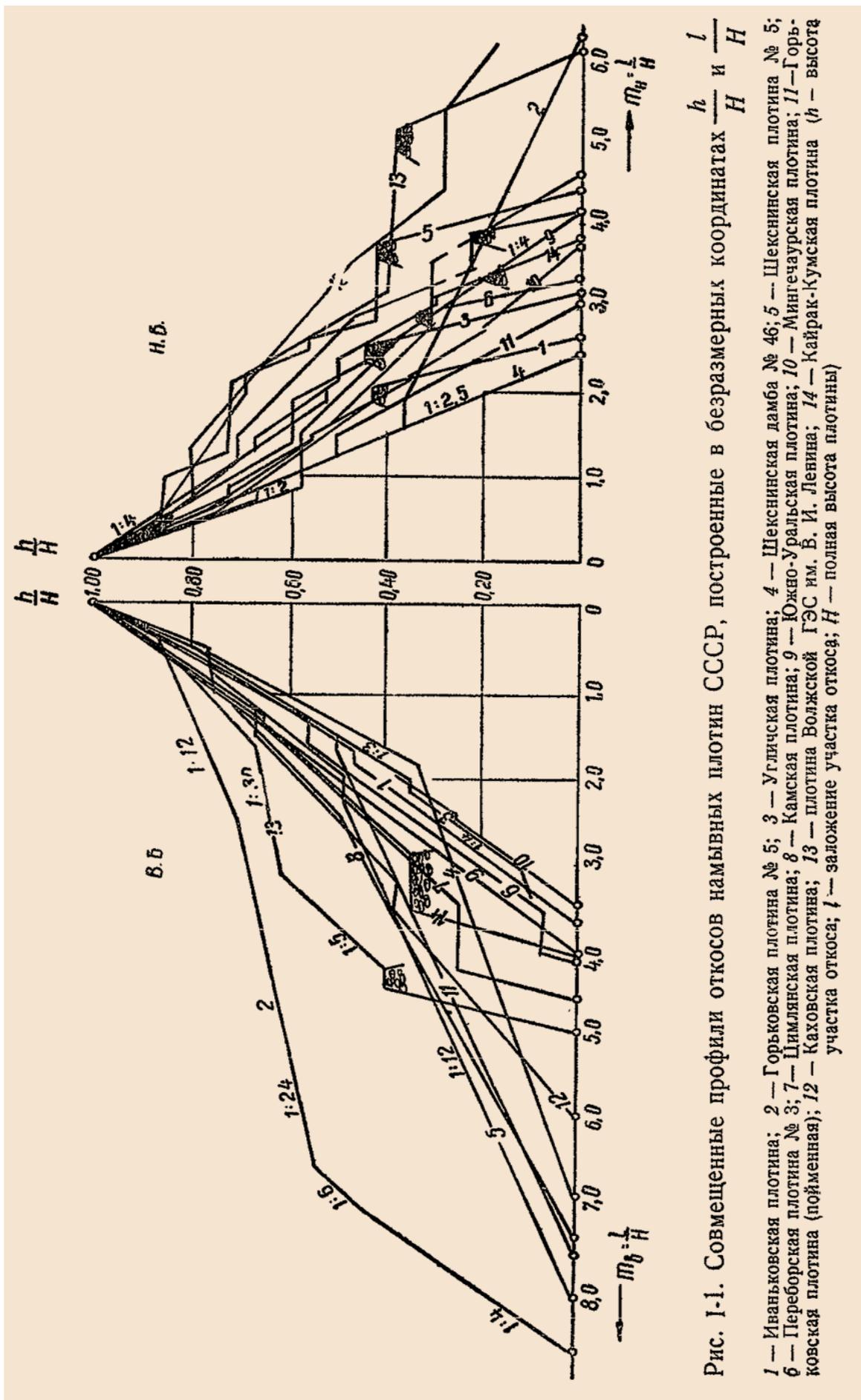
В послевоенные годы возведение намывных плотин получило широкое использование на строительстве крупных ГЭС на реках Дон (Цимлянская ГЭС), Волга, Кама, Днепр, Днестр, Неман, Даугава. В 1946 г. постановлением Правительства был образован трест «Гидромеханизация» в Министерстве Электростанций. С 1946 по 1990 гг. производственными подразделениями треста намыты десятки крупных плотин в России, ближнем и дальнем зарубежье, общим объемом до 4 км³, среди них такие уникальные плотины как Асуанская Высотная плотина на р. Нил в Египте.

В этом тресте был изобретен и широко внедрен безэстакадный способ намыва, позволившим полностью механизировать технологию намыва и отказаться от строительства высоких деревянных эстакад. Эстакадный способ был заменен безэстакадным способом повсеместно после его внедрения на намыве плотины Куйбышевской ГЭС в 1953 г.

Другим крупным техническим достижением, внедренным в тресте, был намыв дамб с пляжными волноустойчивым откосом, позволившим снять бетонное и каменное крепление верхового откоса плотины. Построенные за эти годы ГЭС производят до 18% электроэнергии от общей выработки.

Большинство намытых в России плотин являются однородными, то есть, созданы из одного материала, в основном из песка, с малым коэффициентом разнозернистости или неоднородности и небольшим содержанием (до 10%) фракций диаметром меньше 0,05 мм.

Только несколько намывных плотин в СССР построены с ядром. Среди них -Мингечаурская на р. Куре в Азербайджане. Она одна из самых высоких в мире земляных намывных плотин высотой 80 м, объемом 15 млн. м³.



1. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН.

Намывными плотинами называют плотины, доставку и укладку грунта в тело которых проводят средствами гидромеханизации.

Преимущества намывных плотин — механизация всего процесса по разработке и укладке грунта, ведение работ при любых погодных условиях и некоторое сокращение затрат.

Материал для намывных плотин - В зависимости от материала и способов возведения намывные плотины подразделяют на однородные и неоднородные. Для намыва применяют связные и несвязные грунты. Целесообразно использовать песчаные грунты I и II групп. Супеси III группы, суглинки IV группы, гравийные и галечниковые грунты V группы применяют при технико-экономическом обосновании. Гравийные грунты следует использовать для упорных призм, а суглинки и глины — для ядра.

Намыв плотин - проводят по картам, которые обваловывают по периметру грунтовыми дамбами первичного и попутного обвалования (первичное обвалование выполняют для первой карты, примыкающей к основанию плотины).

Надводный намыв ведут на пойменных участках при отсутствии воды в русле реки. В этом случае возможно выполнять однородные и неоднородные плотины.

Подводный намыв характерен для русловых участков рек, где можно получить только однородные плотины с заложением откосов, соответствующих углу естественного откоса в воде. Его выполняют без подготовки основания под плотину; илистые наносы в рыхлом состоянии можно при намыве отжать за пределы контура плотины.

Способы намыва грунта - при возведении намывных плотин основные способы намыва — эстакадный, безэстакадный и низкоопорный.

Эстакадный способ намыва применяют редко, для небольших плотин его можно использовать. Распределительный трубопровод укладывают на эстакады, определяющие ярус намыва, высотой до 5 м. Эстакаду выполняют из дерева или металлических инвентарных опор. После окончания намыва очередного яруса деревянные стойки эстакады остаются в грунте. Опоры инвентарных эстакад поднимают краном и устанавливают на следующем ярусе намыва.

Безэстакадный способ намыва считается более совершенным. Распределительный трубопровод укладывают на намытый грунт параллельно оси карты. Гидросмесь сосредоточенно выпускают из концевой трубы трубопровода. После того как будет намыт слой грунта требуемой толщины, концевое звено трубопровода наращивают (отсоединяют) при челночном ведении работ. В результате будет намыт слой грунта по всей карте. Толщина слоя намыва 0,2...0,3 м при укорочении распределительного трубопровода и 0,6... 0,7 м при наращивании его.

Низконапорный способ – при низкоопорном способе намыва ставят низкие инвентарные стойки, на которые укладывают распределительный трубопровод. Гидросмесь выпускают сосредоточенно из концевой трубы трубопровода или рассредоточенно, когда наряду с выпуском из торца происходит выпуск гидросмеси из торцов всех звеньев по длине карты намыва, для чего торцы их смещают один относительно другого. Толщину слоя здесь увеличивают до 1... 1,2 м. После намыва очередного слоя грунта опоры поднимают и вновь устанавливают в предварительно пробуренные скважины специальной универсальной машиной.

Схемы намыва - Гидросмесь на карте намыва можно распределить по односторонней, двусторонней и мозаичной схемам намыва.

Односторонняя схема намыва позволяет получить однородную грунтовую плотину при использовании песчаных грунтов с коэффициентом неоднородности не более 3...5.

Двустороннюю схему намыва применяют для плотин с глинистым (суглинистым) ядром и центральной мелкопесчаной зоной.

Мозаичную схему намыва используют для песчаных и гравелистых грунтов с коэффициентом неоднородности менее 5.

Односторонний намыв со свободным растеканием гидросмеси. Со стороны низового откоса выполняют дамбочки обвалования, причем первичные дамбочки работают как дренажные призмы. В примыкании к внутреннему откосу дамбочек обвалования укладывают распределительные трубопроводы, используя эстакадный, безэстакадный и низкоопорный способы распределения гидросмеси. Выпускаемая гидросмесь из трубопроводов свободно растекается от низового откоса к верховому, образуя пологий пляж намыва. Данную схему намыва грунта со свободным растеканием гидросмеси применяют также для возведения дамб без укрепления верхового откоса, как мероприятие по подготовке основания под сооружения при за- мыве пазух бетонных сооружений и укреплении берегов.

Среднее значение уклонов при свободном растекании зависит от грунтов и расхода гидросмеси и находится в пределах 0,025...0,045 (меньшее значение для песков, большее для гравелистых грунтов).

Односторонний намыв с фиксируемым верховым откосом. При одностороннем намыве можно выполнить плотину с проектным верховым откосом, так как наиболее крупные фракции грунта выпадают вблизи выпуска гидросмеси, а мелкие — у верхового откоса. Со стороны низового откоса отсыпают дамбочки обвалования и укладывают трубопроводы, как и в предыдущей схеме. По образующей верхового откоса выполняют фильтрационные дамбочки, в результате чего и получается плотина с заданным очертанием откоса.

Двусторонний намыв- Поперечный профиль плотины будет иметь ядро из связных (глинистых, суглинистых грунтов) или центральную мелкопесчаную зону.

В процессе намыва по образующим откосов возводят дамбочки обвалования. Трубопроводы, по которым доставляется гидросмесь, располагают с двух сторон поперечного профиля, в примыкании к дамбочкам с внутренней их стороны. Гидросмесь движется при свободном растекании к середине профиля плотины. В примыкании к откосам осаждаются наиболее крупные фракции грунта, образуя боковые призмы. Вслед за ними выпадают из гидросмеси более мелкие песчаные фракции, образуя промежуточную зону, за которой будет прудок-отстойник, где осаждаются мелкие (глинистые) фракции грунта, образуя ядро. В середине прудка-отстойника ставят сбросной колодец, куда вместе с водой поступают наиболее мелкие фракции грунта, и дальше поток отводящими трубами транспортируется за пределы контура плотины. После окончания намыва плотины сбросной колодец забивают грунтом того же состава, что и ядро, а отводящие трубы остаются в основании плотины. Ширину ядра определяют расчетом и регулируют уровнем воды в прудке-отстойнике. Верхнюю часть плотины (шапка) обычно выполняют сухим способом или используют продольный намыв грунта (вдоль плотины).

