

А.А.ЖУМСКИЙ

Водозаборные плотины на реках Средней Азии

В. Д. ЖУРИН НОМИДАГИ МЕҲНАТ ҚИЗИЛ БАЙРОҚ ОРДЕНЛИ
ЎРТА ОСИЁ СУВ ПРОБЛЕМАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА
ИЛМИЙ ТЕКШИРИШ ИНСТИТУТИ

А. А. ЖИМСКИЙ

ЎРТА ОСИЁ
ДАРЁЛАРИДАГИ СУВ
ЧИҚАРУВЧИ ТЎҒОНЛАР

ЎЗБЕКИСТОН ССР «ФАН» НАШРИЕТИ
ТОШКЕНТ-1965

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ им. В. Д. ЖУРИНА

А. А. ЖИМСКИЙ

ВОДОЗАБОРНЫЕ ПЛОТИНЫ НА РЕКАХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ. 1985

В монографии обобщены данные об основных построенных и некоторых строящихся и проектируемых плотинах Средней Азии с водозаборами индийского, ферганского, послойного и решетчатого типов. Изложена история развития и достижений проектных, исследовательских и строительных организаций в этой области.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников гидротехнической специальности, а также на студентов гидромелиоративных институтов и факультетов.

Ответственный редактор

заслуженный ирригатор УзССР,
кандидат технических наук

С. Г. ЗАПРОМЕТОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В текущем двадцатилетии предстоит выполнить огромные объемы работ по орошению новых и мелиорации используемых земель, что потребует возведения разнообразных ирригационных сооружений.

В научных, проектных, строительных, а также эксплуатационных организациях Средней Азии накоплен большой опыт по этим проблемам, однако он не обобщен, следовательно, не может быть использован в должной мере в предстоящем строительстве.

Мы поставили целью ознакомить инженеров и техников соответствующих профилей с историей возведения, вопросами проектирования, строительства, эксплуатации водозаборных плотин на реках Средней Азии, с научно-исследовательской работой, сделанной в этой области.

В нашем труде даются сведения по 25 действующим и трем намечающимся к строительству водозаборным плотинам. По трем наиболее крупным плотинам, возведенным под руководством или с участием автора, вопросы производства работ и эксплуатационных мероприятий освещаются более подробно.

Описываемые плотины разделены на четыре типа с соблюдением хронологической последовательности по их сооружению, что позволит получить полное представление о развитии каждого типа и ознакомиться с созданием проектными и научными организациями Средней Азии подлинной школы строительства многочисленных водозаборных плотин.

Большую и ценную помощь при составлении данной книги автору оказали Ю. И. Горский, А. М. Мухамедов, В. Ф. Поярков, А. П. Ушаков.

КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ОРОШЕНИЯ В СРЕДНЕЙ АЗИИ

Ученые предполагают, что земледельческая культура в Средней Азии возникла прежде всего в верховьях Амударьи и Сырдарьи. В начале первого тысячелетия до н. э. степные районы Средней Азии были заняты кочевниками-скотоводами, а земли плодородных речных долин использовались под земледелие.

Наибольшее развитие ирригационные системы имели в период с середины первого тысячелетия до н. э. до середины первого тысячелетия н. э.

Арабский путешественник и географ Якут, посетивший Хорезм накануне монгольского нашествия на Среднюю Азию в XIII в., писал, что в мире нет более обширных и более заселенных орошаемых земель. Другой путешественник — Ибн Батут, пересекший правобережный Хорезм в начале XIV в., не нашел здесь ни одного селения — страна была опустошена, культура уничтожена.

Как установлено исследованиями советских ученых, исчезновение древней культуры в этих местах обусловлено не изменением течения рек, не наступлением песков и засушливых периодов, а прежде всего социальными факторами. Поэтому имеется полная возможность восстановить здесь орошение до прежних размеров и развить дальше.

Царское правительство и капиталисты на протяжении примерно 50 лет (1870—1917 гг.) занимались проблемами орошения Средней Азии, но почти безуспешно. Объясняется это положение главным образом тем, что феодальные и полуфеодальные отношения к этому периоду сохранились неприкосновенными, вода оставалась средством эксплуатации и порабощения трудящихся; кроме того, не было квалифицированных специалистов в области искусственного орошения.

К началу первой мировой войны вопросами ирригации в Средней Азии, особенно в Фергане, Голодной степи и бассейне Амударьи, в целях получения высоких прибылей заинтересовались капиталистические круги.

В период гражданской войны (1917—1921 гг.) общая площадь поливных земель в Средней Азии сократилась почти вдвое, а посевы хлопчатника — в 10 раз, так как не производился ежегодный ремонт, очистка каналов и сооружений, не велась борьба с заболачиванием и разрушениями.

В мае 1918 г. В. И. Ленин подписал исторический декрет «Об ассигновании 50 млн. руб. на оросительные работы в Туркестане и об организации этих работ».

После окончания гражданской войны развернулись восстановительные работы в области ирригации. В 1928—1930 гг. площади поливных земель были доведены по разным республикам примерно до прежних размеров, посев хлопчатника значительно увеличен. В 1924 г. проведено национальное размежевание Туркестана, через год изданы исторические декреты о национализации земли и воды и о земельной реформе. Конфискованные у нетрудовых элементов земли распределены между хозяйствами дехканской бедноты.

С этого времени в среднеазиатских республиках стремительно начала развиваться ирригация. К 1933 г. площади орошаемых земель увеличились против довоенных почти в два раза. Советский Союз уже не нуждался в ввозе хлопка из заграницы.

Если за 50 лет царскому правительству удалось охватить оросительной сетью в Средней Азии 90 тыс. га, то за 40 лет Советской власти здесь вместе с Казахстаном орошалось (по данным Гипроводхоза СССР) 4 254 тыс. га, а в 1960 г. — уже 5 240 тыс. га. Следует, однако, отметить, что из охваченных оросительной сетью земель фактически поливалось лишь около 70%. В дальнейшем необходимо продолжать как ирригационные, так и мелиоративные работы.

В нашей краткой исторической справке можно указать следующие основные этапы упорной борьбы за землю и воду в Средней Азии (рис. 1):

1. Реконструкция старых и создание новых ирригационных систем. В первой пятилетке (1928—1932 гг.) широко развернулись работы по строительству новых и реконструкции старых оросительных систем, а также по осушению сильно заболоченных земель посредством дренажа. Эти работы продолжают в еще больших размерах в настоящее время [7, 20, 21, 37, 51].

2. Мелиорация существующих поливных земель. Во второй пятилетке (1933—1937 гг.) основные усилия были направлены на увеличение урожая хлопка. Для этого проведены крупные мелиоративные работы: а) построена мощная сеть Сарысуйских коллекторов для осушения низменной части Центральной Ферганы в низовьях Карадарьи; б) в Центральной Фергане созданы Файзабадский коллектор и Асакский сброс с расходом воды до 150 м³/сек.

За последние годы в низовьях Амударьи проведены большие работы по строительству Озерного коллектора длиной 212 км и Дарьялыкского — 180 км со сбросом воды в огромную Сарыкамышскую впадину. Осушительные работы проведены и ведутся также в бассейнах других рек.

3. Межречные перебросы воды. Известно, что расширение площадей нового орошения зачастую приводит к недостатке воды в источниках водоснабжения. Большую роль в разрешении этого вопроса играют межречные перебросы воды, позволяющие обходиться без создания дорогих водохранилищ. В годы двух первых пятилеток произведены огромные объемы работ по ирригации, однако темпы их были недостаточны, они не обеспечивали возросших потребностей сельского хозяйства.

Перед Отечественной войной в Узбекистане началась всенародная борьба за воду, быстро распространившаяся по всем среднеазиатским республикам. Начало творческой активности масс положено весной 1939 г. на Ляганском канале длиной 22 км, построенном колхозниками Ферганы за 10 дней вместо года, как предусматривалось проектом. Народными силами весной 1939 г. в Узбекистане возведено 46 ирригационных каналов с объемом земляных работ около 2,5 млн. м³. Осенью 1939 г. 160 тысяч колхозников соорудили Большой Ферганский канал длиной 350 км для ликвидации маловодья в 20 районах УзССР и

ТаджССР. Методами народной стройки в 1939 г. сооружен Северный Ферганский канал длиной 165 км, что позволило улучшить поливы десятков тысяч га земель старого орошения и развить его на новых землях в районе Намангана УзССР и в Аштском районе ТаджССР. Созданная в 1937 г. Кувинская ветка в должной мере не обеспечивала водой Ферганскую группу хлопковых районов. Поэтому в 1950 г. ветку расширили, а также построили Южный Ферганский канал длиной 108 км.

С эксплуатацией Большого, Северного и Южного Ферганских каналов стало возможным регулирование и перераспределение водных ресурсов на осваиваемых землях Центральной Ферганы.

В Ташкентской области острый недостаток в воде испытывала Пскентская группа районов, так как на р. Ахангаран паводки проходят весной, а к июлю русло реки пересыхает. В начале 1940 г. методами народной стройки построен канал, по которому воды многоводного Чирчика через русло Ахангарана потекли в Пскентский и Аккурганский районы.

В 1941—1942 гг. осуществлена переброска излишков воды р. Душамбинки из Гиссарской долины ТаджССР в долину маловодной Сурхандарьи, где имеется значительное количество плодородных земель.

Для подачи воды из бассейна Зарафшана в бассейн Кашкадарьи в 1954—1962 гг. проведены большие работы по строительству водного тракта Иски-Ангар длиной 181 км, что обеспечит орошение 40 тыс. га новых земель.

Указанные и другие перебросы воды позволили повысить водообеспеченность систем без постройки дорогостоящих водохранилищ.

4. Сооружение новых водозаборных узлов. Прорытые в глубокой древности крупные каналы в Южном Хорезме имели по несколько водозаборных сооружений местного типа для забора воды из Амударьи в периоды ее спада после паводков. В многоводье часть головных сооружений во избежание разрушений закрывалась, что представляло большие трудности.

За годы Советской власти произведены огромные работы по инженерному переустройству средневековых выводов из Амударьи, так как из-за их необорудованности часто нарушалась нормальная подача воды в паводки. В нижнем ее течении у мыса Тахиаташ сосредоточены инженерные водозаборы правобережного канала Кызкеткен и левобережного им. Ленина. Выше по правому берегу в 1949 г. укреплен головка нового канала Назархан-Арна.

Еще выше водозаборы старых каналов неустойчивого правого берега в районе Турткуля объединены в 1928 г. в один канал Пахта-Арна с инженерным головным сооружением в скале.

Неустойчивые водозаборы старых каналов левого берега Южного Хорезма переключены на Ташсакинский канал с мощным головным регулятором в твердых грунтах [9].

В настоящее время проводятся изыскательские и проектные работы по сооружению первых на Амударье плотин: Тахиаташской, Тюямуюнской и Кызылаякской.

В долине Сырдарьи на протяжении более 2000 км расположены плодороднейшие земли Ферганы, Ленинабадской области ТаджССР, Дальверзинской и Голодной степей, Чирчик-Ахангаранской долины, Чардаринской и Арысь-Туркестанской степей. Дальше, вплоть до Аральского моря, идут богатейшие пойменные земли вдоль современного, а также древних русел Сырдарьи [7, 12, 13, 42, 49]. Размеры орошаемых площадей здесь увеличились в 3—4 раза с вступлением в эксплуатацию крупных водозаборных плотин, обеспечивающих вывод из реки и ее притоков больших расходов воды:

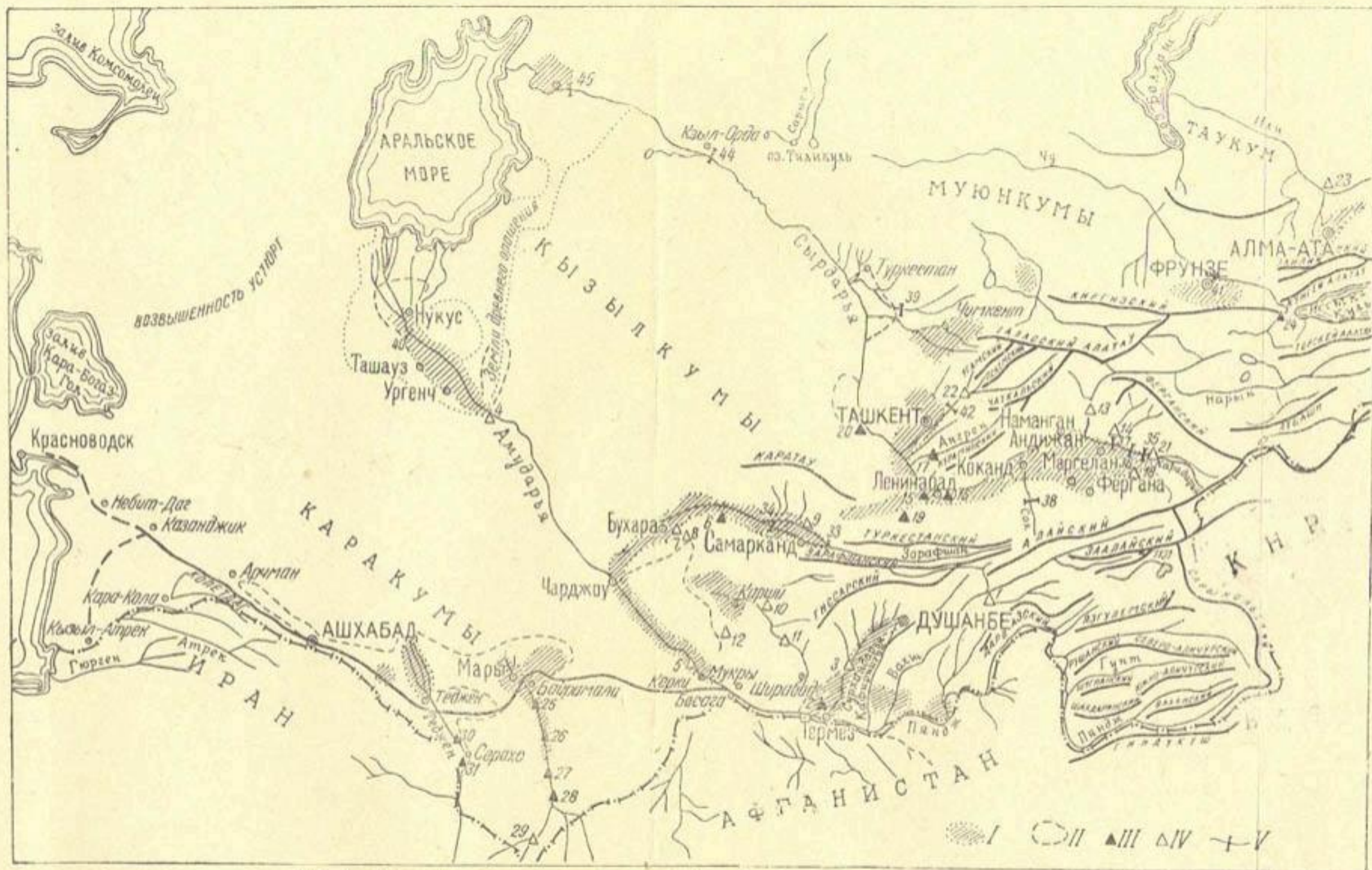


Рис. 1. Орографическая схема Средней Азии с оазисами поливного земледелия:

I — орошение; II — предполагаемое орошение; III — водохранилища; IV — будущие водохранилища; V — водозаборные плотины.
 Водохранилища: 1 — Нурукское; 2 — Учкызыльское; 3 — Южносурханское; 4 — Тюямуяновское; 5 — Кызылсайское; 6 — Каттакуртанское; 7 — Куимазарское; 8 — Тулакульское; 9 — Джизакское; 10 — Чимкуртанское; 11 — Пачкаамарское; 12 — Талиманажирское; 13 — Токтогульское; 14 — Уртагожайское; 15 — Фархадское; 16 — Кайраккумское; 17 — Тюябугузское; 18 — Керкидонское; 19 — Каттасайское; 20 — Чрдаринское; 21 — Кампырраватское; 22 — Чараакское; 23 — Канчагайское; 24 — Ортогожайское; 25 — Гиндукушское; 26 — Иолотанское; 27 — Сарыташское; 28 — Ташкенпринское; 29 — Тахтабизарское; 30 — Тедженское 1-е; 31 — Тедженское 2-е.
 Водоподъемные плотины: 33 — Первомайская; 34 — Дамходжинская; 35 — Кампырраватская; 36 — Тешикташская; 37 — Куйганьярская; 38 — Сарыкуртанская; 39 — Арысь-Туркестанская; 40 — Тахнаташская; 41 — Чумайская; 42 — Газалкентская; 43 — Фархадская; 44 — Кызыл-Ординская; 45 — Казалинская.

	м ³ /сек	Год
Газалкентская	300	1939
Кампырраватская	230	1939
Куйганьирская	175	1939—1957
Фархадская	470	1948
Кзыл-Ординская	318	1956
Тешикташская	100	1960
Строящаяся Казалинская плотина с выводом	215	1964

5. Развитие машинного орошения. По данным Главгипроводхоза, площади машинного орошения в 1957 г. по республикам Средней Азии составляли около 300 тыс. га; за последние годы они резко возросли. В результате проделанных работ почти все самотечно орошаемые земли в ТаджССР освоены. К 1970 г. предполагается довести площади земель машинного орошения до 200 тыс. га.

Еще большее развитие машинное орошение получит в ближайшие годы за счет энергии строящихся Нурекской, Токтогульской, Чарвакской ГЭС и построенной Навоинской ТЭЦ. Для этого на Амукаракумском канале, создающемся Амубухарском канале и будущих каналах Каршинской степи предусматривается сооружение ряда насосных станций и наливных водохранилищ [5]. В прикопетдагских районах ТуркмССР с успехом применяется орошение грунтовыми водами из скважин, оборудованных электронасосами.

В последние годы стоит вопрос о резком увеличении площадей машинного орошения грунтовыми водами во всех республиках Средней Азии.

6. Создание водохранилищ. Первые водохранилища Средней Азии, как, например, три водохранилища на р. Мургаб, построенные еще в дореволюционный период, создавались главным образом в тех местах, где была особо большая нехватка в поливной воде или же вода совсем отсутствовала.

Постоянный дефицит ее в бассейне р. Зарафшана с постройкой в 1942 г. наливного Каттакурганского водохранилища емкостью 0,66 км³ частично уменьшился.

Недостаток воды в долине Сырдарьи значительно снизился после создания в 1956 г. самого большого в Средней Азии Кайраккумского водохранилища у г. Ленинабада емкостью 4,16 км³. Однако и его запасов оказалось недостаточно в маловодные 1961—1962 гг.

Непрерывное освоение новых земель в Средней Азии и вместе с тем отставание с сооружением водохранилищ неизбежно приводит к общему острому дефициту в поливной воде, что тяжело отражается в маловодные годы на урожайности хлопчатника. В связи с этим в широких масштабах начато строительство больших водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования [8, 33].

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕРВЫХ ПЛОТИНАХ ИНДИЙСКОГО ТИПА И ДРУГИХ

По своему целевому назначению все плотины можно разделить на водозаборные и водохранилищные. В республиках Средней Азии сооружено много водозаборных плотин, накоплен значительный опыт в их проектировании, строительстве и эксплуатации. В научно-исследовательских институтах среднеазиатских республик проделана большая работа по изучению плотин в натуре, а также в лабораторных условиях.

В последние годы опубликованы ценные работы, обобщающие этот опыт. Следует отметить труды С. Т. Алтунина [1, 2], К. Ф. Артамонова [5], А. П. Ушакова, В. Н. Шолохова и И. Я. Якштас [46], А. И. Арыковой и Р. Ж. Жулаева [6]. Конструкции построенных плотин и производство работ авторами, к сожалению, не освещаются.

В настоящей работе систематизируются типы сооруженных плотин и даются необходимые выводы, могущие быть полезными в будущем.

Водотоки Средней Азии по уклонам дна находятся в состоянии динамического равновесия. Появление внешних препятствий вызывает значительные деформации русла, например занесение наносами верхнего бьефа перед плотиной, размыв нижнего бьефа за нею. Недоучет в проекте этих обстоятельств приводит к нарушению функций сооружения, а иногда к его повреждению.

Вопросы гидравлики жидкого стока достаточно изучены и имеют подчиненное значение, уступая место гидравлике твердого стока [3, 4, 26, 28, 29, 30, 31]. Поэтому по методам защиты от донных наносов все построенные и строящиеся плотины можно разделить на четыре основных типа:

1) плотины индийского типа, сооруженные в 1925—1935 гг., когда только намечались пути борьбы с донными и взвешенными наносами;

2) плотины поперечной циркуляции, или ферганские, с изгибом потока при подходе к плотине и регулятору, с развитием в связи с этим здесь соответствующих сил инерции [34];

3) плотины послойного типа с использованием в прямолинейном потоке разного содержания наносов по вертикали [17];

4) плотины решетчатого типа с разделением донных наносов на решетке, перекрывающей водозаборную галерею в теле плотины [6].

Имеются плотины, являющиеся комбинацией ферганских и послойных; выдвинуты предложения о строительстве плотин, сочетающих решетчатый и ферганский типы водозабора [41, 44, 45].

Первые построенные в Средней Азии плотины: вододелитель у Раватходжи (1917 г.), Араванская (1926 г.), Первомайская (1929 г.), Кугартская (1931 г.) — оказались неудачными. Блуждание потока пе-

ред ними, попадание наносов в каналы выводили водозаборы из строя.

Чумышская плотина послонного типа (1934 г.) на р. Чу тоже не дала положительных результатов. С улучшением компоновки и конструкций в дальнейшем плотины этого типа получили распространение: Кзыл-Ординская (1957 г.), Тешикташская (1960 г.), с 1964 г. строится Казалинская плотина.

С развитием теории поперечной циркуляции потока и наносов началось строительство плотин ферганского типа: Кампырраватской (1939 г.), Сарыкурганской (1947 г.), Дамходжинской (1955 г.), Ангренской (1957 г.), Навоинской и многих других.

В последние годы построены комбинированные плотины послонного и ферганского типов на Западном (1954 г.) и Восточном (1955 г.) Чуйских каналах, Куршабская (1955 г.) — на р. Куршаб в КиргССР. С 1950 г. в Киргизии началось сооружение плотин решетчатого типа. Область их распространения — предгорные участки рек с большим количеством донных наносов при водозаборе до $10 \text{ м}^3/\text{сек}$.

В 1961 г. в лаборатории САНИИВПиГ разработаны принципы комбинированного водозабора решетчатого и ферганского типов [45].

Приводим следующие примеры первых неудачно запроектированных и разрушенных плотин.

ВОДОДЕЛИТЕЛЬ У РАВАТХОДЖИ

Вододелитель на р. Зарафшан у Раватходжи (1913—1917 гг.) длиной 178,8 м располагался поперек реки и имел пять отверстий, разделенных бетонными быками толщиной по 2 м (рис. 2). Четыре из них делились на пролеты стойками-пазами, склепанными из швеллеров № 26, расстояние между стойками — 4 м. У плотохода шириной 12,8 м стоек не было. Все отверстия работали по принципу лобового водозабора. Два крайние из них, выполняющие роль шлюзов-регуляторов, шириной 29,3 и 39,1 м должны были забирать воду как в левобережный, так и в правобережный канал на расходы 72 и $115 \text{ м}^3/\text{сек}$ соответственно. Пороги шлюзов приподнимались против отметки дна реки на 0,2 м. Два примыкавших к ним отверстия щитовой плотины имели ширину по 48 м.

Плотина вместе с регуляторами рассчитана на пропуск максимального расхода реки $600 \text{ м}^3/\text{сек}$ при общем напоре 1,94 м с подпором против бытового 0,5 м. С правой стороны к плотине примыкала струенаправляющая дамба длиной 1785 м слабого профиля, выполненная из рваного камня, но без защитного тюфяка.

В 1921 г. прошел паводок с расходом $714 \text{ м}^3/\text{сек}$. Пролеты между стойками, по рассказам очевидцев, загромодились плывущими деревьями, кустарником, камышом и травой. Часть пролетов была закрыта до паводка внизу шандорами. Напор перед плотиной дошел до 3,5 м вместо расчетного 1,94 м, в связи с чем образовалась большая разница горизонтов верхнего и нижнего бьефов. При этих весьма неблагоприятных условиях плотина начала разрушаться.

Два средних быка плотохода были разрушены и унесены водой; два крайних быка шлюзов-регуляторов подмыты с большим креном в сторону верхнего бьефа (рис. 3). Средняя часть флютбета разрушена и занесена донными наносами. За нижним зубом образовались большие ямы, а рваный камень, укреплявший русло реки за плотиной, был снесен вниз. Правобережная дамба прорвана.

Произведенные в 1926 г. на месте расчеты показали, что плотина не обладала необходимыми запасами прочности против поверхностного и подземного размыва, совершенно не отвечала современным требованиям гидротехнического расчета.

Непосредственная причина разрушения Раватходжинского водodelителя — загромождение 4-метровых пролетов и металлических стоек деревьями и кустарниками.

При расходе реки $714 \text{ м}^3/\text{сек}$ глубина по графику расходов и напоров должна соответствовать $1,38 \text{ м}$. При наблюдаемом подпоре $3,5 \text{ м}$ разница напоров составила минимум $2,12 \text{ м}$. Таким образом, необходи-

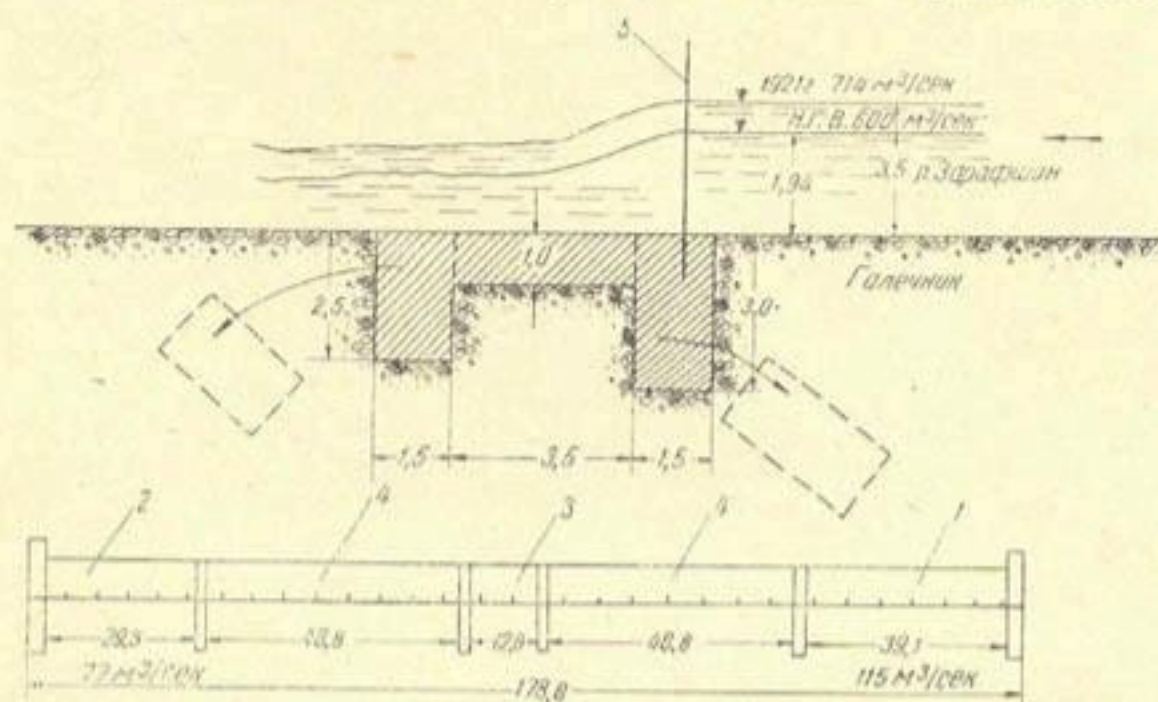


Рис. 2. Водodelитель у местечка Раватходжа на р. Зарафшан:

1—правобережный шлюз-регулятор; 2—левобережный шлюз-регулятор; 3—отверстие плотокола; 4—два шитовых отверстия; 5—стойки-пазы из швеллеров (Размеры в метрах).