Мозаичный намыв - Такой намыв позволяет получить однородную плотину без фракционирования грунтов по поперечному профилю. Мозаичный намыв выполняют из песчаных или гравелистых грунтов и их смесей. Мозаичная схема намыва обеспечивается при рассредоточенном выпуске гидросмеси из нескольких распределительных трубопроводов, уложенных параллельно один другому и продольной оси карты намыва. Мозаичная схема намыва хорошо сочетается с низкоопорным способом намыва. Отвод воды происходит в сбросные колодцы, размещаемые по оси карты намыва, при этом вода движется между конусами намыва из грунта.

Кроме указанных, выполняют расчеты, относящиеся к устойчивости боковых призм в процессе намыва плотины. Такой расчет по методу М. М. Гришина и Б. Н. Федорова с использованием схемы состоит в рассмотрении

условий равновесия действующих на призму сил — давления грунтового ядра и собственного веса призмы с установленной плотностью.

В процессе намыва плотин двусторонним способом, когда прудок-отстойник заполнен водой, возникает фильтрационный поток и сопутствующая ему сила с направлением в боковые призмы, которую определяют при расчете их устойчивости.

Намывные плотины, построенные на реке Сырдарья: Кайраккумская и Шардаринская плотины, имеют важное стратегическое значение для развития региона. Они представляют большой интерес с точки зрения их технических и конструктивных особенностей, технологии строительства, опыта длительной эксплуатации, их будущего для обеспечения водной безопасности региона.

Данные плотины проектировались и строились почти по единым нормативам, расположены в едином каскаде на реки Сырдарья, имеют почти схожие геологические условия, расположены в одинаковых сейсмологических условиях.

Детальное изучение намывной плотины Шардаринского водохранилища, позволит определить первоочередные и приоритетные мероприятия по дальнейшей безопасной их эксплуатации, с учетом возрастающей потребности в оросительной воде, повышающихся требованиях к современным грунтовым насыпным и намывным плотинам, повышающихся требованиях к водной безопасности стран Центральной Азии.

Данный выпуск представляет собой литературный обзор и общие сведения по намывной плотине, а также обзор зарубежного опыта по эксплуатации намывных плотин. Представлены строительные нормативы на основе которых проектировались намывные плотины.

В брошюре использованы ранее опубликованные материалы, а также сведения, размещенные в социальной сети.

2. ШАРДАРИНСКАЯ НАМЫВНАЯ ПЛОТИНА

2.1. Общие сведения

Шардаринская плотина и водохранилище расположены на реке Сырдарья на границе Казахстана и Узбекистана.

Плотина была запроектирована в 1955–1967 годах Среднеазиатским отделением института «Гидропроект» в г.Ташкенте. Строительные работы были завершены в 1967г.

Водоохранилище полным объемом 5,16км³ действует как последний регулятор подачи воды для орошения 370000га в нижней части Сырдарьинской долины.

Гидроэлектростанция входящая в состав сооружений на плотине, является основным источником выработки гидроэлектроэнергии в Южном Казахстане.

Защита от паводков населенных пунктов, дорог, железнодорожной линии и другой инфраструктуры в нижней части долины обеспечивается отводом паводковых стоков к Арнасайскому понижению, через левобережный Арнасайский регулятор.

Основная грунтовая плотина представляет собой однородную земляную намывную плотину длиной 5,3 км, с максимальной высотой 28м, и с откосами 1:4,0-4,5.

Водозаборное сооружение и 100MW гидроэлектростанция (4x25MW), которые объединены в одном сооружении вместе с двумя оборудованными затворами водоводами с двух сторон электростанции, расположены в правобережном примыкании плотины, основанием которой являются рыхлые осадочные породы.

Головное водозаборное сооружение для ирригационных целей - Кызылкумский регулятор, расположен около центра плотины, основанием которого являются пески и гравий, включает в себя водозаборную башню и три водовода каждый шириной 4,5 м и высотой 3,5 м.

Арнасайский регулятор расположен в 25 км от основной плотины и находится на границе с Узбекистаном. Арнасайское озеро, в которое регулятор осуществляет сброс, целиком расположено на территории Узбекистана. Регулятор включает в себя 4-х пролетный водослив с широким порогом, устроенный в земляной плотине протяженностью 2 км и высотой 10м, защищенной каменной наброской со стороны верхнего бьефа.

Шардаринская плотина была построена намывом песчаного грунта со стороны нижнего бьефа и размещением его с двух сторон, излишняя вода отводилась по центральной дрене.

Верховой откос плотины укреплен железобетонными плитами, уложенными на песчано-гравийную подготовку. Низовой откос укреплен местным материалом – смесью ила и гравия.

Трубчатая дрена с трехслойным обратным фильтром была построена в подошве низового откоса. В подошве низового откоса также имеются разгрузочные скважины и дренажная канава.

По гребню плотины устроена эксплуатационная дорога с асфальтовым покрытием, железобетонным парапетом и освещением плотины.



Рис.2.1. Космоснимок водохранилища.



Рис.2.2. Космоснимок плотины водохранилища.



Ри.2.3. Космоснимок Арнасайской плотины.

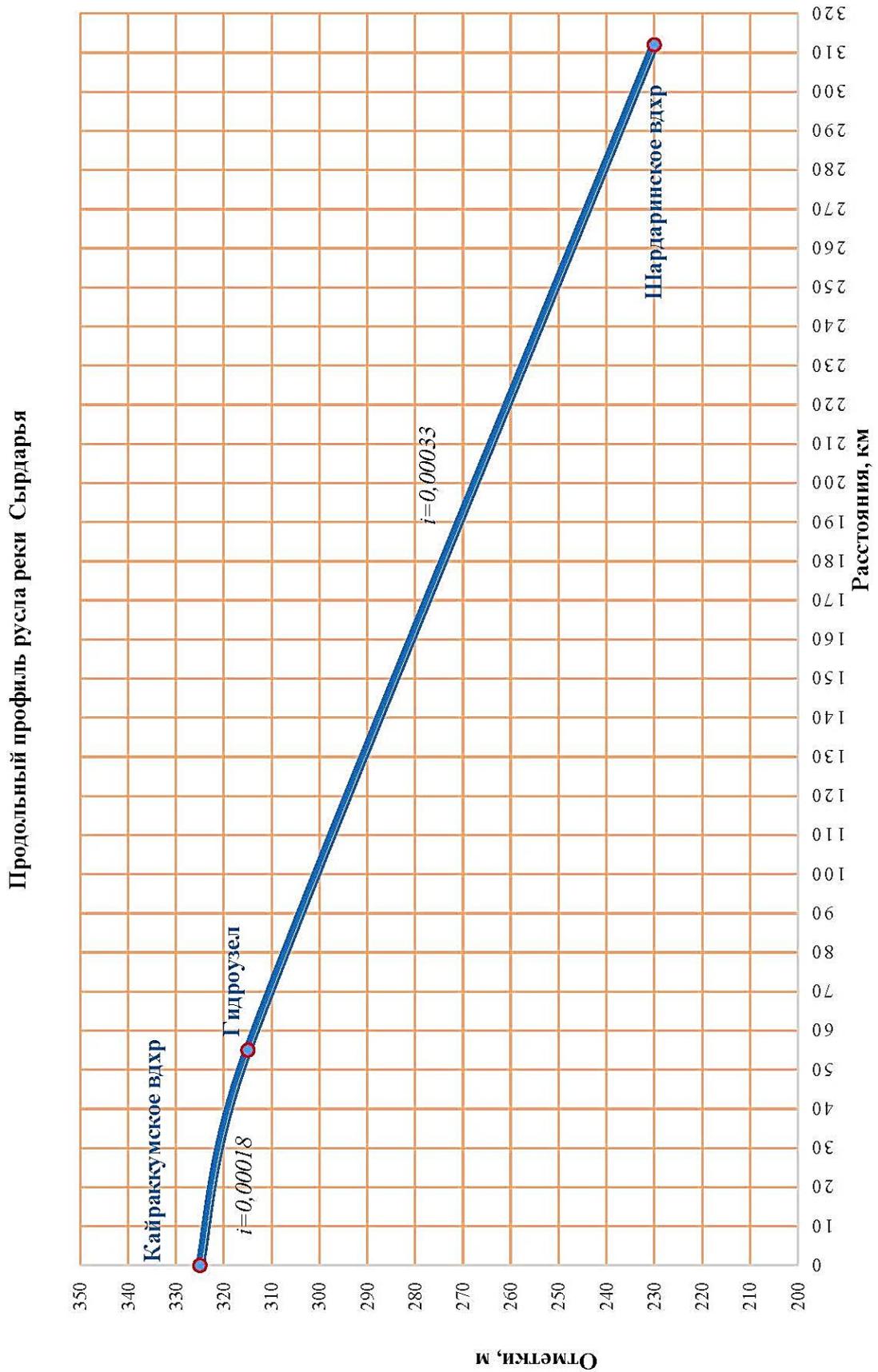


Рис.2.4. Продольный профиль реки Сырдарья от Кайраккумского водохранилища до Шардаринского водохранилища.

2.2. Основные технические параметры водохранилища

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Количество
Шардаринский гидроузел			
I Водохранилище			
1	Ёмкость водохранилища		
	полная	млрд.м ³	5,166
	полезный объём	млрд.м ³	4,383
	мёртвый объём	млрд.м ³	0,783
2	Отметка НПУ	м БС	252,00
3	Отметка МПУ	м БС	253,00
4	Отметка ГМО	м БС	244,00
5	Площадь зеркала водохранилища при НПУ	км ²	848
6	Длина водохранилища	км	80
7	Ширина водохранилища		
	максимальная	км	25
	средняя	км	15
8	Глубина водохранилища		
	максимальная	м	22
	средняя	м	6,3
9	Протяженность береговой линии водохранилища	км	225
10	Водохранилище работает в каскаде		
11	Расчетный срок службы водохранилища	лет	100
II Плотина и левобережная дамба примыкания			
12	Тип плотины и дамбы		Намывная песчаная
13	Длина плотины вместе с дамбой по гребню	км	5,3
14	Максимальная высота плотины от основания	м	28,5
	в пойменной части	м	19,0
15	Отметка гребня плотины	м БС	254,5
16	Ширина гребня плотины	м	12,5
17	Заложение откосов плотины		
	верхового и низового ниже бермы		1:4,5
	выше бермы		1:4,0
18	Бетонные плиты верхового откоса	см	28-40
19	Высота бетонного парапета	м	1,0
20	Высота дамбы	м	6,0
21	Ширина дамбы по верху	м	16,0
22	По гребню плотины автомобильная дорога V категории		
III Здание ГЭС и водосбросное сооружение			
23	Здание станции		руслового типа на 4 агрегата
24	Габариты подземной части здания с водосбросами	м	46.5x107,8
25	Мощность гидроэлектростанции (проектная)	МВт	100
26	Донный водосброс из четырех отверстий	м	6x5

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Количество
27	Расчетный проектный расход водосброса	м ³ /с	1000
28	Высота левобережной стенки нижнего бьефа	м	31.1 -13.7
29	Высота правобережной стенки нижнего бьефа	м	21.1 -14.7
VI Кызылкумский регулятор			
30	Тип регулятора		башенный
31	Пропускная способность	м ³ /с	200
32	Водозаборная башня с тремя затворами	м	2,5х4,5
33	Трехочковая прямоугольная труба	м	4,5х3,5
Арнасайский гидроузел			
I Земляная плотина			
	Тип плотины		Плотно укатанный супесчано-суглинистый грунт
34	Длина плотины	км	2,09
35	Отметка гребня плотины	м БС	255,0
36	Ширина гребня	м	16,5
37	Максимальная высота плотины	м	10,4
	средняя	м	10
38	Заложение верхового откоса плотины		1:3
39	Железобетонные плиты верхового откоса размером 10х10м толщиной	м	0,25
40	Заложение низового откоса		1:3,5
41	Железобетонные плиты низового откоса толщиной	м	0,15
42	Железобетонный парапет	м	0,8
II Сбросное сооружение			
43	Отметка порога водослива	м БС	249,5
44	Расчетный проектный расход	м ³ /с	2160
45	Длина пионерной прорези в нижнем бьефе	м	2605
	ширина	м	20
III Защитные сооружения			
46	Тип дамбы обвалования		Укатанный супесчано-суглинистый грунт ($\gamma_{ск}=1,65 \text{ т/м}^3$)
47	Отметка гребня дамбы	м БС	254,5
48	Длина дамбы	км	18,515
49	Максимальная высота	м	5,5
50	Ширина по верху	м	4,0
51	Заложение откосов верхового и низового		1:3
52	Длина водосбросной канавы	км	20,45
53	Ширина по дну канавы	м	1,0
54	Заложение откосов канавы		1:2

2.3. Описание Шардаринской плотины

2.3.1. Основные сведения

Путем совместной работы Кайраккумского и Шардаринского водохранилища осуществляется многолетнее регулирование стока р.Сырдарьи.

Местоположение - Шардаринское водохранилище расположено в слабовыраженном приречном понижении местности р. Сырдарьи, в нижней части ее среднего течения. Чаша водохранилища имеет крутой холмистый правый берег и пологий левый. В западной части водохранилища находится большое понижение, имеющее выход в емкую котловину, расположенную в песках -Арнасайское понижение.

Состав гидроузла - В состав гидроузла входят: грунтовая намывная плотина из песка, здание ГЭС с водосбросами, Кызылкумский регулятор, Арнасайский водосброс.

ГЭС - Станционный узел расположен на правом берегу р.Сырдарьи, и сопрягается в нем насыпью. Шардаринская ГЭС представляет собой русловую гидростанцию совмещенного типа. В здании станции установлено 4 агрегата общей мощностью 100 тыс.квт при расчетном расходе 770 м³/сек и напоре воды 15,8 м. По обе стороны агрегатов размещаются донные водосбросы, шириной по 10м каждый. Размеры водосбросных отверстий приняты из условий пропуска расчетного паводкового расхода 1500 м³/сек и составляют по 10х6 м каждый. Принятое размещение сбросных отверстий обеспечивает равномерное распределение потока на рисберме при симметричном сбросе расходов и удобную компоновку бетонного гидроузла.

Понур - Понурная и водобойная части сооружения сопрягаются с намывной плотиной и насыпью правого берега с помощью подпорных стенок, следующих за профилем плотины, и обратных насыпей за сооружениями с незначительным превышением над ними в целях предотвращения вредного свала воды на входах к отверстиям сооружения.

Понур состоит из водонепроницаемой части и предпонурного крепления. Водонепроницаемая часть выполняется из уплотненной глины, защищенный сверху слоем песка и бетонными плитами.

В задачу конструкции нижнего бьефа, кроме обеспечения гашения сбросных расходов, входило выравнивание погонных расходов для получения допустимых их величин в конце рисбермы. С этой целью предусмотрено растекание потока на входе и выходе из водобойного колодца, постепенное увеличение глубины потока за счет наклона рисбермы и расслоение потока с одновременным поворотом донных струй к середине рисбермы. Рисберма заканчивается глубоким бетонным зубом и гибким креплением в виде каменной отсыпки на длине 17 м.

Кызылкумский регулятор - предназначен для водозабора из верхнего бьефа водохранилища на орошение Кызылкумского массива, расположенного ниже Шардаринского водохранилища, на левом берегу р. Сырдарьи. Кызылкумский регулятор рассчитан на расход $-200 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Регулятор входит в состав Шардаринского гидроузла и располагается на пикете ПК42+20 вблизи существующего Шардаринского канала. Сооружение представляет собой трубчатый регулятор.

Плотина - С левой стороны к ГЭС примыкает намывная плотина длиной 4760 м, максимальной высотой 26,5 м, шириной по гребню 12,5 м. Левым своим крылом плотина примыкает к барханам.

Грунтовая плотина делится на три участка: русловой, левобережный и озерный. Русловой участок плотины перекрывает русло р.Сырдарьи и часть первой надпойменной террасы.

Русло реки- Ложе русла реки слагается аллювиальными песками, которые подстилаются светло-зелеными глинами. Пески содержат в себе, в основном, частицы размером 0,25-1,00 мм. Подстилающие светло-зеленые глины местами монолитные жирные, местами имеют отчетливо выраженную

тонкую слоистость. В толще этих глин встречаются прослойки песчаников, галечников и конгломератов.

2.3.2. Намыв Шардаринской плотины

Плотина намыта двусторонним способом из песчаных грунтов с образованием при намыве мелкопесчаной центральной части и наружных призм из средне и крупнозернистого песка. Заложение откосов переменное – 1:4 и 1:4,5.

Со стороны верхнего откоса в тело плотины включена упорная призма из гравийно-галечникового грунта. Призма совмещена с каменным банкетом.

Со стороны низового откоса устроена дренажная призма с двухслойным обратным фильтром для защиты материала тела плотины от суффозии. Общий объем намытого грунта составило - 8,5 млн.м³.

Общая статическая устойчивость плотины, коэффициент запаса, который был установлен методом круглоцилиндрической поверхности обрушения обеспечивалась за счет придания ее откосам указанного выше заложения. Низовой откос закреплено посевами трав.

По данным геотехконтроля проведенного при намыве плотины, средний фракционный состав намытых грунтов составлял:

А) на озерном участке	0,25-0,1 мм – 85%
	0,5-0,25 мм - 5%
Б) на левобережном участке	0,25-0,1 мм -63%
	0,5 -0,25 мм -30%

В целом, тело плотины образовано мелкозернистыми неокатанными песками. Принятые проектом значения объемного веса скелета песков в теле плотины соответственно равны 1,51-1,52 т/м³ и 1,51-1,53 т/м³.

Эоловый песок, намытый на озерном участке плотины, в действительности характеризуется средневзвешенными значениями объемного веса скелета 1,55-1,58 м/м³, а на левобережном участке плотины,

который возводился из грунтов пойменных карьеров, средневзвешенный объем вес песка составил 1,45-1,47 т/м³. При намыве эоловый песок укладывался плотнее проектного, а пойменный – более рыхло. Средние значения коэффициента фильтрации эолового песка колеблется в пределах 2,5-3,8 м/сут, пойменных – 4,1-6,7 м/сут. Карьерная плотность пойменных песков составляла 1,57-1,67 т/м³.

В районе возведения плотины возможны землетрясения 7-8 баллов. Сейсмичность района строительства и невысокая плотность сложения песков, намытых в тело плотины, обусловили необходимость проведения уже в процессе строительства исследований по изучению динамической устойчивости этих песков.

Исследования в период строительства плотины показали, что водонасыщенные пески с объемным весом 1,43-1,44 т/м³ при вибрации с ускорением $\alpha = (0,025-0,04) g$ испытывают постепенное уплотнение, а затем разжижаются.

Учитывая, что свободные колебания (удар волны, землетрясение) более опасны для нарушения структуры песчаных масс, чем вынужденные (вибрация) и свободные колебания при равных частотах с вынужденными, но с ускорениями в 1,5-2,5 раза меньшими, вызывают одинаковое изменение пористости; полученные значения критических ускорений следует уменьшить в 2,5 раза.

Независимые исследования показывали (Н.Т.Валишев) зависимость критического ускорения для песчаных откосов от направленности вибрации. Согласно этим данным, одинаковые ускорения горизонтальных и вертикальных колебаний вызывают одинаковые уплотнения песчаных масс. Однако при направлении колебаний под углом, близким к углу естественного откоса, величина критического ускорения снижается приблизительно в 2 раза.

Как показали результаты оценки песков в период строительства, значения критических ускорений для намытых в тело плотины песков оказались следующими:

Песок карьера №1, верховая призма	$\alpha = 0,012 g$
№2	$\alpha = (0,012-0,016) g$
№3	$\alpha = 0,012 g$
№4	$\alpha = (0,012-0,028) g$

Значит пески карьеров №1,2,3 могут потерять устойчивость при семибалльном землетрясении.

Для повышение динамической устойчивости песка была исследована роль пригрузки откоса сейсмически инертным материалом. Оказалось, что пойменные пески карьеров №1,2 и 3 с плотностью $1,42 \text{т/м}^3$ при наличии пригрузки равной $0,2 \text{кг/см}^2$ не изменяют своей структуры при ускорении $\alpha=1,0g$.

В результате исследований выяснилось, что верховой откос плотины, подвергающийся действию удара волны, интенсивность которого может превысить 7 баллов, является динамически неустойчивым при принятой в техническом проекте конструкции.

По данным натурных и лабораторных исследований в период строительства, бетонные плиты крепления откосов, имеющие незначительную толщину, не обеспечивают его динамическую устойчивость, в особенности при недостаточной плотности песка. Для устранения этого недостатка конструкции была рекомендована и осуществлена пригрузка верхового откоса плотины слоем карьерного гравийного грунта, поверх которого укладывалось монолитное армобетонное покрытие толщиной 40см. В последующем, практика длительной эксплуатации Шардаринской плотины показала надежность выполненной конструкции.

Для снижения кривой депрессии и предотвращения выклинивания фильтрационных вод на откос плотины проектом был предусмотрен закрытый

трубчатый дренаж в виде асбестоцементных перфорированных труб диаметром 400 мм с трехслойным обратным фильтром вокруг нее.

Первый слой фильтра – отмытый крупнозернистый песок диаметром 0,15-10 мм с коэффициентом фильтрации 25-30 м/сут, толщина слоя 20 см; второй слой – мелкий гравий диаметром 5-20 мм, толщина слоя 20 см; третий – гравий средней крупности диаметром 20-40 мм, толщина слоя -60 см.

Во избежание нарушения наружного слоя фильтра при намыве, последний защищался засыпкой из песка, намытого в теле плотины. Прослойки суглинка, встреченные на участках расположения трубчатого дренажа, полностью вскрывались котлованом призмы плотины до песков. Для предотвращения механической суффозии на входе грунтового потока в трубчатый дренаж, котлован ниже основания был заполнен карьерным песком.

Через каждые 100м на трубчатом дренаже расположены смотровые колодцы. Фильтрационная вода с озерного и пойменного участков дренажа плотины поступает в водосбросную канаву через сбросные трубы, расположенные через 200м. Водосбросная канава трапецеидального сечения, шириной по дну 1,0м с заложение откосов 1:1,5, располагается в основании низового откоса и проходит в виде открытой траншеи вдоль плотины. Сброс воды в реку осуществляется сетью сбросных каналов. Предусмотрено крепление водосбросной канавы монолитными армобетонными плитами только на озерном участке.