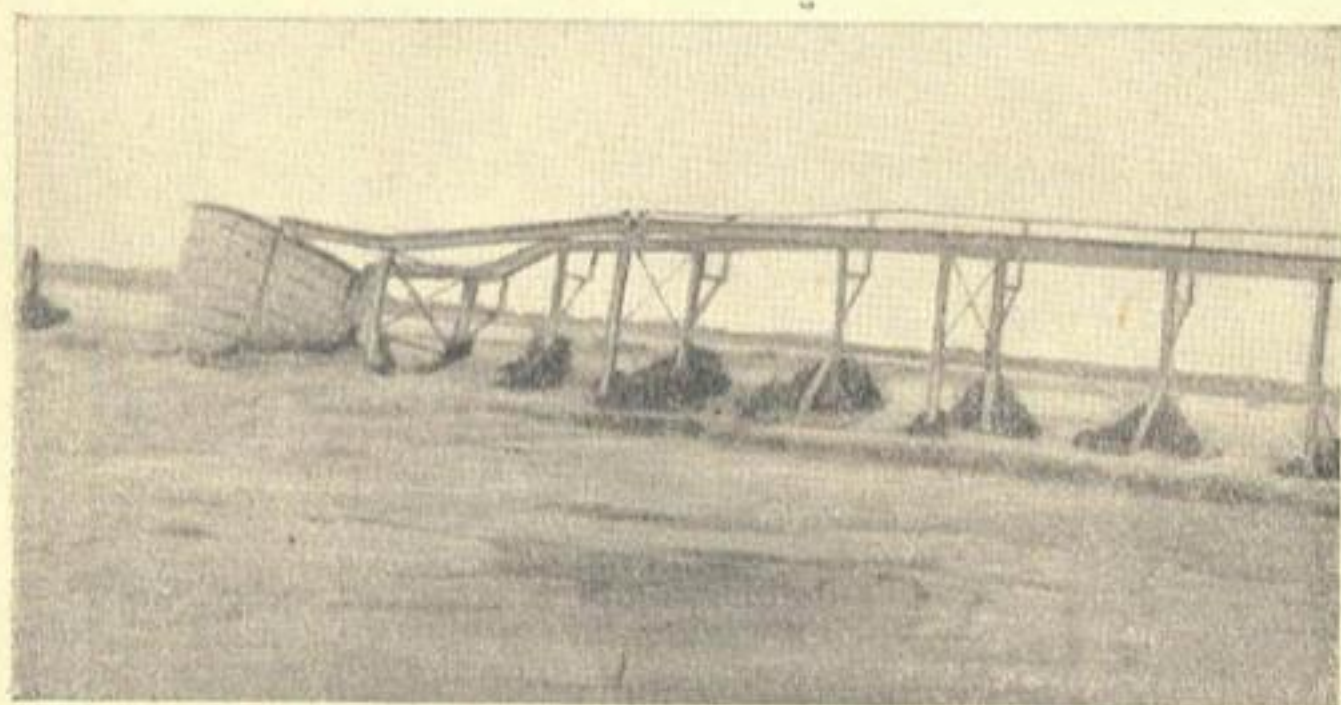


Рис. 3. Разрушенный в 1921 г. водodelитель на р. Зарафшан у Раватходжи.

мая по расчету длина фильтрации под сооружением превысила фактическую почти в 2 раза; толщина флютбета за верхним зубом также должна быть больше фактической во столько же раз. Следовательно, плотина не удовлетворяла принятому в то время приближенному методу расчета по выведенной эмпирическим путем теории Бляя, полученной в результате изучения разрушений ряда плотин Индии [32].

Максимальный расчетный расход реки на основании неточных и немногочисленных наблюдений принят по проекту лишь в $600 \text{ м}^3/\text{сек}$ и оказался заниженным при фактическом расходе 1924 г. в $920 \text{ м}^3/\text{сек}$.

При принятой компоновке частей сооружения борьба с донными наносами также не могла быть обеспечена — одного лобового водозабора было недостаточно.

На месте разрушенного вододелителя в 1929 г. была сооружена Первомайская плотина, которая тоже имела недостатки. В настоящее время она реконструируется с учетом опыта ее тридцатипятилетней эксплуатации и данных обширных исследований на моделях.

ПЛОТИНА НА АРАВАНСАЕ

В 1926 г. для улучшения водопользования на Аравансае была построена бетонная щитовая плотина с регуляторами двух каналов на общий расход $11,5 \text{ м}^3/\text{сек}$. Порог ее заложен на 1,4 м ниже средней отметки дна. Катастрофический сброс отсутствовал.

В 1928 г. к сооружению внезапно подошел сель расходом $150 \text{ м}^3/\text{сек}$ с валом воды высотой до 2 м. Щиты сброса вовремя не были открыты, плотину завалило наносами на высоту до 2 м. Река прорвала правобережную дамбу и обошла сооружение. Заниженное положение порога, опоздание с открытием щитов, отсутствие автоматического сброса явились причиной аварии.

ПЛОТИНА НА КУГАРТСАЕ

Построенная в 1931 г. в КиргССР на притоке Карадарьи Кугартсае небольшая Кугартская плотина имела те же недостатки, что и Первомайская.

Кугартсай проходит в пойме шириной около 600 м, в гравелистых отложениях с валунами крупностью до 45 см. При среднем уклоне дна 0,01 он разбивается на множество рукавов. Наблюдаемые расходы сая изменяются от 1,8 до $200 \text{ м}^3/\text{сек}$. Для меньшего стеснения естественного режима реки принят распластаный тип сооружения с небольшими подпорами горизонтов воды (рис. 4).

Плотина рассчитывалась на пропуск паводка $180 \text{ м}^3/\text{сек}$. Водосливная часть ее длиной 35 м состояла из гуська высотой 1 м с расчетным напором 1 м, щитовая с порогом, расположенным на 1 м ниже гребня водослива, — из четырех пролетов шириной по 6 м и одного сбросного в 4 м, перекрывавшихся плоскими металлическими затворами с подъемниками.

Левобережный регулятор в виде бокового отверстия с забральной стенкой, рассчитанной на расход $4,8 \text{ м}^3/\text{сек}$, порога не имел. Забор $3,94 \text{ м}^3/\text{сек}$ воды в правобережный канал производился из кармана, находящегося в середине плотины, через отверстие в правом крайнем бычке щитовой части размером $3 \times 1 \text{ м}$ с порогом 1 м. Отсюда вода поступала в потерну в гуське водослива, затем — в канал.

Слева пойму реки перекрывала невысокая земляная плотина. Короткие береговые дамбы обвалования, выполненные из сипаев и таштуганной кладки, являлись защитой устоев бетонной плотины.

При проектировании были допущены следующие ошибки:

1) большая ширина фронта плотины (68,5 м), почти в 2 раза превышающая оптимальную ширину устойчивого русла, равную по формуле С. Т. Алтунина 36 м;

2) отсутствие закрепленного зарегулированного подводящего русла,

что способствовало блужданию реки перед сооружением, появлению сосредоточенных сбойных течений на отдельных участках водяного фронта со значительным увеличением здесь удельных расходов;

3) боковой водозабор в регулятор правого берега с образованием местной поперечной циркуляции при входе; что обуславливало завлечение в него наносов, беспороговый регулятор левого берега, куда поступало наносов еще больше;

4) отсутствие понура, малые размеры водобоя, который к тому же не имел облицовки, неглубокие заложения быков и устоев.

В первый же год эксплуатации начальные части обоих каналов были завалены наносами, разрушена слабая рисберма из железобетонных плит, подмыты основания выдвинутых вперед бычков правобережного промывного кармана перед регулятором, частично разрушены слабые защитные дамбы. Для обеспечения в этих условиях водопользования перед плотиной сделаны прокопы правого и левого берегов с водозаборными шпорами, вода подавалась в каналы, минуя регуляторы. После ремонта указанные явления повторились, угрожая устойчивости сооружения.

К 1937 г. были построены большие струенаправляющие дамбы из сипаев и таштугана, сузившие русло верхнего бьефа до ширины плотины. Восстановлен поврежденный водобойный колодец, бетонный зуб нижнего бьефа. По предложению А. В. Троицкого в 1934 г. перед регуляторами сделаны выносные полки с наращиванием затворов и устройством шандор на водосливе, увеличивающие напор перед сооружением

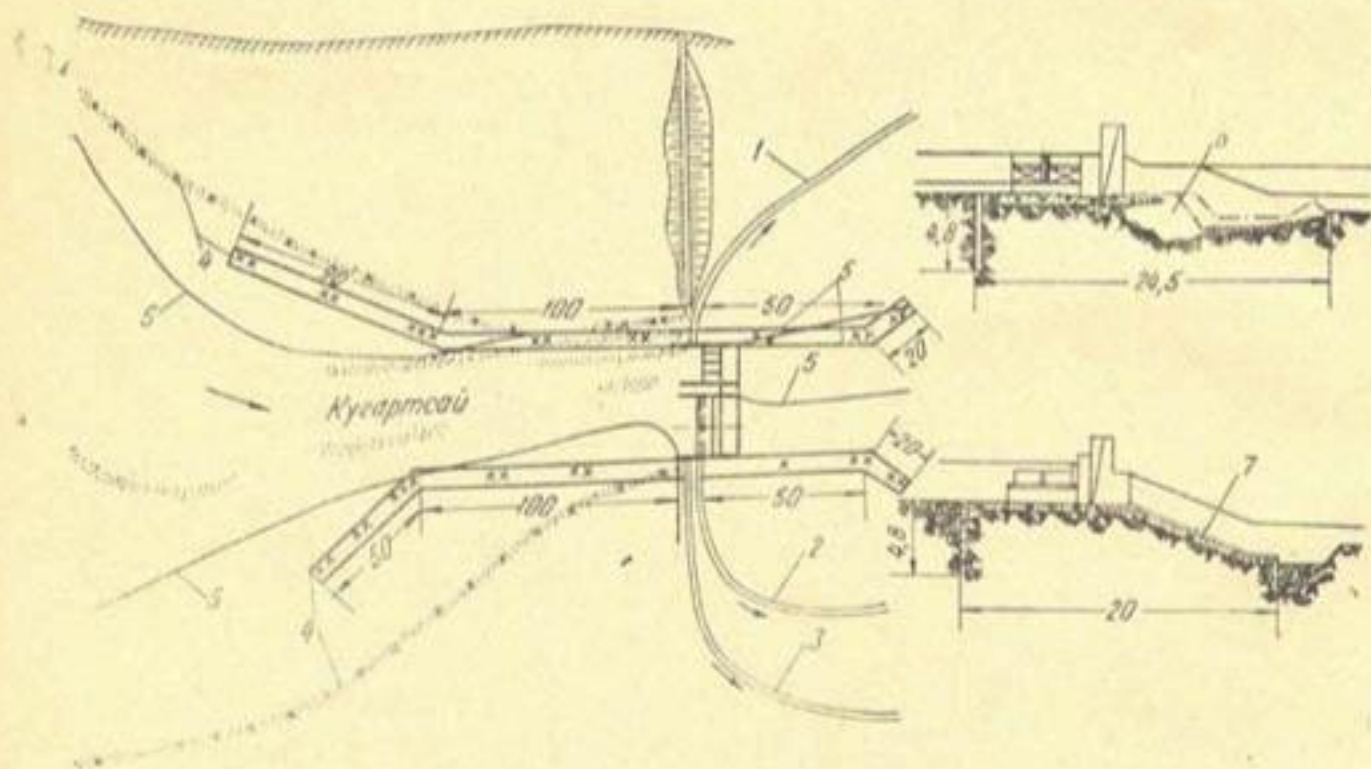


Рис. 4. Схема водозабора на Куяртсае, КиргССР:

1—левобережный канал; 2—правобережный канал; 3—канал ГЭС; 4—сипайно-таштуганские дамбы 1931—1937 гг.; 5—дамбы 1957 г.; 6—разрушения на плотине в 1900 г.; 7—проект восстановления 1961 г. (размеры в метрах).

до 1,7 м. Эти мероприятия уменьшили блуждание потока и попадание в каналы наносов, однако полностью их не устранили.

Весной 1953 г. при расходе реки $175 \text{ м}^3/\text{сек}$ часть потока в $155 \text{ м}^3/\text{сек}$ начала сосредоточенно бить в водослив, устой и защитную дамбу правого берега; лишь $20 \text{ м}^3/\text{сек}$ проходило через заглубленную на 1 м щитовую часть плотины. Были подмыты плиты крепления нижнего бьефа, правый устой, потеряна водослива и вода ворвалась в канал. Осенью

1953 г. плотина была восстановлена, верховой зуб понура заглублен до 4,8 м.

В 1955 г. проведены модельные исследования плотины, а в 1957—1958 гг. Управлением эксплуатации выполнена большая реконструкция узла. В обоих бьефах построены новые дамбы из песчано-галечного грунта, укрепленные наброской из рваного камня, еще более сузившие

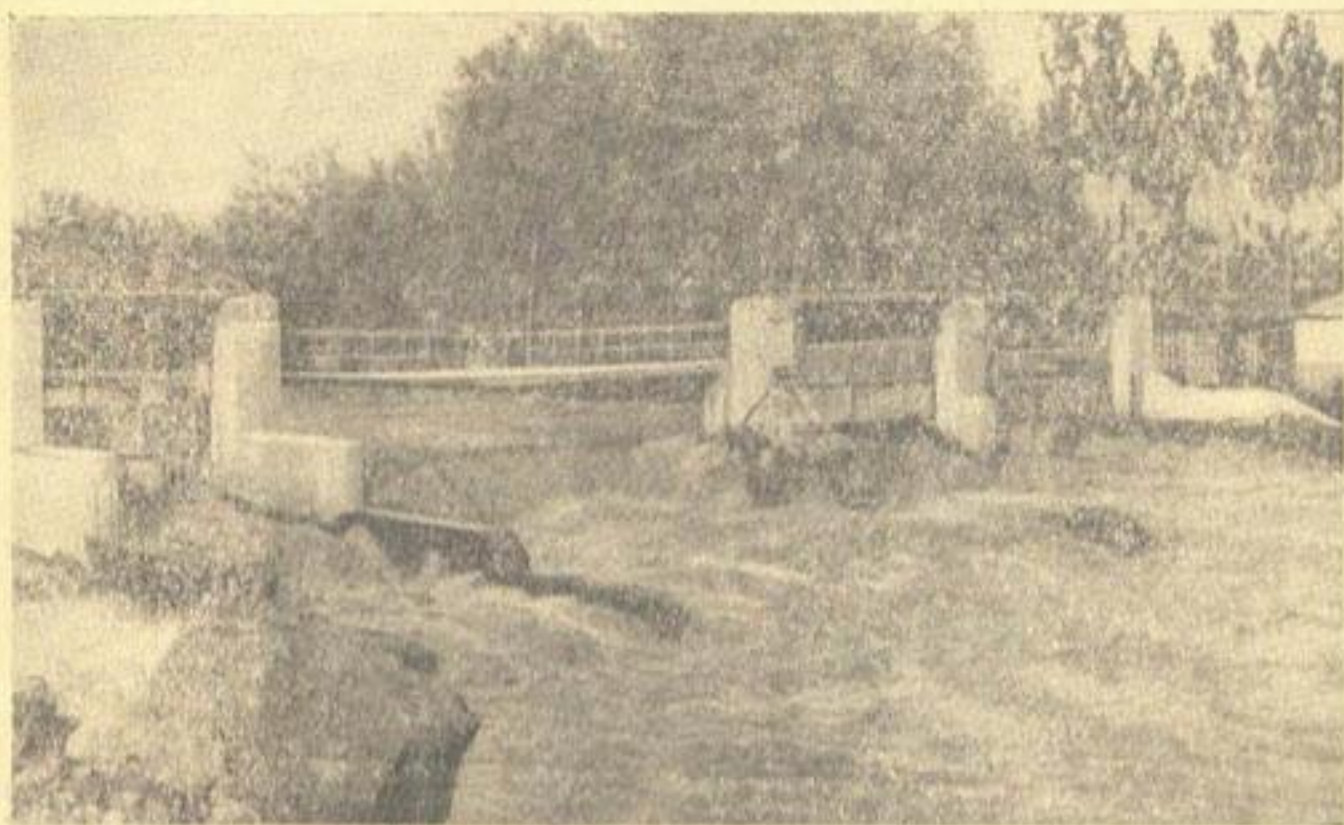


Рис. 5. Разрушенная в 1960 г. плотина на Кугартсае.

русло; водослив укорочен с 35 до 10,6 м, поставлены два плоских затвора. Попадание донных наносов в отверстия канала и колхозной ГЭС прекратилось. В небольших размерах наносы попадали лишь в левобережный регулятор.

В конце мая 1960 г. после прохождения пика паводка внезапно упал третий слева бычок щитовой части, а за ним и второй (рис. 5). Обследованиями после паводка обнаружены разрушение плит водослива, наклонной стенки падения, половины плит водобойного колодца и большой подмыв оснований оставшихся быков и устоев.

Сохранность верхового и низового зубьев сооружения с прилегающими к ним засыпками свидетельствует, по мнению автора, о том, что непосредственной причиной разрушения плотины послужил полный износ за 30 лет эксплуатации бетонных плит понура, водослива и водобоя с выносом из-под них песчано-галечного грунта. Частые, низкокачественные ремонты также ослабляли прочность бетона.

Постоянное аварийное состояние этого гидроузла, не устраненное даже большими реконструктивными работами, свидетельствует о крупных недостатках первоначального проекта. Новый проект восстановления Кугартского узла составлен с учетом максимального использования оставшихся частей сооружения (см. рис. 4). Низовой зуб, заглубленный почти на 2 м, запроектировано укрепить наброской рваного камня крупностью более 0,5 м, водослив и укороченный наклонный водобой — покрытием бетона рваным гранитом и булыжником твердых пород в металлических клетках. Борьба с донными наносами предусмотрена по методу послойного деления потока по вертикали с оставлением

оправдавших себя полков, а также путем сооружения гравийнопесчаниковой на левом берегу — отстойника ГЭС с порогом — на правом.

Наиболее правильно было бы построить здесь плотину ферганского типа по варианту, разработанному в лабораторных условиях САНИИРИ и СНИИВПиГ и описанному в главе о плотинах ферганского типа.

Специальная комиссия в декабре 1963 г. произвела осмотр Кугартской плотины и установила: серьезные разрушения облицовки водобоя из крупного камня длиной и глубиной каверн до 1 м, возвышение на 15—20 см над поверхностью истертого бетона порогов из швеллеров под затворами, значительный износ щитов и подъемников, попадание частиц донных наносов в каналы (несмотря на наличие полков).

Комиссией рекомендовано: реконструировать этот устаревший гидроузел, создать кривизну подводящего русла с односторонним водозабором на вогнутом берегу, восстановить катастрофический водослив стрельчатой формы в четвертом пролете, заменить щиты и подъемники, провести временный ремонт водобоя с заполнением больших каверн крупным камнем на растворе с последующим устройством гранитной облицовки.

Многолетняя работа Кугартского гидроузла в условиях прохождения через него больших количеств крупных донных наносов служит полезным уроком в области проектирования, строительства и эксплуатации.

ПЕРВОМАЙСКАЯ ПЛОТИНА НА р. ЗАРАФШАН

Состояние водозабора в Зарафшанской долине до сооружения плотины

В горном узле, образованном Туркестанским, Гиссарским и Алайским хребтами, к юго-западу от перевала Матча, соединяющего долины Сырдарьи и Зарафшана, из области вечных снегов и льдов спускается мощный Зарафшанский ледник. Длина его 25,6 км, падение 1540 м. Из-под ледяной арки пролетом свыше 21 м вытекает бурным потоком р. Зарафшан, называемая в начальной части р. Матча. В расширенных местах ущелья река делится на множество рукавов; у окруженного с трех сторон горами живописного г. Пенджикента она выходит в обширную, богатую Зарафшанскую долину. От ледника до Пенджикента река принимает основные притоки.

В 26 км ниже Пенджикента у местечка Раватходжа расположен крупный Верхне-Зарафшанский водный узел, от которого отходят большие каналы: слева — Янги, Казан, Даргом, справа — Тюятартар, Катта-Тайлян, Кичик-Тайлян. Не используемые для ирригации воды, не доходя 20 км до Амударьи, сбрасываются в расположенные на юг от русла низины и болота. В более ранние времена Зарафшан являлся притоком Амударьи.

С давних времен для орошения земель нижних бухарской и каракульской частей этого плодородного оазиса не хватало воды, особенно в начале цветения хлопчатника, когда она более всего необходима. Чтобы сохранить растения, в такие периоды приходилось систематически переходить на водопользование по узлам со значительным ограничением расходов, прежде всего на Верхнезарафшанском узле. Поскольку здесь отсутствовала плотина, водозабор был разрознен, вода подавалась в отдельные каналы с помощью сипайных и таштуганных дамб. Эти операции занимали много времени, что зачастую вызывало гибель хлопчатника и других сельскохозяйственных культур от безводья.

Вопрос о постройке водodelителя в 1900 г. поднял инж. Петровский. В 1913 г. был составлен проект водodelителя у Раватходжи. В дальнейшем его утвердили, осуществили, не поставили лишь щиты в регуляторах и разборчатой части плотины. В 1921 г. водodelитель был разрушен во время паводка, о чем указывалось ранее.

В 1924 г. органами водного хозяйства были организованы в Самарканде изыскательские и проектные работы, в 1926 г. составлен проект инженерной плотины с двумя регуляторами. На левом берегу Зарафшана намечалось построить новый Янги-Даргомский канал с объединением водозаборов древних каналов Даргом, Янги, Казан, на правом с той же целью — канал Янги-Мирза (в настоящее время — Зарафшан).

Сооружение этого большого инженерного узла в период с 1926 по 1929 г. явилось первой крупной работой в области ирригации в Средней Азии. Однако при составлении проекта не были учтены руслообразующие процессы, поэтому эксплуатация узла с 1930 г. по настоящее время (1964 г.) проходит с большими затруднениями, связанными со значительными ремонтными и регулировочными работами, с вынужденными ограничениями подачи воды. С 1961 г. сооружение реконструируется.

Долина р. Зарафшана образована разными геологическими формациями. В горной, самой высокой, ее части осадки палеозоя представлены известняками, песчаниками, сланцами и прорвавшимися изверженными породами более молодого происхождения из гранита, диорита и порфирита (рис. 6).

В предгорной части осадки мезозоя представлены глинистыми сланцами, песчаниками, конгломератами, имеющими свойства образовывать каверны. Склоны гор слагают кайнозойские породы, третичного периода, состоящие из пестроцветных глин, песчаников, мергелей, конгломератов. По оси долины расположены четвертичные отложения из крупных галечников с гравием и песком, реже — суглинки и конгломераты.

В зоне запроектированной Первомайской плотины русло реки проходит в галечнике мощностью до 50 м, который является надежным основанием для сооружения. Он подстилается третичными глинами, песчаниками, а также конгломератами. Промежутки между галькой заполнены крупно- и среднезернистым песком серого цвета. Встречаются иногда небольшие линзы чистого песка. Левый берег образован вертикальным уступом конгломерата высотой до 10 м, правый — низкой, ровной террасой из легко размываемых мелкоземов, переходящей в отроги Туркестанского хребта.

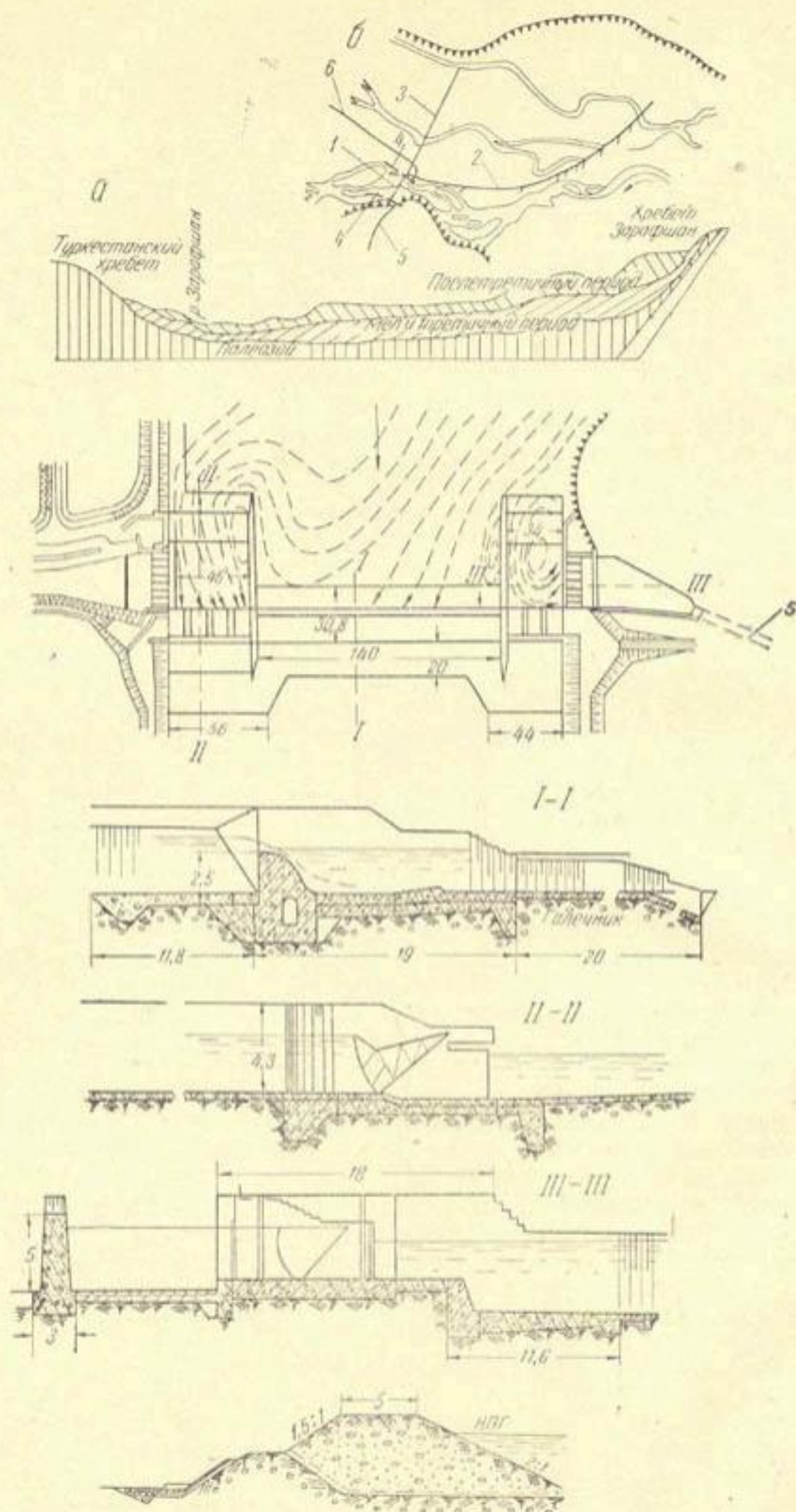
Среднемноголетний расход Зарафшана составляет $156 \text{ м}^3/\text{сек}$. Наблюдаемые паводковые расходы реки меняются от 963 до $450 \text{ м}^3/\text{сек}$. Ввиду недостаточности исследований расчетный катастрофический расход принят в полтора раза больше максимального наблюдаемого, или $1350 \text{ м}^3/\text{сек}$. Минимальный зимний расход — $30 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Средний уклон дна реки от Пенджикента до Раватходжи 0,0043. Скорость течения в паводки 3—4 м/сек, донная — в среднем 2 м/сек. Годовой сток донных наносов определен в 208 тыс. т. По дну движется галька крупностью от 3 до 15 см. Максимальная ($2 \text{ кг}/\text{м}^3$) мутность потока наблюдается в июне — августе.

Выбор типа плотины, ее расчет и конструкция

В предварительном проекте рассматривалось три варианта плотин: а) щитовая с цилиндрическими затворами, б) глухая водосливная, в) комбинированная из первых двух.

Во всех случаях намечалось устройство по бокам плотины фронтальных промывных карманов и регуляторов с боковым водозабором.