2.3.3. Наполнение водохранилища

Летом 1965 года при первоначальном наполнении Шардаринского водохранилища до отметок на 9-10 м ниже нормального подпертого уровня было обнаружено выклинивание фильтрационного потока на низовом откосе плотины, образование грифонов в нижнем бьефе плотины и в водосбросной канаве, с выносом грунта из тела и основания плотины сосредоточенными

токама. На озерном участке грифоны пробивали свежееуложенный бетон крепления канавы, что указывало на значительный градиент потока.

В наихудших условиях оказались участки водосбросной сети с наибольшим количеством грифонов в местах засорения песком перфорированной трубы в связи с механической суффозией. Особенно это проявилось в местах со значительным содержанием мелких и пылеватых частиц в первом слое дренажа.

Появление грифонов свидетельствовало о том, что выполненный трубчатый дренаж не только перехватывал фильтрационный поток, а значительные градиенты обусловили заметную суффозию материала основания и тела плотины.

Эти явления привели к необходимости внесения некоторых изменений в конструкцию водосбросной канавы. На озерном участке по дну канала был уложен двухслойный обратный фильтр, с выводом грунтовых вод через отверстия в бетонном креплении. Монолитное бетонное крепление откосов было заменено на сборное, уложенное по двухслойному фильтру.

На пойменном участке было принято решение произвести укладку двухслойного обратного фильтра по всему сечению дренажной канавы с заведением фильтра на откосы плотины на высоту до трех метров.

Из-за отсутствия на строительстве крупнозернистого песка, первый слой фильтра толщиной 25 см был выполнен из шагала, второй – толщиной 20 см – из крупного гравия. Дренаж укладывался на действующие грифоны, что привело к частичному перемешиванию его с песком и пылеватыми частицами, которые выносились из-под основания.

При повторном наполнении водохранилища, начатом в сентябре 1965 г., выход фильтрационного потока в водосбросную канаву привел к возникновению оползней на откосах и образованию грифонов с выносом песка основания, особенно на участках канавы, неукрепленных обратным фильтром.

На озерном участке канаву почти полностью занесло песком. Разгрузочные отверстия в дне канавы были забиты и не работали.

Пригрузка водосбросной канавы шагалом не дала требуемого эффекта, так как шагал не смог служить обратным фильтром по-своему грансоставу (из-за малого содержания в нем песчаных фракций). По мере выноса пылеватых частиц происходила кольматация шагала и затухание грифонов.

Однако после этого грифоны появлялись в новом месте. Количество грифонов доходило до 300 штук. Для ликвидации выноса песка было разработано два варианта дополнительных дренажных мероприятий:

1. Устройство в водосбросной канаве самоизливающихся разгрузочных скважин. Глубиной 12,5 м и диаметром 325 мм.

2. Устройство в водосбросной канаве второго ряда трубчатого дренажа, аналогичного выполненному, с присыпкой низового клина плотины отмытым песком.

Первый вариант оказался экономичнее, проще в производстве и позволял качественно выполнить строительные работы в условиях наполненного водохранилища и действующих грифонов.

Кроме того, устройство фильтров в разгрузочных скважинах потребовало значительно меньшего (в 10 с лишним раз) содержания крупнозернистого песка, что также имело немаловажное значение при выборе варианта дренажа, так как строительство располагало ограниченным количеством песка.

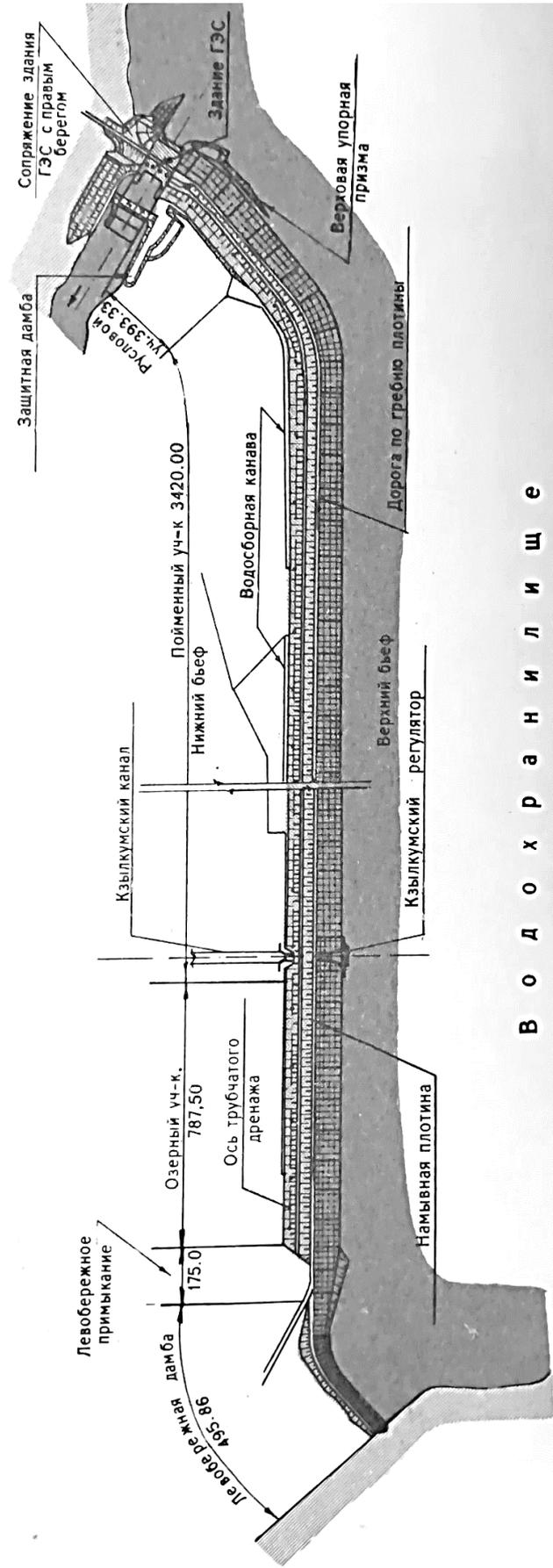
Устройство на опытном участке длиной 200м семнадцати разгрузочных скважин подтвердило эффективность их работы: вынос песка из тела плотины на этом участке прекратился. Дебит одной скважины составил 3-4 л/сек.

К моменту сдачи Шардаринского водохранилища в промышленную эксплуатацию по дну водосбросной канавы на всем ее протяжении были устроены самоизливающиеся разгрузочные скважины в количестве 250 штук с шагом 12,5 и 25 м.

К началу 1968г. уровень воды в водохранилище достиг отметки нормального подпертого горизонта.

При этом, дренаж плотины работал хорошо, вынос песка не наблюдался. В настоящее время суффозия также отсутствуют, что подтверждает эффективность принятых дополнительных дренажных мероприятий.

План Чардаринского гидроузла



В о д о х р а н и л и щ е

Рис.3.1. План Шардаринской плотины.

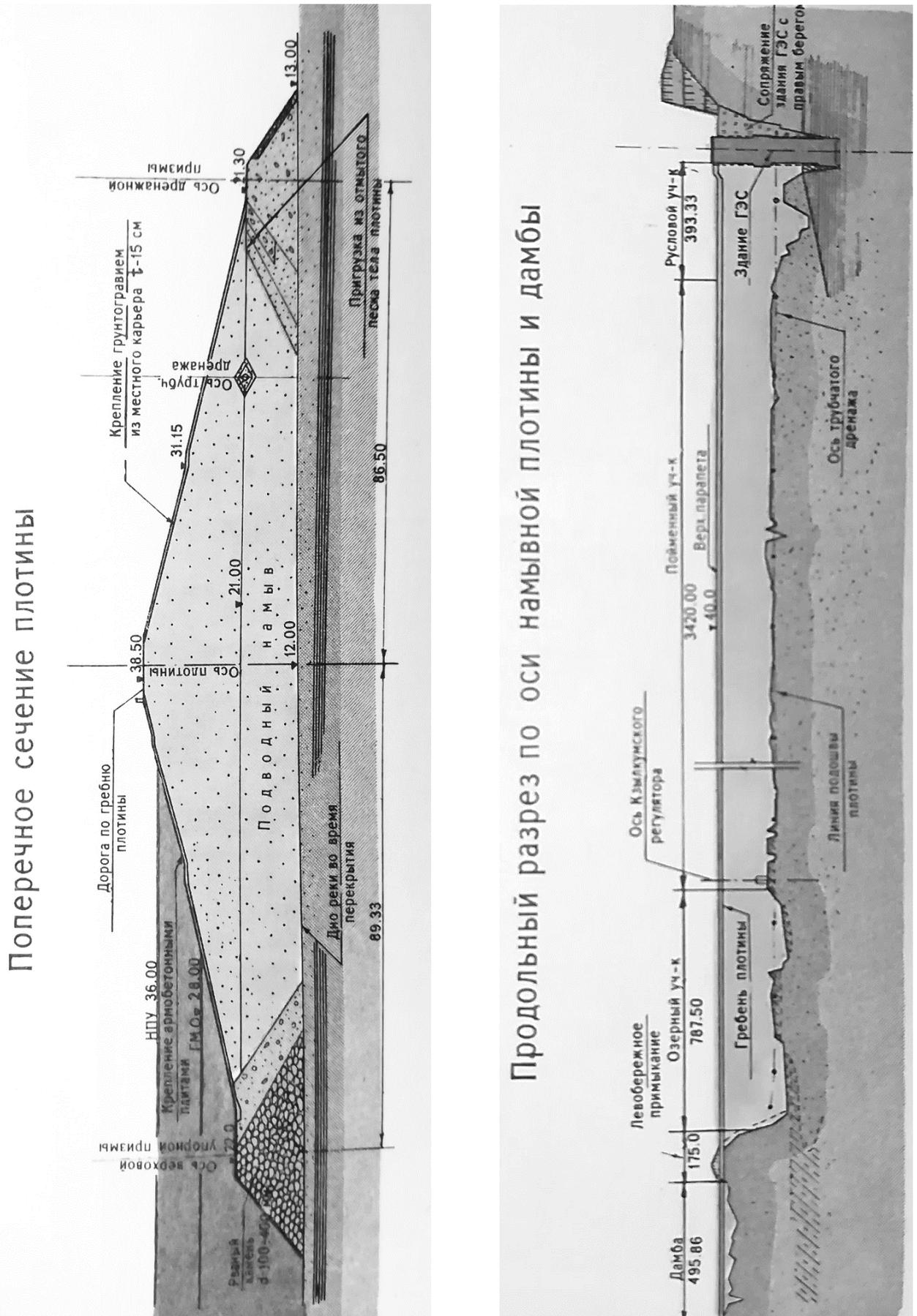
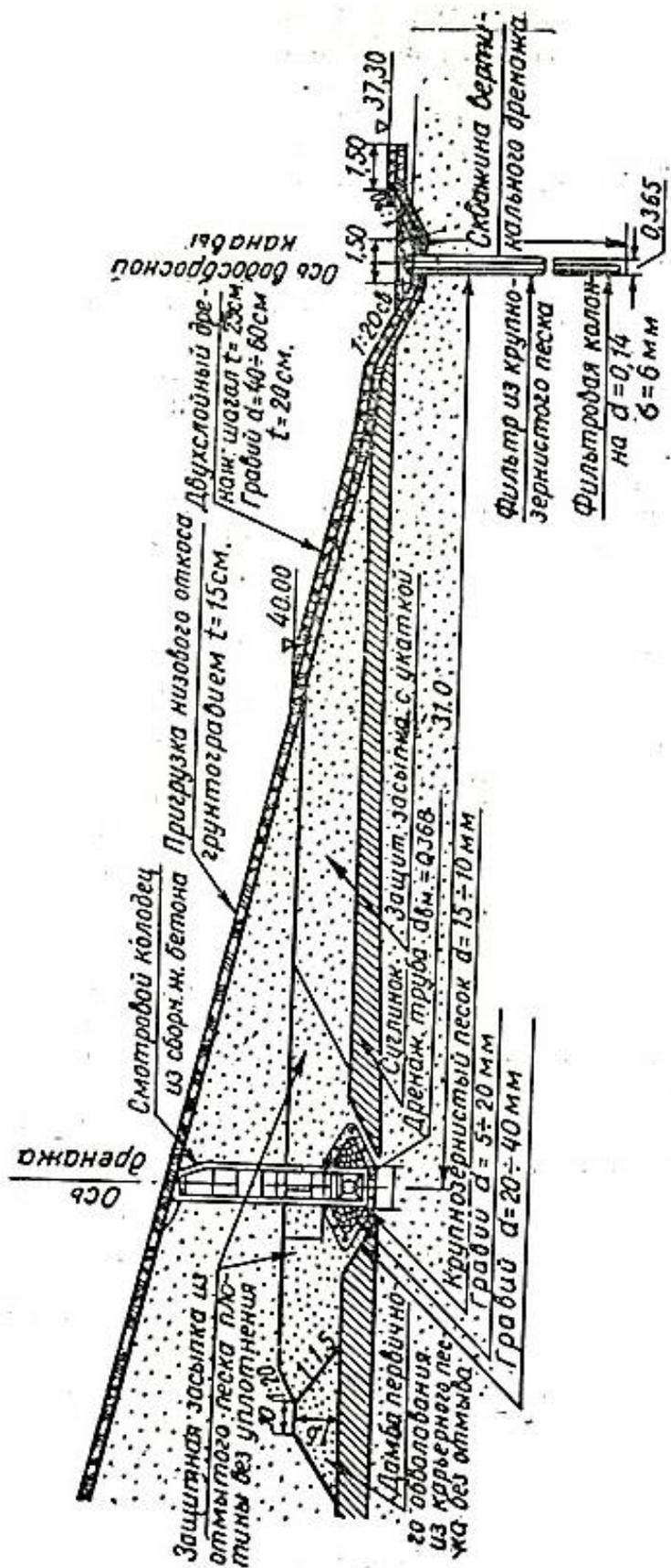