Ко времени проектирования Первомайской плотины как у нас, так и за рубежом еще не был накоплен достаточный опыт и отсутствовали научно обоснованные данные по выбору типа и конструкции плотины. После долгих обсуждений решено было сооружать плотину водосливного типа как более надежную в эксплуатации и легкую по производству работ.

В результате предварительных технико-экономических сравнений и гидравлических расчетов пропускной способности компоновка гидроузла была принята в составе сооружений, указанных на рис. 6.

Водослив и два промывных шлюза предназначались для пропуска катастрофического расхода, водобойный колодец — для постоянного затопления прыжка. Однако из-за понижения горизонта воды нижнего бьефа в первые годы эксплуатации, когда все наносы откладывались в верхнем бьефе, прыжок оказался отогнанным.

Водозабор в регуляторы предусматривался при закрытых затворах промывных шлюзов со скоростями в карманах 0,8—1 м/сек. Однако для осаждения фракций крупнопесчаных донных наносов потребовались бы скорости порядка 0,25—0,30 м/сек. Промывка наносов должна была производиться при закрытых затворах регуляторов со скоростями 1,1—3,1 м/сек и выше. Фактически при эксплуатации из-за косого подхода незарегулированного потока в карманах образовывались водовороты и завихрения, снижающие промывную способность карманов и увеличивающие попадание наносов в регуляторы.

Гидротехнический расчет плотины произведен по Бляю с $C = 12$.

Сливная часть водослива и дно водобойного колодца, согласно проекту, облицованы тесаным гранитным камнем толщиной 30 см, частично сохранившимся до сих пор, за исключением нижней части водослива и водобоя.

Конструкция отдельных железобетонных плит рисбермы толщиной 0,3 м оказалась слабой, они были разрушены в первые же годы эксплуатации.

Сегментные затворы плотины и регуляторов запроектированы и построены с лебедками ручного подъема, что значительно усложняет их использование, а также затягивает время промывки до 5 часов.

Объемы, стоимость и производство работ

Сооружение гидроузла было начато осенью 1926 г., закончилось осенью 1929 г., реконструируется он с 1961 г.; работы намечено закончить в 1965 г. (рис. 7).

Сравнение стоимостей первоначального строительства и реконструкции узла:

	Сооружение	Реконструкция
Стоимость, тыс. руб.	5,127 (по ценам 1927 г.)	1500 (по ценам 1961 г.)
Выемки, тыс. м ³	60	90
Насыпь	70	116
Каменное крепление	8	21

Рис. 6. Схема Первомайской плотины на р. Зарафшан:

а — литологический разрез долины р. Зарафшан у г. Пенджикента; *б* — план расположения гидроузла; 1 — плотина; 2 — берегоукрепительная дамба; 3 — вододерживающая дамба; 4 — низовые дамбы; 5 — тоннель левобережного канала Янги-Даргом; 6 — правобережный канал Большой Зарафшан; 7 — правобережная дамба после реконструкции (размеры в метрах).

Бетон и железобетон .	45	11
Облицовка, тыс. м ²	5	2,4
Металлоконструкции, т	212	133

Строительство плотины выполнено в два осенне-зимних периода с пропуском Зарафшана вдоль левого берега через старую голову Даргома, что легко можно было сделать при зимнем расходе 30 м³/сек. В первый период работ произведена выемка котлована, забетонированы фундаменты, во второй — забетонирована надземная часть сооружения, смонтированы металлоконструкции. Летом река пропускалась поверху фундаментов. Тем самым избегнуты дорогостоящие и трудоемкие работы по сооружению оградительных перемычек.

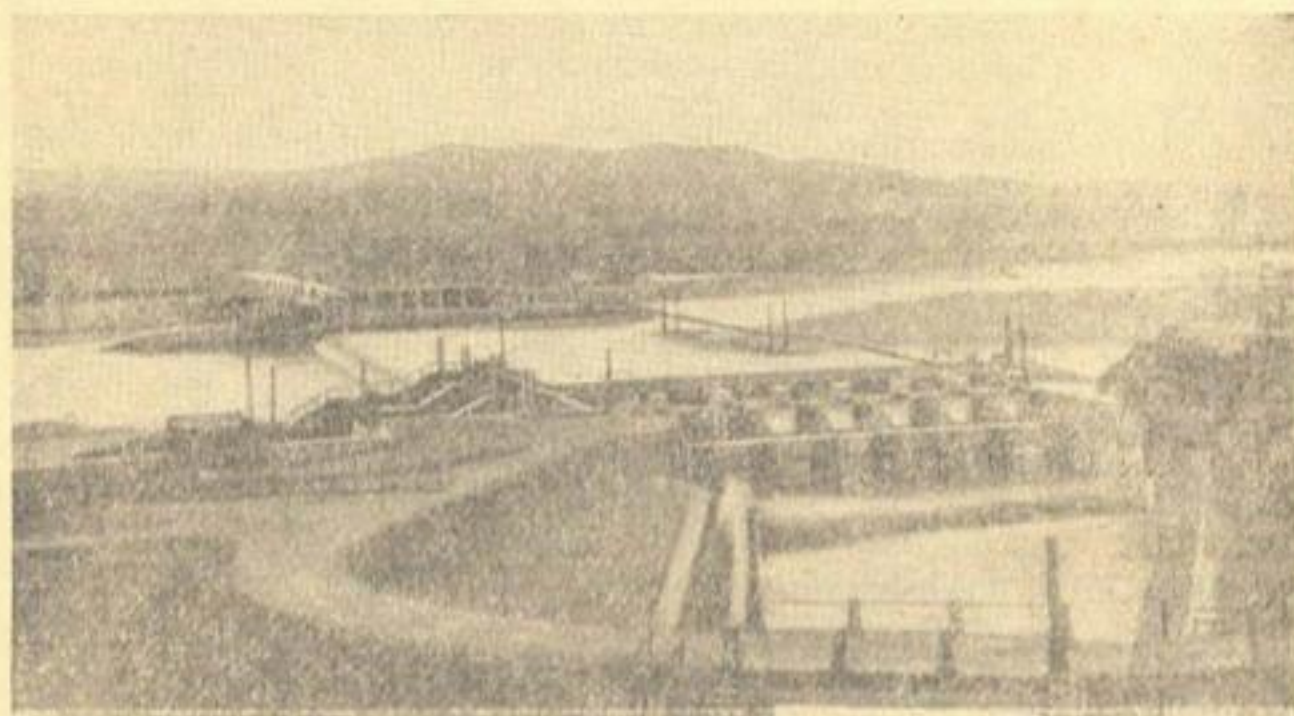


Рис. 7. Первомайская плотина на р. Зарафшан в 1930 г.

Водоотлив из опасений высасывания из подошвы основания мелко-го песка производился 4- и 6-дюймовыми насосами из шурфов, расположенных на расстоянии 30—50 м от периметра котлована. При большом притоке грунтовых вод через мощные слои галечника глубина воды в нем иногда доходила до 1 м. Осушить котлован полностью было невозможно, поэтому бетонировка некоторых секций частично выполнялась подводным способом, что сказалось на качестве бетона. Следовало бы в этом случае применить метод последовательного сосредоточения водоотливных средств по секциям или же контурный водоотлив.

При отсутствии в 1925 г. экскаваторов выемка грунта для котлована в плотных галечниках при наличии воды производилась «индийскими» лопатами, что являлось самой трудоемкой частью работы.

Бетон приготавливался на небольшом заводе, расположенном в середине водослива плотины, оборудованном двумя бетономешалками. Заполнители подвозились тачками по катальным ходам. К мелкозернистому песку из поймы добавлялось 25% крупнозернистого джарского карьерного песка, что повышало качество бетона. К карьере камня и песка была проложена узкоколейка протяжением 13 км. Поезда состояли из приспособленных для рельсовых путей тракторов «Фордзон» с вагонетками Коппеля. Промывка сильно загрязненного песка быстро и успешно выполнялась непосредственно в вагонетках при помощи шлангов с брандсбойтами; грязная вода выливалась через борта.

Строительством руководил старший производитель работ, в распо-

ряжении которого находились три производителя работ — по выемке, бетону и опалубке. Каждый из них имел одного-двух десятников с квалифицированными бригадами рабочих. Монтажные работы по металлоконструкциям выполнены Онежским заводом-поставщиком.

Эксплуатация гидроузла

Водозабор в 1962 г. составил ($\text{м}^3/\text{сек}$):

	По проекту	Фактически
Канал Янги-Даргом (левобережный)	124	100
Канал Зарафшан (правобережный)	110	90

До постройки гидроузла река перемещалась от берега к берегу, разделяясь в паводок на множество рукавов. После возведения глухого водослива образовался подпор на длине около 700 м и началось отложение наносов перед плотиной, продолжавшееся 10 лет; за ней произошли размывы глубиной 6 м. Поток в этот период прижимался к левому берегу.

В первый год эксплуатации при паводке $700 \text{ м}^3/\text{сек}$ произошло следующее. В 43 м выше плотины на левом берегу имеется отвесный выступ конгломерата, как бы прикрывающий левобережный карман и регулятор. При свале влево поток начал отражаться от выступа, косо подходить к карману и водосливу, ударяя в голову левобережной раздельной стенки; от правобережной стенки направление течения менялось на обратное, поток огибал стенку и также косо подходил к другому карману.

В работающем левобережном кармане в связи с этим возникли обратные течения, водовороты, увеличивающие и без того высокие скорости течения. Перед некоторыми пролетами регулятора начали образовываться восходящие токи, увлекающие наносы в канал. Завихрения в головах быков регулятора взмучивали наносы, что увеличивало попадание их в каналы [43]. Во время промывки левобережного кармана при скорости течения до $4\text{--}5 \text{ м}/\text{сек}$ и убранных шандорах оставались открытыми все щиты регулятора. Это обусловило завлечение в канал большого количества галечных наносов весом до 30 кг, разрушение части бетонной облицовки быстротока канала Янги-Даргом и перерыв в водоснабжении.

Перед водосливом плотины происходило усиленное отложение наносов с образованием большой отмели. При косом подходе потока начался подмыв фундаментов в головах раздельных стенок с появлением трещин. При изменении характера сопряжения струй за гуськом водослива образовался прыжок, отогнанный до конца водобойного колодца.

Размывы за рисбермой, а также в головах раздельных стенок были засыпаны камнем и кусками конгломерата объемом до 1 м^3 . Произведен ремонт бетонной облицовки быстротока и удалено из канала около 10 тыс. м^3 галечных наносов. В начале отводящих каналов Казан и Янги после осушения дна обнаружено еще до 7 тыс. м^3 крупнопесчаных наносов.

Таковы основные затруднения, возникшие в первый год эксплуатации этого гидроузла. Они продолжались и в последующие годы, отнимая много труда, времени и средств.

В дальнейшем водозабор в левобережный регулятор производили при опущенных во всех пролетах шандорах, промывку наносов — через 10—12 дней в июне — сентябре, через 4—7 дней в паводок, причем обязательно при закрытых пролетах.

К 1937 г. полностью закончили строительство правобережного канала, после чего, к сожалению, затруднения с водозабором усилились. При навале реки на левый берег большая часть наносов откладывалась у правого, занося карман. Для обеспечения водозабора необходимо было произвести регулировочные работы на 0,8 км выше плотины, однако протоки быстро заносило наносами, в связи с чем уменьшался водозабор.

В 1938 г. крупные донные наносы подошли к водосливу, затем начали поступать в нижний бьеф, размывы за плотиной уменьшились, а к 1940 г. прекратились, зато усилилось истирание гранитной облицовки, особенно в конце гуська водослива.

К этому времени перед плотиной образовался устойчивый галечниковый остров длиной до 1,2 км с перекатами впереди. Левое русло оказалось выстланным крупным булыжником, а правые протоки — мелким гравием. Поэтому в паводки начались систематические прорывы водой правой дамбы. В 1941—1942 гг. произошло два больших прорыва дамбы с расходом до 100 м³/сек, что угрожало обходом всей плотины.

В 1948 г. наблюдался общий свал реки к правому берегу с переливом воды через дамбу. Длина и сечение ее в результате подъема дна оказались недостаточными. Для ликвидации возможности обхода плотины справа пришлось выполнять ежегодно большие работы — установка до 50 сипаев и укладка 8 тыс. м³ таштугана.

Гусек водослива для лучшего подхода потока к правобережному карману в 1947 г. был нарощен на 20 см, однако эффекта это не дало и наносы еще больше стали попадать в правобережный канал. Поступление воды в него снизилось на 50%. Расход пополнялся через три старых водозабора, что продолжалось длительное время.

К 1951 г. перед плотиной на протяжении 5,5 км отложилось около 2, а за ней — около 1 млн. м³ наносов. В настоящее время плотина занесена галькой до верха водослива с некоторым заглублением лишь в водобойном колодце. Подъем дна нижнего бьефа чрезвычайно затрудняет промывку карманов. Левобережный карман систематически продолжает заполняться отложениями гравия, правобережный — песком.

В течение последних 10 лет фактически существует бесплотинный водозабор, отдельные стенки карманов играют роль водозахватных шпор. Промывки карманов отнимают много времени и воды. По мере заполнения нижнего бьефа частота и длительность промывок увеличиваются. В последние 2 года, после того как пороги регуляторов были приподняты на 1,7 м и устроены горизонтальные полки с выносом в сторону карманов на 4 м положение несколько улучшилось. Однако в 1964 г. в период реконструкции порогов из-за неправильной эксплуатации оно ухудшилось.

В настоящее время осенне-зимний расход воды целиком забирается в Янги-Даргомский канал для трех работающих на нем гидростанций. Поступление воды в правобережный регулятор приостанавливается до весны посредством перемычки в русле реки. Одновременно производится экскаваторная выемка подхода к левобережному регулятору.

Помимо указанных работ, постоянно производились регулировочные работы по загону воды в карманы сипаями, укреплялись берега русла за плотиной, устраивались трамплины в конце гуська, укреплялось дно нижнего бьефа бетонными тетраэдрами, наращивались части водослива карабурами. Производилась 3 раза очистка Янги-Даргомского канала от наносов.

При таком состоянии водозабора требуется скорейшее окончание начатой в 1961 г. реконструкции всего гидроузла.

Лабораторные исследования

Основные натурные и лабораторные исследования перераспределения расхода перед узлом, а также нахождение траекторий донных и поверхностных токов проведены в отделе русел ИВПиГ (бывшая лаборатория регулирования русел рек в Институте сооружений АН УзССР) под руководством А. М. Мухамедова с участием Ф. Н. Наджимова и Н. С. Сивец. Результаты исследований восьми моделей показали, что для реконструкции Первомайской плотины наиболее приемлем последний (восьмой) вариант (рис. 8). Подробно эти результаты описаны в работах (25,27). Значительно позже к аналогичным выводам пришли А. И. Арыкова, Р. Ж. Жулаев, исследуя горные водозаборы.

При реконструкции сооружения по восьмому варианту обеспечиваются заглубленные отверстия у раздельных стенок со срубкой старого водослива, глухие вставки по 5 м (не доходя до стенок), криволинейные

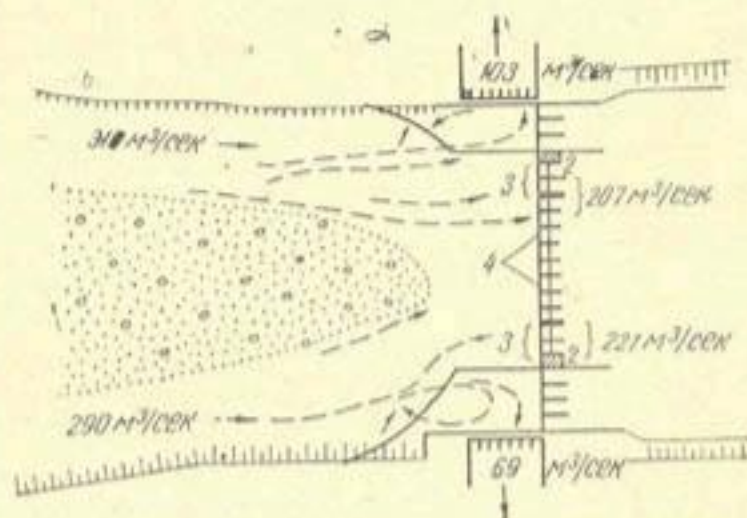


Рис. 8. Восьмой вариант реконструкции Первомайской плотины:

1—выдвинутые приподнятые криволинейные пороги; 2—поперечные глухие бетонные стенки шириной по 5 м; 3—четыре береговых заглубленных пролета со сплошными плоскими шитами; 4—восемь пролетов на гребне водослива с плоскими шитами.

Г-образные пороги перед входами в карманы, поднятые пороги регуляторов. Предусматриваются быстрые промывки русла и карманов после электрификации подъемников; возможность держать сбросные пролеты открытыми при наличии излишков воды в реке; водозабор с погонным расходом 2—4 м³/сек против 8—12 (в сбросах при этом разница горизонтов изменяется от 0,2 до 1,0 м, создается интенсивная поперечная циркуляция с направлением струй и наносов в сторону плотины); сосредоточение водозабора и сброса у берегов, что вызывает разработку двух русел на подходе к плотине; условия для образования отводящих русел у карманов в нижнем бьефе; перераспределение расходов между регуляторами, в том числе и зимних (достигается это повышением горизонта воды перед плотиной и маневрированием затворами).

М. С. Вызго, С. Т. Алтунин предлагали перестроить Первомайский гидроузел полностью с учетом устройства последовательного водозабора. Ф. Н. Наджимов вносил предложение об улучшенном двухстороннем водозаборе. Однако эти предложения приняты не были.

С. Т. Алтунин в работе [3] рекомендовал:

1) прижать реку к устойчивому левому берегу из конгломерата на 400 м выше входа в карман, расположив здесь голову левобережного регулятора с лобовым водозабором;

2) от этого места отвести наклонную дамбу длиной около 400 м, направив поток к правому карману и регулятору;

3) зарегулировать русло шириной 100 м на 800 м выше плотины;

4) построить вверх по течению до правого коренного берега дамбу радиусом 4—5 В;

5) устроить перед регуляторами Г-образные криволинейные пороги под углом 15—18° с направлением наносов к промывным шлюзам;

6) сузить русло реки ниже плотины до 85 м с тем, чтобы увеличить транспортирующую способность потока;

7) произвести наращивание плотины и дамб обвалования.

Ф. Н. Наджимов предлагал [36]:

1) расположить регуляторы на одной линии с плотиной при лобовом водозаборе и устроить отводные лотки для каналов по типу Чумышской плотины;

2) возвести невысокую разборчатую плотину с глубокими промывными отверстиями по краям для образования перед ней устойчивого острова;

3) соорудить криволинейные входные части карманов, подняв их над дном реки на 2 м, с поперечными донными лотками, выходящими в сбросные галереи раздельных стенок и далее в нижний бьеф.

С учетом этих рекомендаций были проведены опыты на модели, показавшие возникновение поперечной циркуляции с направлением поверхностных струй в карманы и насыщенных наносами донных струй в глубокие крайние отверстия плотины.

Проект реконструкции

Согласно составленному Средазгипроводхлопком на основании лабораторных исследований проекту реконструкции Первомайской плотины, на гребне водослива устраиваются щитовые 8-метровые пролеты с быками толщиной по 2 м. Четыре крайних пролета (два справа, два слева), расположенные по сторонам центральной части плотины, имеют заглубленные на 2 м пороги, для чего водосливы в них почти срезаются.

На длине 5 м за каждой раздельной стенкой прокладываются глухие вставки из бетона. Тем самым уменьшается до 108 м ширина щитовой части плотины между вставками, что приближает ее к устойчивой ширине русла.

Семь средних пролетов перекрываются колесными затворами высотой 2,7 м, четыре боковых сбросных — сдвоенными колесными затворами при высоте нижних 1,9 м, верхних 2,7 м. Над затворами располагаются два служебных мостика.

За сбросными отверстиями устраиваются водобойные колодцы. Перед ними делается обратный фильтр, а за ними — глубокий зуб из рваного камня. На входах в промывные карманы создаются бетонные пороги высотой 1 м с радиусом окружности 70 м. Потеря водослива заполняется бетоном вместо отложившегося песка.

Сегментные затворы промывных шлюзов повышаются на 0,9 м. Это делается путем устройства сверху козырьков высотой 0,45 м, снизу — деревянных брусьев той же высоты. Колодцы за этими затворами бетонируются.

Повышение на 1 м верха сегментных щитов регуляторов достигается за счет бетонировки под щитами коротких порогов. Входные стенки регуляторов наращиваются на 1,2 м, выходная стенка левобережного регулятора до входа в тоннель — на 1 м.

Подъемники регуляторов промывных шлюзов остаются старые, только добавляются гидроприводы к лебедкам с увеличенной до 2 т грузоподъемностью; подъемники затворов водослива изготавливаются с двумя винтами. Те и другие подъемники электрифицируются. В результате проводимых мероприятий ожидается сокращение длительности промывок до 20—25 минут вместо 5 часов.

Через всю плотину проходит постоянный проезжий мост с исполь-

зованием существующих быков на промывных шлюзах и устройством новых на водосливе.

В связи с неоднократными прорывами правобережной берегоукрепительной дамбы и переливами через нее воды вследствие общего подъема дна реки дамба значительно усиливается. При общей длине ее 2,5 км в верхней части она удлиняется примерно на 0,5 км и примыкает к скальным возвышениям правого берега. Водоудержательная дамба по продолжению оси плотины также улучшается.

Проектирование, строительство и реконструкция Первомайской плотины явились большой школой для гидротехников и ирригаторов Средней Азии. Затронутые в нашей работе вопросы эксплуатации и обширные экспериментальные исследования представляют значительный научный и практический интерес. Следует пожелать скорейшего окончания реконструкции плотины и изучения ее эксплуатации.

УЛУЧШЕННАЯ ПЛОТИНА НА БЕШАЛЫШСАЕ

Дефекты построенных в 20—30-х годах плотин Средней Азии явились следствием главным образом недоучета в проектах гидрологического режима рек до и после сооружения гидроузла. Подробные гидравлические, гидротехнические и статические расчеты с освещением вопросов гидрогеологии и гидрометрии оказались недостаточными. Эксплуатационные затруднения вызвали повышенный интерес к вопросам проектирования плотин и улучшения их конструкций.

Одна из таких попыток сделана по предложению И. А. Холькина в 1937 г. при постройке плотины стрельчатого типа на Бешалышсае Ферганской области УзССР, схема которой указана на рис. 9.

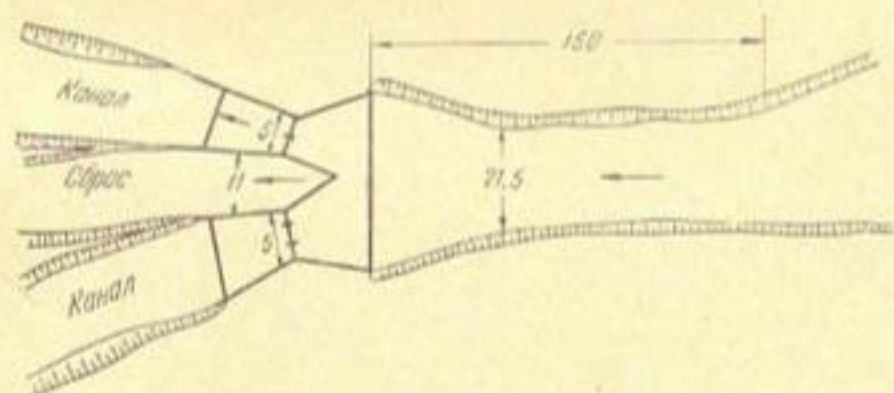


Рис. 9. Двухсторонний водозабор стрельчатого типа на Бешалышсае в Ферганской долине (размеры в метрах).

Этот двухсторонний водозаборный узел расположен на участке выхода сая из адыров в долину при наличии здесь типичного конуса выноса. Два рукава сая объединяются сипайными и бутобетонными дамбами в одно подводящее русло длиной около 150 м, укрепленное по берегам таким же способом. При большой ширине русла течение потока неустойчивое, образует излучины, острова и отмели. Плотина располагается поперек русла, рассчитана на пропуск расхода $80 \text{ м}^3/\text{сек}$. По бокам от нее находятся головные регуляторы каналов.

При достаточных промывных расходах возникающая местная поперечная циркуляция потока отводит большую часть донных наносов к стрельчатой плотине с пропуском их в нижний бьеф сооружения. Однако большая часть расходов сая отклоняется к правому берегу, а у левого образуются отмели. Поэтому в левобережный канал поступает наносов в полтора раза больше по сравнению с правобережным.

Постепенно произошло полное забрасывание наносами одного русла с прекращением подачи воды в один из головных регуляторов. Для борьбы с этим явлением производились снижения горизонтов воды и промывки наносов верхнего бьефа. Однако систематическое отсутствие достаточных промывных расходов, составлявших $8 \text{ м}^3/\text{сек}$ вместо $80 \text{ м}^3/\text{сек}$, обусловило отложение наносов в нижнем бьефе и, следовательно, необходимость их механической очистки.

Сбойность течения перед сооружением ликвидировалась сжатием подводящего, а также и отводящего русел. В 1949 г. было решено прекратить малоэффективные промывки наносов в начальную часть отводящего русла путем еще большего его сжатия, что повысило транспортирующую способность русла. В 3 км ниже плотины на канале устроен отстойник большой емкости с механической очисткой наносов.

Как нам кажется, при сильном уменьшении сбросных расходов борьба с донными наносами здесь в дальнейшем, очевидно, осложнится. Аналогичные затруднения наблюдаются не только на Бешалышсае, но и на многих других водозаборных узлах Средней Азии, что показала практика их эксплуатации в 1961—1962 маловодные годы.

Глава II

ПЛОТИНЫ ФЕРГАНСКОГО ТИПА

ПОПЕРЕЧНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ ПОТОКА

Значительные затруднения, возникавшие во время эксплуатации первых водозаборных узлов постройки 1917—1931 гг., показали, что при их проектировании важно знание законов движения речного потока и донных наносов.

В 1936 г. опубликована работа [39], в которой рекомендуется при искусственном формировании речных русел, улучшении судоходных условий рек, а также при борьбе с донными наносами на бесплотинном и плотинном водозаборах использовать теорию поперечной циркуляции потока М. Б. Потапова.

Сущность теории Потапова состоит в том, что в движущемся криволинейно потоке на частицу воды действует центробежная сила

$$F = \frac{mv^2}{r},$$

направленная по радиусу от центра кривизны.

Скорости частиц непостоянны по вертикали, они уменьшаются, как известно, от поверхности к дну потока, вызывая изменение значений центробежных сил. Избыток скоростей у поверхности вызывает течение от центра вращения потока к вогнутому берегу, а недостаток их у дна — отклонение донных токов с наносами к противоположному выпуклому берегу, что приводит к вращательному движению воды в плоскости живого сечения.

Как показывают результаты опытов, проведенных в лаборатории САНИИРИ, донные токи пересекают криволинейное русло в зависимости от условий под углом от 11 до 45°. В прямолинейном потоке циркуляция зарождается на расстоянии до двух ширин русла от начала закругления, а затухает на много большем, за пределами его. Интенсивная циркуляция развивается в точках перехода потока из одной кривой в другую [46].

В Средней Азии издавна использовалась поперечная циркуляция, которая достигалась путем расположения водозаборов на вогнутом берегу реки. Европейские инженеры отстаивали боковой водозабор из прямого русла, сопровождающийся перекосом потока и вредной местной поперечной циркуляцией перед входом в регулятор с завлечением в него донных наносов. Последний принцип брали за основу и при проектировании первых водозаборных плотин Средней Азии в 20-х годах текущего столетия.

В 1936 г. работниками Сазгипроводхлопка и САНИИРИ под руководством проф. В. В. Пославского был составлен проект Кампырват-

ской плотины на р. Карадарье. Впервые борьбу с донными наносами, согласно проекту, намечалось осуществлять методом поперечной циркуляции при лобовом водозаборе в регулятор саев Шаарихан и Андижан при боковом сбросе воды и наносов через пролеты плотины. Большая роль отводилась надежно зарегулированному подводящему руслу. В 1937—1939 гг. проект был осуществлен.

Опыт 24-летнего использования Кампырраватского водного узла показал правильность проектных расчетов — плотина работала весьма эффективно при незначительных эксплуатационных расходах.