Рис.3.2. Поперечное и продольное сечение Шардаринской плотины.



Дренаж на пойменном участке плотины Шардаринского гидроузла.

Рис.3.3. Дренаж на пойменном участке плотины Шардаринского водохранилища

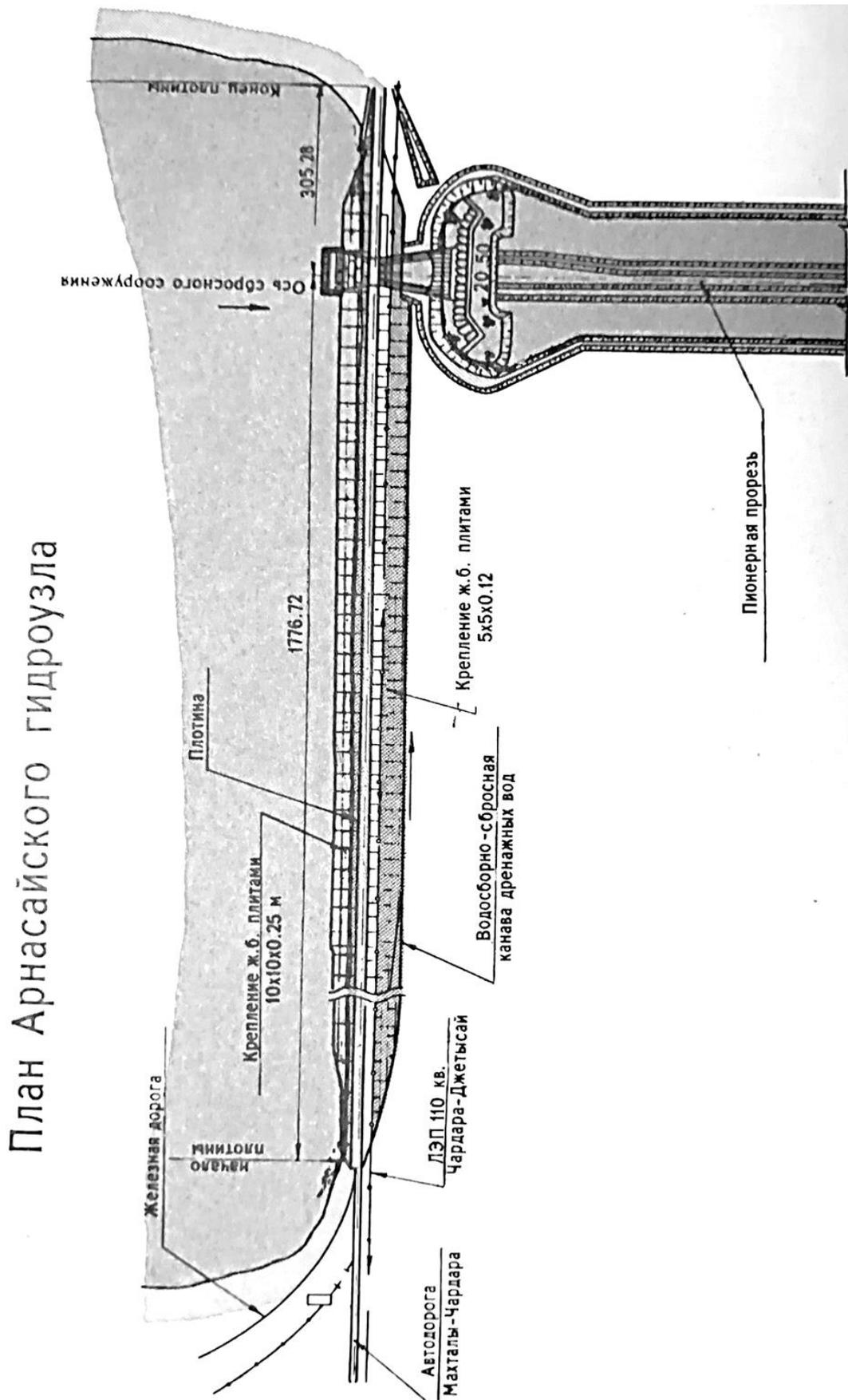


Рис.3.3 План Арнасайского гидроузла.

2.4. Инженерно-геологические условия тела плотины

Грунты тела плотины разделены на два инженерно-геологических элемента:

- Намывные пески, расположенные в зоне выше уровня фильтрационных вод;
- Намывные пески, расположенные в зоне ниже уровня фильтрационных вод, а также в зоне периодического водоснабжения.

В литологическом отношении грунты тела плотины представлены в основном песками мелкими, расположенными выше и ниже уровня фильтрационных вод.

Гранулометрический состав песчаных грунтов относится к группе полидисперсных (разнозернистых) грунтов. По степени отсортированности относятся к средне отсортированным пескам. Содержание фракции менее 0,1 мм от 15,7 до 19%.

Грунты основания плотины разделены на пять инженерно-геологических элемента:

- Пески пылеватые;
- Пески мелкие;
- Супеси;
- Суглинок;
- Меловые отложения (глины, алевролиты песчаники, гравелиты).

Все грунты основания находятся в водонасыщенном состоянии.

По длине тело и основание плотины разбиты по участкам:

- *Русловой участок и примыкание плотины к ГЭС (ПК4+26 – ПК8+35);*
- *Пойменный участок (ПК8+35 – ПК41+00);*
- *Участок правобережного примыкания плотины к Кызылкумскому регулятору (ПК41+00 – ПК42+00);*
- *Участок левобережного примыкания плотины к Кызылкумскому регулятору (ПК42+00 – ПК43+00);*
- *Озерный участок (ПК43+00 – ПК50+00);*
- *Левобережная дамба (ПК52+62 – ПК57+58).*

Русловой участок и примыкание плотины к зданию ГЭС (ПК4+26 – ПК8+35)

На описанном участке высота плотины 21-25 м (непосредственное примыкание (ПК4+26 – ПК4+00)). Плотности скелета грунтов, расположенных выше уровня фильтрационных вод, изменяются от 1,35г/см³ до 1,44 г/см³, со средним значением 1,38г/см³. Намывные грунты тела плотины, расположенные ниже уровня грунтовых вод по гранулометрическому составу преимущественно представлены песками мелкими. Плотность скелета грунтов изменяется от 1,42г/см³ до 1,62 г/см³, со средним значением 1,55г/см³.

Пойменный участок (ПК8+35 ПК41+00)

Данный участок самый протяженный на Шардаринской плотине, протяженность 3265м, высота плотины на участке в среднем составляет 18,0м. По гранулометрическому составу намывные грунты представлены песками мелкими, пылеватыми реже средними.

Плотность скелета грунтов, расположенных выше уровня фильтрационных вод, изменяются от 1,21 г/см³ до 1,58 г/см³, со средним значением 1,40 г/см³. Намывные грунты тела плотины, расположенные ниже уровня грунтовых вод по гранулометрическому составу преимущественно представлены песками мелкими. Плотность скелета грунтов изменяется от 1,42 г/см³ до 1,96 г/см³, со средним значением 1,66 г/см³.

Участок правобережного примыкания плотины к Кызылкумскому регулятору (ПК41-ПК42)

Данный участок имеет протяженность 100м, высота плотины в среднем составляет 17,0 м.

По гранулометрическому составу намывные грунты представлены песками мелкими, и средними. Плотность скелета грунтов, расположенных выше уровня фильтрационных вод, изменяются от 1,30 г/см³ до 1,63 г/см³, со средним значением 1,42 г/см³. Намывные грунты тела плотины, расположенные ниже уровня грунтовых вод по гранулометрическому

составу преимущественно представлены песками мелкими. Плотность скелета грунтов изменяется от 1,42 г/см³ до 1,96 г/см³, со средним значением 1,66 г/см³.

Участок левобережного примыкания плотины к Кызылкумскому регулятору (ПК42+00-ПК43+00)

Данный участок имеет протяженность 100 м, высота плотины в среднем составляет 18,0-19,0 м.

По гранулометрическому составу намывные грунты представлены песками мелкими, и средними, реже пылеватыми. Плотности скелета грунтов, расположенных выше уровня фильтрационных вод, изменяются от 1,39 г/см³ до 1,64 г/см³, со средним значением 1,48 г/см³. Намывные грунты тела плотины, расположенные ниже уровня грунтовых вод по гранулометрическому составу преимущественно представлены песками мелкими. Плотность скелета грунтов изменяется от 1,41 г/см³ до 1,73 г/см³, со средним значением 1,66 г/см³.