В эпоху начала строительства водозаборных узлов редкая из плотин Индии и Америки не переделывалась 2—3 раза в первые же годы службы. В Средней Азии построенные до 1936 г. плотины также требовали ежегодных значительных затрат труда, материалов и средств. Зачастую при наличии вновь построенного инженерного сооружения приходилось переходить на полный или частичный водозабор старыми методами с помощью захватных шпор из сипаев и таштугана.

Поэтому Кампырраватская плотина, обеспечившая нормальный, почти безнаносный водозабор в основные магистрали Ферганской долины, явилась крупным техническим достижением.

Результаты изучения водозаборного узла на модели и в натуре, произведенные после пяти лет его работы, показали, что имеющиеся здесь незначительные недостатки существенного влияния на эксплуатацию не оказывают и не вызывают необходимости капитальных ремонтов или каких-либо дополнительных работ.

Сооружение плотин Ферганского типа с применением методов поперечной циркуляции получило самое широкое распространение.

КАМПЫРРАВАТСКАЯ ПЛОТИНА НА КАРАДАРЬЕ

Водозабор до сооружения плотины

Карадарья образуется от слияния рек Каракульджа и Тар, стекающих со склонов Ферганского и Алайского хребтов при выходе их в широкую, ровную Узгенскую долину. Река принимает справа приток Яссы, слева — Узген. Далее она прорезает Кампырраватское ущелье шириной от 400 до 1000 м с бортами высотой около 150 м, сложенными темно-зелеными хлоритовыми сланцами осадочного происхождения.

За ущельем река выходит на широкие просторы Ферганской долины, где расположены крупнейшие древние водозаборы: Шаарихансай с расходом 100 м³/сек, Андижансай — 37, Савай — 23, Туш — 12 м³/сек. Орошаемые площади в 1935 г. составляли 186 тыс. га.

Забор воды из реки издавна производился при помощи далеко выдвинутой в русло водозахватной шпоры. Почти против ее головной части поперек реки построен деревянный балочный мост, перекрывавшийся в межень спицами, что облегчало водозабор. В паводок мост подвергался опасности смыва в связи с заглублением дна, укрепленного камнем (рис. 10).

Подводящее русло каналов Шаарихан и Андижан, длина которого около 1,3 км, проходя в мощных галечниках, образующих здесь пойму реки, вплотную прижато к обрывистому левому берегу, сложенному крепкими конгломератами. Оканчивалось оно деревянным вододелителем Шаарихан — Андижан. Регулировка расходов производилась спицами с подброской перед ними соломы. Примерно на середине подводящего русла, слева от него, отходит канал Савай, построенный в 1925 г.

Головная шпора, весь правый берег подводящего русла и берега

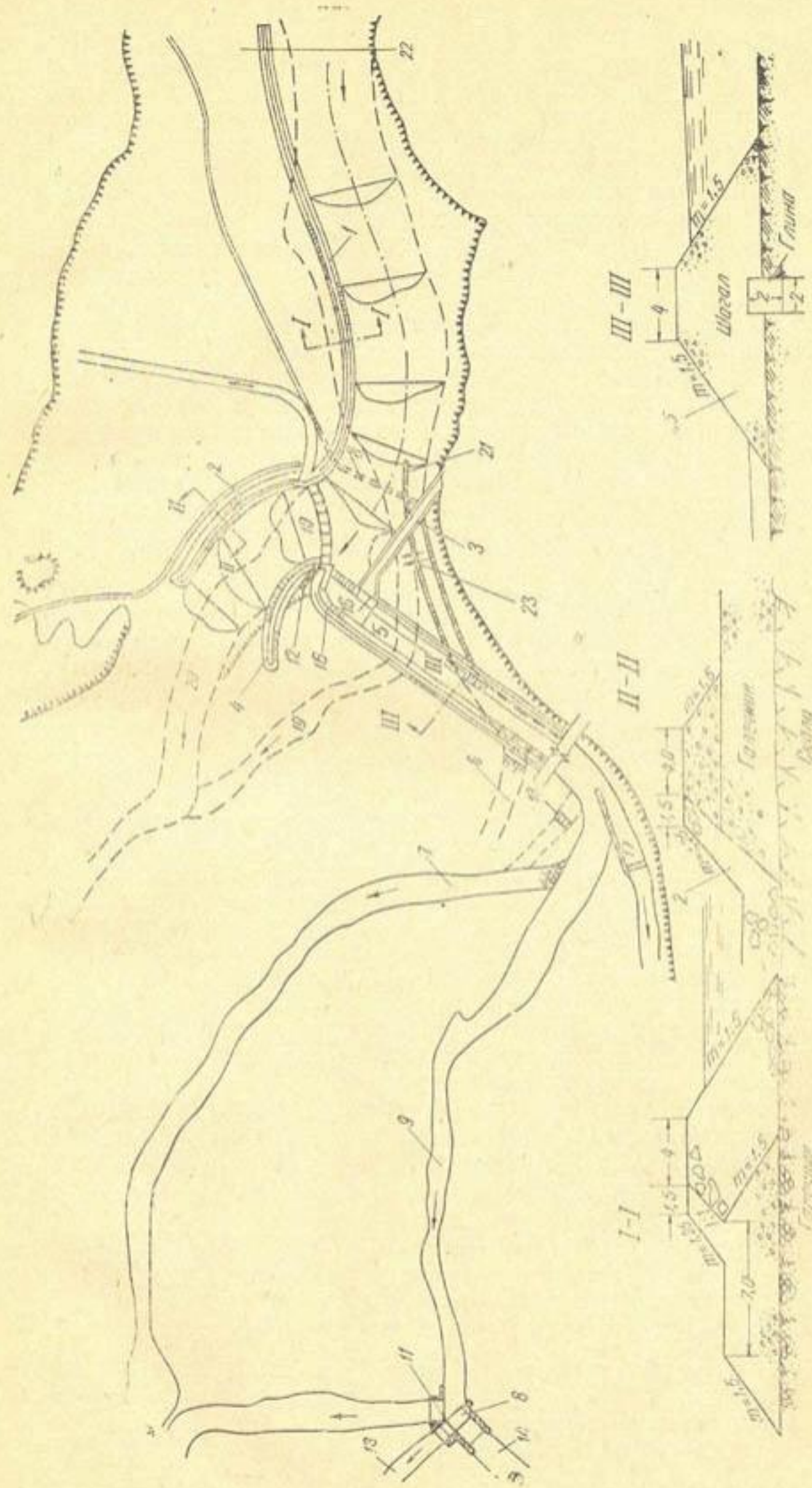


Рис. 10. Схема Камырзаватского подного узда:

1—верховая прибрежная дамба; 2—низовая прибрежная дамба; 3—верхова левобережная дамба; 4—низовая левобережная дамба; 5—отводящий канал к Шаарихану, Андикану, Савзю; 6—борз Синавского; 7—бычий глиный борз; 8—деревянные хвосты со спицами; 9—подводные русло; 10—железобетонная плотина; 11—старый водозаборный Шаарихан—Андикан; 12—временная бетонная плотина; 13—канал Андикан; 14—канал Шаарихан; 15—дамба водозаборного колодца; 16—ГЭС; 17—голова канала Савзю; 18—новая головная часть канала Андикан, построенная в 1962 г.; 19—старое русло Карзават; 20—новое русло Карзават; 21—старая водозаборная шлюз из камня и бетона; 22—газотрассовая станция; 23—прямая дамба подводящего канала.

каналов Шаарихан и Андижан ниже вододелителя на длине свыше 2,5 км укреплялись сипаями с хворостяно-каменной загрузкой, на что ежегодно расходовалось большое количество труда, материалов, транспорта и денежных средств.

Крепление подводящего русла, а также выдвижение захватной шпору в начале 30-х годов по инициативе работников эксплуатации стали выполнять наброской крупногабаритного камня весом до 2 т, погрузка которого производилась в карьере на платформы узкоколейки ручными лебедками с помощью высоких треног.

В паводок при расходе реки 800—1000 м³/сек, поверхностных скоростях течения до 6,4 м/сек работа на головной шпоре становилась опасной; водозабор зачастую происходил стихийно. Излишние расходы воды сбрасывались тогда из подводящего русла через сбросы Синявского и Головной, перекрывавшиеся сипаями.

В многоводный 1936 г. в реке весной прошел катастрофический паводок в 1380 м³/сек. В подводящее русло ворвался расход 700 м³/сек. Сброс Синявского разрушился, на месте его образовался короткий проток глубиной более 15 м, через который вся вода ушла обратно в реку. Ниже прорыва подводящее русло было занесено песком и галькой.

Восстановительные работы продолжались 1,5 месяца и стоили в ценах 1936 г. около 1,5 млн. руб. Хлопчатник на огромной площади в 175 тыс. га не погиб только потому, что одновременно в вышерасположенных Акбуре и Аравансае проходили длительные сели, откуда удалось с большими трудностями забрать необходимое для полива количество воды. Это событие ускорило начало сооружения Кампырраватского водного узла, проект которого к этому времени был составлен Средазгипроводхлопком. В начале 1937 г. начались работы (см. рис. 10).

Краткие сведения по геологии и гидрологии

Дно и склоны ущелья Кампыррават сложены темно-зелеными хлопчатниковыми сланцами осадочного происхождения, прорванными местами изверженными породами, чаще всего диоритами. Поверхность сланцев на дне ущелья сильно промыта донными наносами с отложениями в карманах галечников, сцементированных впоследствии в конгломераты. Сланцы покрыты крупным (5—20 см) галечником слоем от 1,6 до 5,5 м, на котором залегает суглинок слоем в 1—1,5 м. Сланцы признаны надежным основанием для этой низконапорной плотины. Они обладают незначительной трещиноватостью и практически водонепроницаемы, что подтвердилось при выемке котлованов. Допускаемое давление на сланцы 8—12 кг/см², на галечник 3 кг/см².

В 1902 г. произошло разрушительное андижанское землетрясение, эпицентр которого находился в 40 км от места сооружения будущей плотины Кампыррават, а в 1924 г. — куршабское силой 8 баллов, сопровождавшееся образованием трещин шириной 0,7 м на правом борту ущелья.

В период 1936—1939 гг. наблюдалось несколько слабых толчков, которым предшествовал мощный гул, нараставший в скалах правого борта ущелья в направлении с востока на запад. В соответствии с данными многолетних наблюдений сейсмичность района в проекте принята равной 8 баллам.

Среднегодовое расхождение реки равно 122 м³/сек, паводковый изменяется от 800 до 1000 м³/сек, расчетный катастрофический — 1400 м³/сек. Паводки проходят в мае — июне.

Уклоны дна Карадарьи выше ущелья Кампыррават 0,009; между

Кампырраватом и Куйганьяром 0,0045; от Ассакинского сброса до Нарына 0,0005.

У Кампырравата средние по сечению скорости потока доходят до 3,7, поверхностные — до 6,4 м/сек. Ледостава в реке при таких скоростях не бывает, зато в декабре — январе проходит шуга, занимающая от $\frac{1}{3}$ до $\frac{2}{3}$ площади зеркала. Появление ее происходит внезапно с большим падением температуры воздуха при резком холодном ветре с востока, сопровождаемом густым туманом, что сильно затрудняет производство каких бы то ни было работ.

Годовой сток донных наносов составляет около 187 тыс. т. Паводковые расходы обеспечивают их транспорт в нижний бьеф. Годовой сток взвешенных наносов составляет 4,9—5,4 млн. т.

Русло реки до и после выхода из ущелья сильно блуждает, разбиваясь на множество рукавов. Среднегодовое количество выпадающих осадков составляет 430 мм в год.

Компоновка и конструкция сооружения

Плотина Кампыррават и низовые дамбы расположены на скале, головной регулятор и верхние дамбы — на галечниках, где скала уходит глубоко вниз.

Конструкция флютбета плотины проста. Он состоит из слабоармированного бетонного зуба шириной 5 м, высотой 4,5 м, врезанного на 1 м в скалу, небольшого за ним укрепления из крупного рваного камня. Внутри зуба устроен дюкер для подачи воды на правый берег. Понур и рисберма проектом не предусмотрены. Пороги половины левых отверстий находятся на 0,5 м ниже правых (рис. 11).

Плотина очерчена в плане радиусом 169 м и образует с фронтом регулятора угол 130° . Она делится железобетонными быками толщиной по 2,45 м на восемь пролетов по 15 м, перекрытых самыми большими в Средней Азии металлическими сегментными затворами. Два левых затвора по проекту должны были снабжаться козырьками $7,5 \times 1,25$ м для сброса шуги и плавающих наносов, но козырьки не смонтированы до сих пор. Подъемный механизм каждого затвора размещен на специальном железобетонном мостике, имеет электромотор 8,1 кВт и ручную запасную лебедку, приводимую в движение четверьмя рабочими.

Быки плотины обтекаемой формы, сужаются с 2,5 до 1,6 м, спереди очерчены по эллипсу, сзади — по Крижеру. Порог плотины, низ быков и устоев облицованы отбеленными чугунными плитами толщиной по 5 см. Плотина расположена косо по течению на правом берегу реки, что дало возможность произвести ее строительство насухо с боковым сбросом потока в паводок.

Регулятор каналов Шаарихан и Андижан, рассчитанный на пропуск форсированного расхода $230 \text{ м}^3/\text{сек}$, находится поперек старого русла Карадарьи, что обеспечивает лобовой водозабор. Девять пролетов по 5 м перекрыты деревянными шандорами при помощи передвижной балки системы Э. Э. Пеплова с автоматическим зацеплением и расцеплением. Порог регулятора приподнят на 1,5 м выше левых отверстий плотины. Перед ним расположен криволинейный в плане понур с зубом впереди, очерченным переменным радиусом около 70 м, предназначенным для лучшего отклонения наносов к пролетам плотины. Вся входная часть регулятора размещена на подсыпке из тщательно уплотненного галечника, взятого из русла реки. Бетонный водобойный колодец с отводящим руслом проходит также поперек старого русла реки и подает воду в отводящий от плотины канал.