Озерный участок (ПК43+00-ПК50+00)

Данный участок имеет протяженность 700 м, высота плотины от 17,0 до 20,0 м.

По гранулометрическому составу намывные грунты представлены песками мелкими и пылеватыми. В общем объеме тела плотины на описываемом участке преобладают пески пылеватые, по данным гранулометрического анализа. Плотности скелета грунтов расположенных выше уровня фильтрационных вод изменяются от 1,31 г/см³ до 1,69 г/см³, со средним значением 1,43 г/см³.

Левобережная дамба (ПК52+62-ПК57+58)

Данный участок имеет протяженность 496м, высота дамбы от 5,0 до 6,0 м. По гранулометрическому составу намывные грунты представлены песками мелкими и пылеватыми. В общем объеме тела плотины на описываемом участке преобладают пески мелкие. По плотности сложения

грунты тела плотины выше и ниже уровня фильтрационных вод оцениваются как грунты средней плотности более $1,55\text{г/см}^3$.

2.5. Инженерно-геологические условия основания плотины

Основание плотины на русловом участке (ПК4+26- ПК8+35)

Основанием грунтов тела плотины в пределах руслового участка ПК4+26-ПК8+35 являются аллювиальные пески мелкие, средней крупности и пылеватые, но в целом преобладают пески мелкие, мощность которых от 6 до 10 м. Грунты находятся в водонасыщенном состоянии. Содержание пылевато-глинистых фракций до 7%.

В целом толща песчаных грунтов основания плотины на всю мощность оценивается как пески средней плотности, на момент изысканий находятся в стабильном состоянии, но при сейсмических воздействиях могут перейти в разжиженное состояние.

Аллювиальные пески подстилаются меловыми отложениями, представленными глинами, алевролитами, песчаниками.

Основание плотины на пойменном участке (ПК8+35-ПК41)

Основанием плотины в пределах описываемого участка являются четвертичные аллювиальные грунты. В верхней части разреза выделяется супесчано-суглинистый слой, в котором наблюдается частое замещение супесей и суглинков. Далее залегают песчаные грунты, которые можно разделить на два горизонта.

Верхний горизонт преимущественно состоит из песков пылеватых. При динамических воздействиях вероятность их разжижения весьма высокая.

Нижний горизонт представлен песками мелкими, в толще которых встречаются прослои супесей и песков пылеватых, средняя мощность горизонта 16,0 м. Грунты находятся в водонасыщенном состоянии. Несущая способность песков мелких достаточно высокая.

Результаты анализа гранулометрического состава грунтов, полученные в 2002 году, показали, что тело плотины имеет высокий потенциал для разжижения, которое может быть инициировано землетрясением

Параметры грунтов Шардаринской плотины

Материал	Объемная масса в сухом состоянии т/м ³	Параметры	
		tan φ	C (кг/см ²)
<u>Основание</u> Глина	1,5	0,51	0,15
Ил	1,5	0,51	0,03
Песок	1,6	0,56	0,15
<u>Тело плотины по участку</u>			
Русловой	1,39	0,547	0,122
Пойменный	1,39	0,544	0,124
Озерный	1,50	0,536	0,117

2.6. Сведения о состоянии плотины с начала строительства

Строительство плотины была завершено и заполнение водохранилища впервые было осуществлено в 1967-68 годах. За весь период эксплуатации на плотине не происходило особо опасных ситуаций, однако длительная 50-летняя эксплуатация плотины выявила некоторые проблемы. В частности,

Основная плотина

- Дренажная сеть в низовом откосе в течение многих лет эксплуатации частично заилилась;
- Дополнительные дренажные разгрузочные скважины заилены;
- При высоких уровнях в водохранилище в нижней части низового откоса появляется фильтрация, что хорошо просматривается на космоснимках;
- В верхнем бьефе имеется разгерметизация швов между бетонными плитами, что увеличивает риск фильтрации и суффозии в теле плотины;
- Большое количество пьезометров заилилось и вышло из строя;

Кызылкумский регулятор

Наблюдается разгерметизация стыков между железобетонными блоками водоводов, что привело к вымыванию частиц грунта из тела плотины и к частичному проседанию гребня на 3-5 см.

Заиление водохранилища

На настоящий период около 10% объема водохранилища заилено отложениями. Однако отложения не влияют на режим работы электростанции и Кызылкумского регулятора

Учитывая современное техническое состояние Шардаринской плотины и ее сооружений, а также имеющихся дефектов на плотине, согласно технического задания Комитета по водным ресурсам МЭГПР РК, ПК «Институт Казгипроводхоз» разработал Рабочий проект «Реконструкция и повышение сейсмостойчивости плотины Шардаринского водохранилища в Южно-Казахстанской области», который будет реализован в 2020–2021 годах.

Реализация данного проекта позволит повысить сейсмостойчивость плотины, реконструировать дренажную сеть, улучшить техническое состояние крепления верхового откоса, улучшить мониторинг за состоянием плотины, в том числе вести сейсмомониторинг на плотине.

После проведения реконструкции плотины, основные результаты данного проекта будут освещены во 2-й части данной брошюры, которая будет посвящена устойчивости действующих намывных плотин и повышению их технической безопасности.

2.7. Фотографии строительства плотины

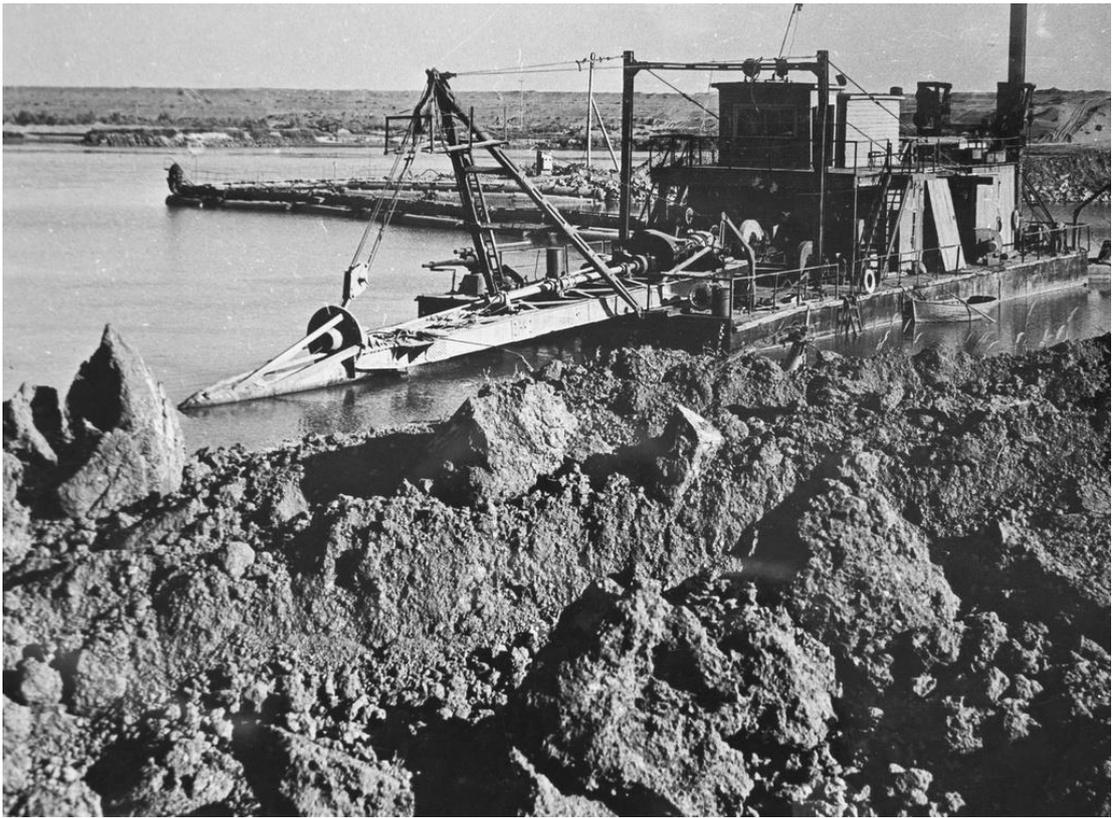


Рис.1. Гидромеханизация строительства Шардаринской плотины.



Рис.2. Транспортировка механизмов.

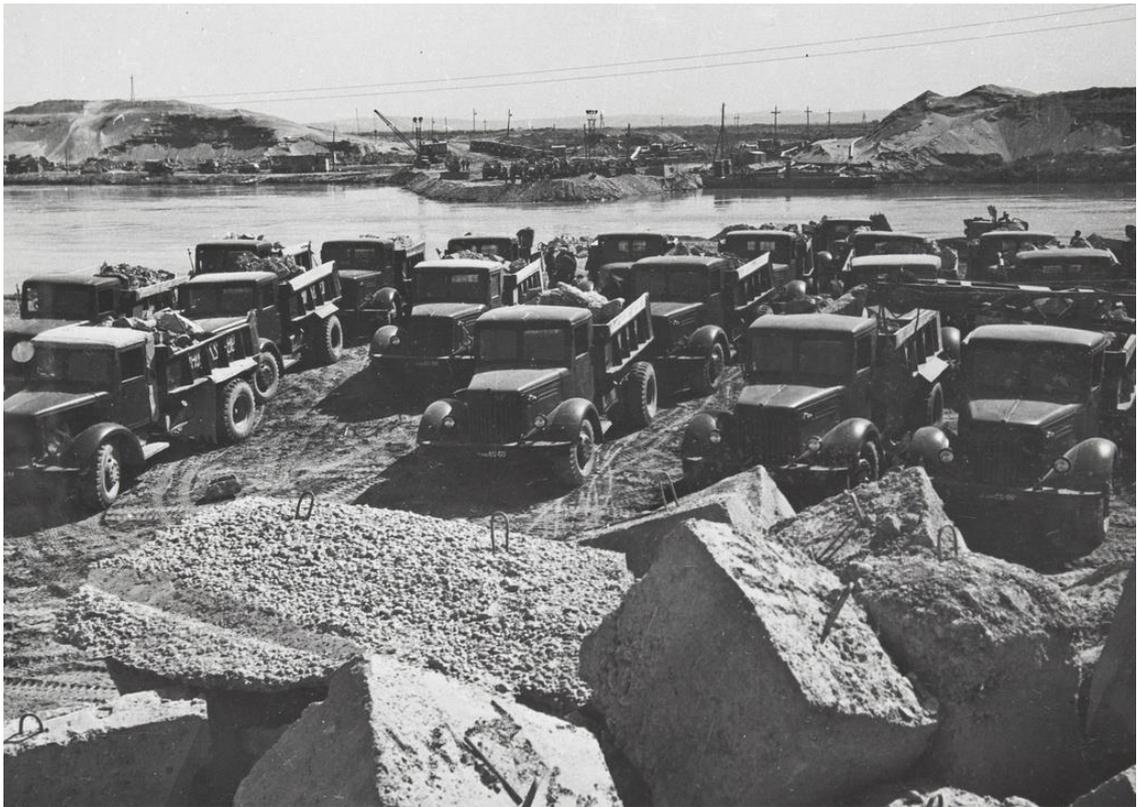


Рис.3.Автотранспорт при строительстве Шардаринской плотины.



Рис.4.Транспортировка грунта при строительстве плотины.

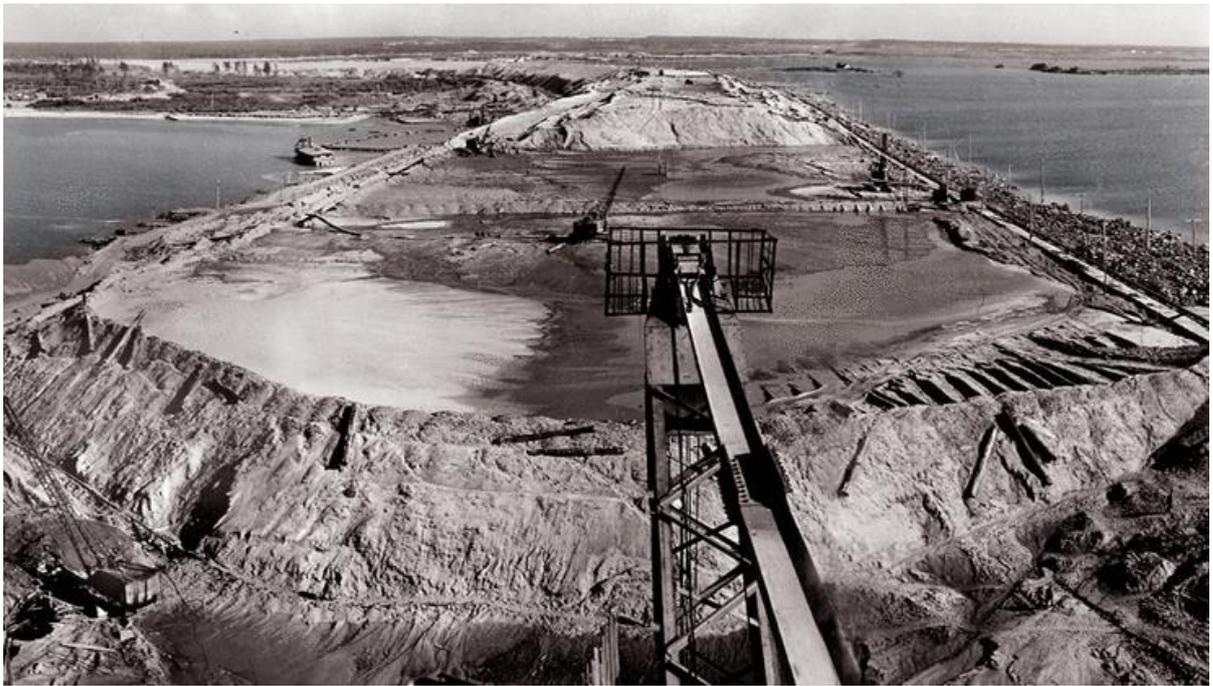


Рис.5.Намыв тела Шардаринской плотины.



Рис.6.Отсыпка упорной призмы Шардаринской плотины.



Рис.7. Разработка песка средствами гидромеханизации.

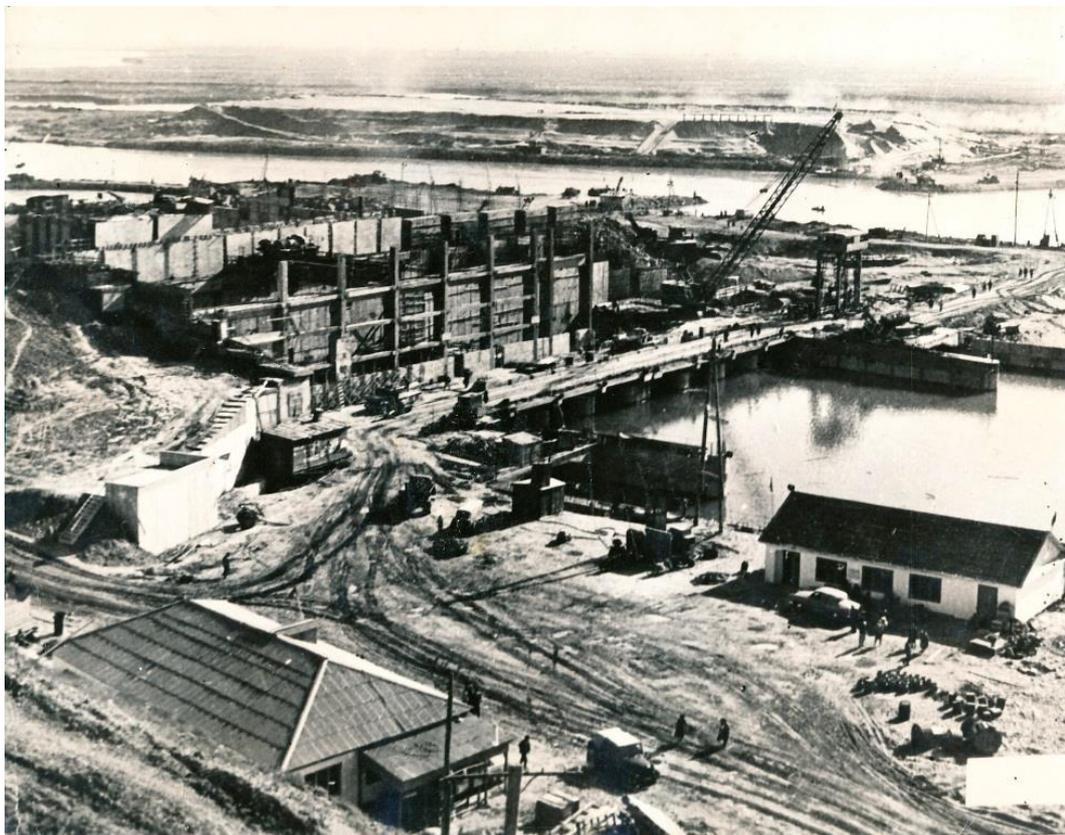


Рис.8. Строительство Шардаринской гидроэлектростанции.

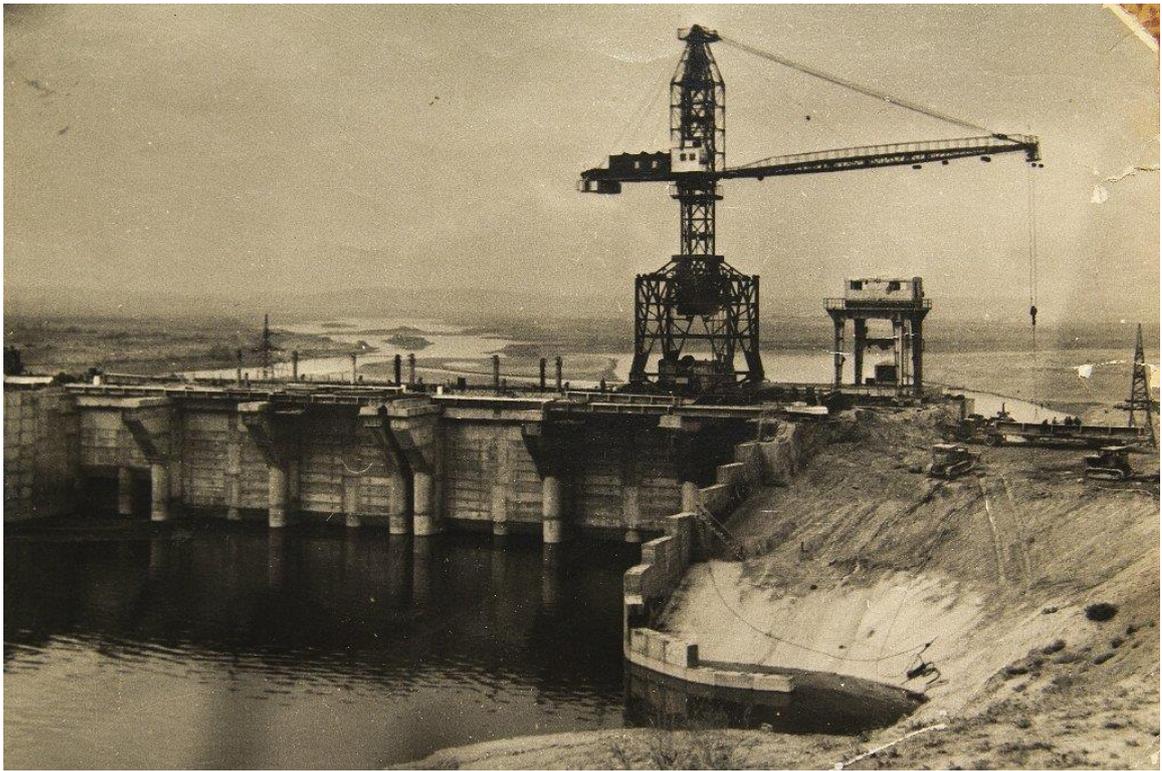


Рис.9.Строительство гидроэлектростанции Шардаринской плотине.

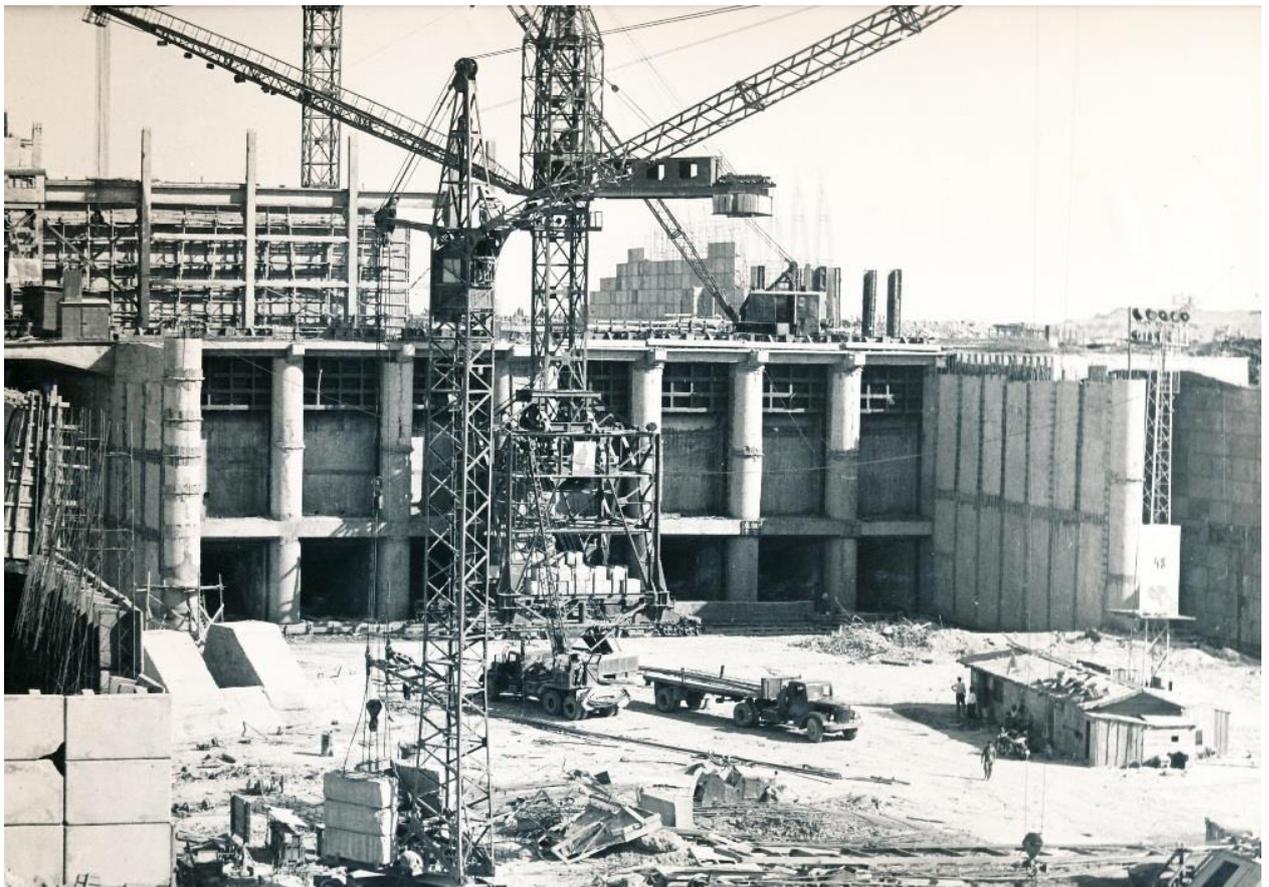


Рис.10.Строительство гидроэлектростанции, нижний бьеф ГЭС.



Рис.11. Завершение строительства Шардаринской плотины.



Рис.12. Построенная ГЭС Шардаринской плотины.



Рис.13. Водосбросное сооружение плотины.



Рис.14. Здание Шардаринской ГЭС.

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН. ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ.

Оценка сейсмоустойчивости намывных плотин имеет большое практическое значение, в целях дальнейшей безопасной эксплуатации действующих плотин, срок службы которых превысил 50 лет.

В частности, оценка сейсмоустойчивости более 30 плотин намывных плотин в США, проведенная после известного землетрясения в Сан-Фернандо в 1971 году, послужила материалом для изучения причин и характера деформаций, и дальнейшего развития методов расчета их сейсмостойкости.

Наблюдения за намывными плотинами, подвергавшимися сейсмическим воздействиям показали, что в этих сооружениях при землетрясениях могут возникать значительные осадки, продольные и поперечные трещины, а также случаи оползня откосов. Особенно уязвимыми являются верховые водонасыщенные откосы из слабо уплотнённых грунтов в верхней части плотины, которые при землетрясениях подвергаются наиболее интенсивным колебаниям.

(При сильном ($M=6,4$) землетрясении 9 февраля 1971 года вблизи г. Лос-Анжелеса, продолжавшемся в течение 12 секунд, серьезные повреждения получила земляная плотина Сан-Фернандо (нижняя, высотой 43.3 м), расположенная на расстоянии от эпицентра примерно в 22,5 км. Вблизи плотин Сан-Фернандо (нижней и верхней, $H=25$ м), максимальные (пиковые) значения горизонтальных ускорений достигали $0,6g$, сейсмостанцией, расположенной на скальном выступе вблизи левобережного примыкания арочной плотины Поконма ($H=113$ м), были зарегистрированы ускорения $1,25g$ по двум горизонтальным и $0,72g$ – по вертикальной составляющей.

Во время землетрясения 9 февраля 1971 года произошел большой (длиной 305 м) оползень верхового откоса вместе с бетонным парапетом и верхней частью низового откоса плотины Сан-Фернандо (нижняя), вызванный разжижением намытых песков в нижней части верховой призмы.

Верхняя часть (в пределах примерно 1/3 высоты) сооружения, возводившаяся позднее методом укладки насухо и укатки глинистого грунта, сохранила вою форму и монолитность при смещении по нижележащему разжиженному грунту. Оставшаяся низовая призма имела вертикальный откос, обращенный в сторону верхнего бьефа. Верхняя часть откоса с уклоном 1:2 осталась в первоначальном положении, однако была сильно деформирована и имела продольные трещины значительных размеров. В момент аварии уровень воды в водохранилище находился на 5 м ниже НПУ, а его объем составлял 1,36 км³ (55 % полной емкости).

В результате деформации превышение оставшейся части плотины над уровнем воды в верхнем бьефе составляло всего 1,5 м и возникла опасность прорыва плотины, тем более что слабые толчки еще продолжались. Поэтому было сразу же приняты меры по опорожнению водохранилища и временной эвакуации 80 тыс. жителей района, расположенного ниже плотины.

По мнению специалистов, катастрофы не произошло только потому, что в момент землетрясения уровень воды в водохранилище оказался на 5 м ниже НПУ и сразу были приняты меры для его опорожнения.

Плотина Сан-Фернандо (верхняя), возводившаяся вначале полунамывным способом, затем отсыпкой насухо, получила менее значительные деформации и повреждения в виде осадки на 0,9 м и смещения в сторону нижнего бьефа на 1,5 м.

При исследованиях Г.Сида и др., уже на ранней стадии был сделан вывод, что, причиной оползня откосов плотины Сан-Фернандо явилось разжижение намытого песка. Было установлено также, что наличие различных по гранулометрическому составу зон в теле плотины и довольно низкая плотность намытых песков (обычно имеющих пористость от 40 до 70%, в среднем 54%) делали их потенциально неустойчивыми при сейсмических воздействиях.

В связи с этим после землетрясения были выполнены исследования большого числа (более 30) намывных плотин с целью изучения прочности и устойчивости этих сооружений при сейсмических воздействиях и пересмотрены на основе накопленных знаний критериев их сейсмостойкости.)

Данные о проведении намывных плотин при землетрясении Сан-Фернандо в 1971 году послужили материалом для изучения причин и характера деформаций и повреждений этих сооружений, проверки и дальнейшего развития методов расчета их сейсмостойкости.

При этом было показано, что псевдостатический анализ с учетом инерционных нагрузок на сооружения от воздействия землетрясений, задаваемых коэффициентами сейсмичности, равными $(0,1-0,2)g$, является недостаточным для надежной оценки их сейсмичности.

В связи с этим американский исследователь Г.Сидом и его сотрудниками был разработан динамический метод расчета рассматриваемых сооружений на сейсмические воздействия, задаваемые записями (акселерограммами и др.) землетрясений с учетом реальных динамических свойств грунтов.

При использовании этого метода предусматривается выполнение следующего комплекса исследований и расчетов:

- 1) Исследование характеристик грунтов основания и намытого тела плотины, включая отбор проб для лабораторного определения геофизическими методами скоростей распространения в них упругих поперечных волн;
- 2) Определение статических напряжений в системе «основание-сооружение» до землетрясения;
- 3) Оценка расчетных ускорений, которые могут возникнуть, при заданном очаге землетрясения в коренных породах, подстилающих основание плотины;

- 4) Расчет по методу конечных элементов динамических сдвигающих напряжений в различных точках основания и намытого тела плотины при колебаниях коренных пород, заданных акселерограммой расчетного землетрясения;
- 5) Экспериментальные исследования прочностных свойств (сопротивления сдвигу) грунтов основания и тела плотины в приборах трехосного сжатия при циклических нагрузках;
- 6) Проверка динамической устойчивости грунтов основания и намытого тела сооружения исходя из сравнения динамических напряжений, найденных из их расчета по МКЭ на воздействие, заданное акселерограммой землетрясения, с динамической прочностью (сопротивлением сдвигу) тех же грунтов, найденных с помощью их испытаний в приборе трехосного сжатия.

Состав и степень детальности исследований по определению расчетных характеристик грунтов основания и тела плотины варьируют для каждого отдельного сооружения в зависимости от того, насколько широки и достаточны были сведения изысканий, проведенной с иными целями. Однако считается обязательным проведение детальных изысканий хотя бы одного поперечного сечения каждой плотины (обычно имеющего максимальную высоту).

Расчет статических напряжений в основании и теле плотины, имеющий очень важное значение для обоснованного экспериментального определения динамической прочности грунтов, обычно производится по методу конечных элементов. Задача выбора наиболее сильных вероятных землетрясений в районе расположения плотины и оценки изменения ускорений скального основания, вызываемых этими землетрясениями, является очень сложной и решается на основании изучения сейсмичности, геологии и тектоники района.

По данным лабораторных исследований динамической устойчивости намытых песков было установлено, что их минимальная прочность отвечает

5% деформации сжатия или полному разжижению при циклических нагрузках. Поскольку разжижение грунтов при лабораторных испытаниях на трехосное сжатие наблюдается в очень редких случаях, в качестве критерия их разрушения была принята 5%-ная деформация. При этом коэффициент безопасности больше единицы соответствует деформации в опытах на циклическое трехосное сжатие менее 5%, а коэффициент безопасности меньше единицы соответствует деформации более 5%.

Вместо коэффициента безопасности часто употребляется понятие потенциала деформации, характеризуемого осевой деформацией образцов в условиях циклического трехосного сжатия при напряжениях с параметрами, отвечающими их значениям в натурном сооружении при расчетном землетрясении. В этом случае система –«плотина-основание» часто делится на зоны с потенциалом деформации менее 5%, 5-10% и более 10%. При такой методике более наглядно характеризуется возможная потенциальная деформация по всей плотине.

При такой методике производились исследования сейсмостойкости ряда намывных плотин, основанные на определении максимальной прочности грунтов при разном числе циклов пиковых ускорений с амплитудами от 0,1 и 0,75g и ее сравнение с максимальными расчетными значениями сдвигающих напряжений в системе «плотина- основание». Таким образом, была произведена оценка коэффициента безопасности или потенциала деформации для разных зон исследуемых сооружений.

В результате проведенных исследований и расчетов было установлено, что ряд плотин нуждается в усилении, некоторые перестроить, одну плотину вывести из эксплуатации, одну плотину эксплуатировать при пониженных отметках уровня воды в водохранилище гарантирующих устойчивость сооружения.

Существует также мнение, что при ускорениях грунта, превышающих (0,2-0,3)g, возможно разрушение многих намывных плотин. Вместе с тем. По

некоторым плотинам порог ускорения, вызывающего разрушение грунта при продолжительных по времени низкочастотных колебаниях может быть менее $0,2g$, а при кратковременных высокочастотных колебаниях – более $0,3g$.

Таким образом, сейсмоустойчивость намывных плотин является до конца не исследованным, в связи с очень большим разнообразием местных условий, рельефа и геологии. Особое внимание требует полноценное изучение истории строительства намывных плотин, способов укладки и достигнутых плотностей грунта тела плотин.

К сожалению, на большей части намывных плотин, построенных более чем 40-50 лет назад, в полном объеме не сохранились рабочие чертежи плотин, лабораторные данные грунтов в период намыва плотин, происшедших за период эксплуатации деформаций в теле плотин.

Все это требует применения современных методов и приборов для более детальной оценки грунтов тела плотины и состояния сооружений водохранилищ.



Рис.4.1. Плотина Сан-Фернандо – до землетрясения.



Рис.4.2. Нижний бьеф плотины Сан-Фернандо. Нижний бьеф застроен.



Рис.4.3. Плотина Сан-Фернандо – после землетрясения и обрушение плотины. Вид с правого борта.



Рис.4.4. Плотина Сан-Фернандо – после землетрясения и обрушение плотины. Вид с левого борта.

ДЛЯ ЗАМЕТОК:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____