Напор перед плотинной изменяется в зависимости от расхода реки

от 3,5 до 4 м, на пороге регулятора — от 2 до 2,3 м. Дно канала опущено на 3,9 м ниже порога регулятора. Наклон стенки падения равен 2:1; в конце ее на дне заложены обратные фильтры в виде бетонных колодцев диаметром по 1 м, закрытых тяжелыми железобетонными крышками с отверстиями, что дает возможность производить периодические осмотры и ремонты фильтров колодцев.

Для сопряжения с отводящим руслом поступающий в регулятор поток должен изменить в колодце свое движение почти на 90° . Особых затруднений при эксплуатации это не вызывает. В данных условиях пришлось лишь сделать бетонный парапет высотой 1 м на противоположном откосном борту колодца.

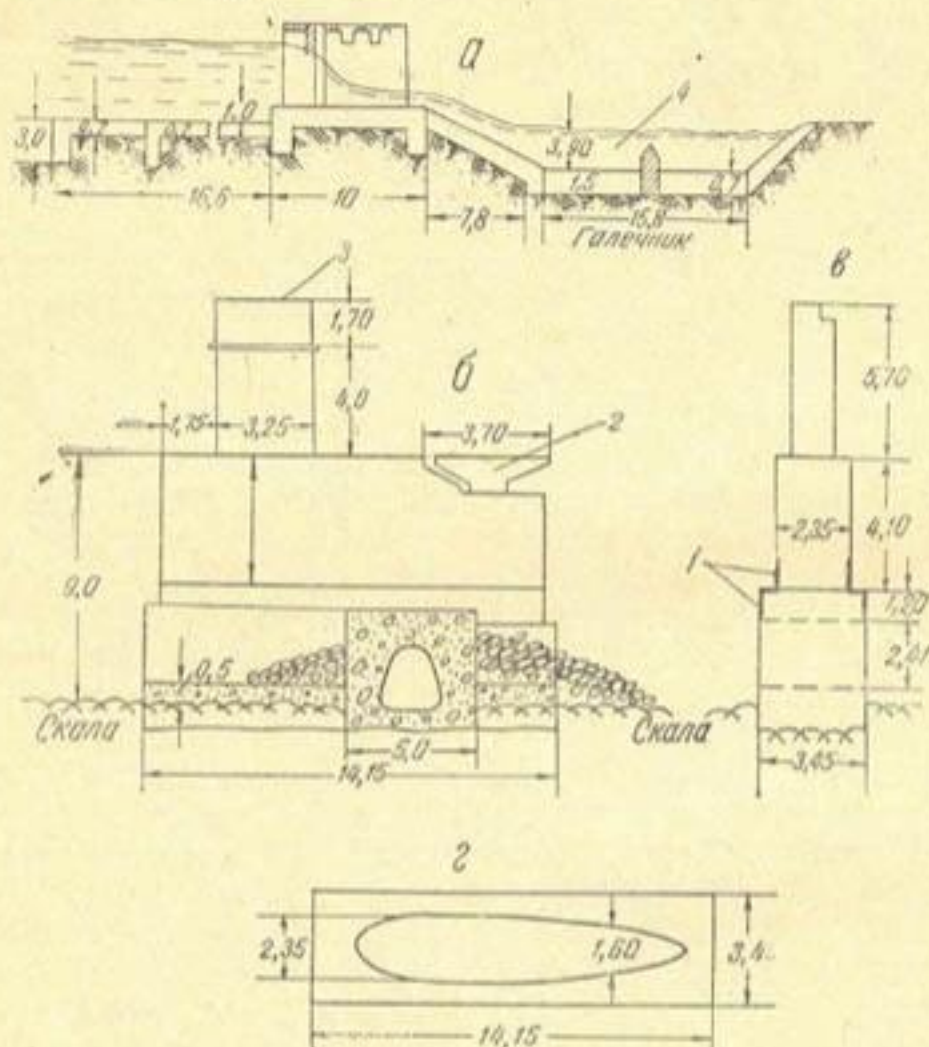


Рис. 11. Конструкции плотины Кампыррават:

а — разрез по регулятору; *б* — разрез по флютбету; *в* — разрез по быку; *г* — план быка; 1 — чугунная облицовка; 2 — балочный автогужевой мост; 3 — балочный служебный мост; 4 — колодезный колодец регулятора.

По проекту ГЭС мощностью 100 кВт должна была обеспечивать освещение поселка и работу электромоторов подъемников. Здание для нее построено, но монтаж не произведен до сих пор.

Сооружению мощных береговых дамб при строительстве придавалось большое значение. Объем галечниковой отсыпки дамб составил 78 тыс. м³, наброски из рваного камня — 28 тыс. м³. Высокая стоимость берегоукрепительных работ считается обычно отрицательной стороной водозаборов ферганского типа. Однако совершенно очевидно, что в результате этого создается устойчивое русло, обеспечивающее водозабор с эффективной поперечной циркуляцией, отклоняющей донные наносы от попадания в каналы. Примером может служить опыт 24-летней эксплуатации Кампырраватского водного узла.

Объем и стоимость выполненных работ

Стоимость работ в ценах 1936 г. определена в 12 550 тыс. руб. и складывается из следующих сумм:

<i>Основные работы</i>	<i>тыс. руб.</i>
Головной узел	6444
Гражданское строительство	854
Телефон, радио, гидросты, изыскания, исследования и строительное проектирова- ние	275
Возвратные средства, приобретение строймеханиз- мов	1714
Оборудование мехмастерских	137

Пересчеты объема работ, смет и утверждение проекта Техсоветом задержали открытие финансирования и развертывание основных работ строительства Кампырраватской плотины более чем на полгода. Такие задержки не единичны. По нашему мнению, целесообразно назначать руководство строительства задолго до его открытия*. Наличие к этому времени проекта производства работ и ведомости оборудования также имеет большое значение, так как этим создается возможность своевременно дать заявки на все строймеханизмы, оборудование, транспорт и т. п.

Порядок производства и объем работ указаны в табл. 1. В первую зиму стройки (1937 г.) выполнена выемка котлована плотины с пропуском расходов реки через подводящее русло каналов Шаарихан и Андижан. Во вторую зиму, лето и осень забетонированы плотина, мосты, смонтированы щиты и подъемники. В третью — в сжатые сроки проделаны все работы по сооружению в русле реки регулятора, а также отводящего канала с пропуском части расходов через построенную плотину. Весной 1940 г. старый водозабор подводящего русла с помощью экскаватора засыпан крупным камнем, пропуск расхода воды осуществлен через новый регулятор.

Расположение плотины на сухом правом берегу значительно упростило и ускорило производство всех работ. При выемке котлована для нее экскаватором дредгайн верхний слой галечника был быстро удален; из него сформировали как бы защитный вал вдоль правого берега реки. Углубление скалы в среднем на 1 м производили вручную со взрывами; последние полметра во избежание повреждений подошвы основания удалялись без взрывания.

Хлоритовые сланцы под воздействием зимних переменных (положительных и отрицательных) температур и воды в котловане быстро разлагались, разрушались с поверхности, что мешало образованию плотного водонепроницаемого стыка между скалой и бетоном. Поэтому решили строительство котлована вести отдельными небольшими секциями от шва до шва с тщательной очисткой поверхности скалы, промывкой ее из шлангов и немедленной бетонировкой враспор. Небольшое количество воды, стекающей с поверхности водонепроницаемой скалы, без особых затруднений удалялось центробежными насосами из шурфов с местным тщательным водоотливом пожарными насосами, иногда ведрами.

* На крупных стройках Медноративного бюро США главный инженер назначается обычно за год до открытия работ. В его обязанности входит детальное ознакомление с изысканиями, геологией, конструкциями, методами производства работ и сметами, а также оформление всех внесенных и принятых изменений.

В процессе строительства в зоне второго слева по течению быка оказался резко выраженный геологический сброс шириной в 2—3 м, заполненный зеленой глиной и брекчией. В связи с этим было произведено дополнительное углубление котлована до 5 м, т. е. до полного удаления разрушенной породы.

Ненадежность скалы, отсутствие понура и рисбермы обусловили необходимость покрытия скалы бетоном толщиной 0,5 м на всей длине быков, равной 14 м. Таким образом созданы заглубленные понур и рисберма, покрытые сверху каменной наброской, защищенные от разрушающего действия крупных донных наносов, проносимых ежегодно через створ плотины в объеме 180 тыс. м³.

Таблица 1

Сроки выполнения работ по строительству плотины Кампырват

Вид работ	Объем работ	Сроки выполнения (квартал, год)
Подготовительные		
Подъездная дорога, км	10	II, 1937 — I, 1938
Грунтовые дороги, км	10	II, 1937 — IV, 1938
Узкоколейка (750 мм), км	10	IV, 1938 — II, 1939
Постоянное гражданское строительство, тыс. м ³	3	I, 1938 — I, 1939
Временное гражданское строительство, тыс. м ³	23,7	II, 1937 — II, 1938
ТЭЦ, механические мастерские, гараж, тыс. м ³	2,5	IV, 1937 — IV, 1938
Основные		
Выемка котлована плотным, тыс. м ³		
в скале	17	IV, 1937 — I, 1938
в галечнике	177	III, 1937; III, 1939—I, 1940
Каменная наброска, тыс. м ³	32	III, 1938 — I, 1940
Бетон и железобетон, тыс. м ³	15	II, 1938 — I, 1940
Чугунная облицовка, т	927	III и IV, 1938
Металлоконструкции, т		III и IV, 1939
Перевозки, тыс. т/км		
узкоколейкой	300	IV, 1938 — II, 1940
автотранспортом	225	II, 1937 — II, 1940

Примечание. Количество рабочих изменялось по годам от 200 до 1300 человек.

Особые опасения вызвало сооружение поперек заглубленного русла Карадарьи на подсыпных галечниках толщиной до 4 м регулятора каналов Шаарихан, Андижан, Савай с расходом 230 м³/сек. Насыпь вели слоями по 30 см с обильной замочкой водой, укаткой гусеничными тракторами, крупный булыжник отбирали руками. Отдельные быки регулятора в первые годы эксплуатации осели примерно на 15 мм. Швы между верховым зубом и криволинейным понуром, разошедшиеся на 10 мм, заливались песчано-цементным раствором.

Берегоукрепительные дамбы делали с помощью экскаватора дредлайна из галечника, вынутого при рытье котлованов для каменного крепления откосов, причем требовалось взорвать в плотном теле примерно 105 тыс. м³ скалы. Технические условия проекта предусматривали укладку только габаритного камня весом от 240 кг до 7 т при расходе 0,25 кг аммонита на 1 м³ скалы.

Сначала вскрыли карьер вручную, при этом грунт спускали вниз, оттуда перекидывали его экскаватором под откос и использовали для устройства ровной площадки, где намечалось разместить железнодорожные пути и механизмы. Затем на фронте 230 м в скале были пройдены две штольни глубиной по 48 м со штреками в конце до 16 м и с камерами для зарядов. Массовый взрыв оказался удачным. Фактически взорвано в плотном теле 210 вместо 120 тыс. м³, что полностью обеспечило строительство, устранило необходимость дополнительных взрывов, обычно значительно удорожающих и удлиняющих производство работ. Следовательно, лучше взрывать большее количество скалы по сравнению с расчетным, дабы иметь запас камня.

После массового взрыва и укладки путей приступили к погрузке камня на платформы при помощи 5-тонных ручных лебедок с блоками и высоких треног, сделанных из 8,5-метровых бревен. Два стационарных жестконогих деррика с электролебедками были получены значительно позднее, что не исключило использования до конца работ треног и ручных лебедок. Из-за отсутствия кранов разгрузку камня производили такелажным способом — путем наклона на бок платформ тросом с лебедкой. Погрузочно-разгрузочные работы успешно выполняли небольшие бригады квалифицированных грузчиков. Камень перевозили четырьмя поездами с мотовозами по пять платформ. Всего имелось 44 четырехосных 8-тонных платформы и 8 мотовозов по 30 л. с. (табл. 2).

Таблица 2

Материалы, механизмы и транспорт, использованные на строительстве плотины Кампыррават

Материалы и транспорт	Количество	Механизмы	Количество, шт.
Кирпич жженный, тыс. шт.	200	Двигатели „Русский дизель“ мощностью 140 л. с.	3
Цемент, т	4500	Экскаваторы драглайн грузоподъемностью 0,75 м ³	2
Лес круглый, м ³	2900	Краны-деррики стационарные 10-т	2
Лес пиленный, м ³	1000	Автокраны 3-т	1
Сталь арматурная, т	400	Бетономешалки емкостью 350 л	4
Сталь для металлоконструкций, т	220	Гравьесортировки цилиндрические	2
Чугунные плиты для облицовки, т	930	Пескомойки шнековые	3
Рельсы узкоколейные, т	230	Компрессоры передвижные	2
Узкоколейные 8-тонные платформы	44	Отбойные молоты БМ-4	6
Ватонетки Коннеля	30	Насосы центробежные диаметром 100—204 мм	15
Автомашинны 3,5-т	8		
Автомашинны 1,5-т	2		

Строго выдерживался проектный габарит камня: нижний — по условиям устойчивости в воде, верхний — по грузоподъемности платформ. В первый же паводок камень прочно закальматировался песчано-галечным грунтом и илом, что способствовало ликвидации небольшой фильтрации через дамбы. Все работы по каменному креплению выполнили за 10 месяцев; месячная производительность соответствовала примерно 3,5 тыс. м³.

Заготовка песка и гравия, подача их к бетонному заводу, а также развозка бетона были организованы на базе широко развитого узкоколейного железнодорожного транспорта при длине путей до 20 км. По окончании работ все имущество этого транспорта отгрузили на другой объект.

Отметка путей для развозки бетона в вагонетках превышала на 2 м отметку порога плотины. Это давало возможность забетонировать флютбет, все фундаменты быков и устоев по лоткам сверху вниз, а верхние части быков и устоев с мостами — подачей бетона передвижными ленточными транспортерами на колесах вверх до 5 м.

Гравий и песок добывали просеиванием песчано-галечного грунта из русла реки через две цилиндрические гравиесортировки, расположенные у подъездных путей, ведущих к бетонному заводу, расположенному в центре бетонных работ за левым устоем плотины; песок, кроме того, пропускали через шнековую пескомойку.

Бетон из бетономешалок Егера поступал в опрокидные вагонетки емкостью 0,75 м³ и отвозился по путям, проложенным на деревянной эстакаде вдоль криволинейного в плане флютбета плотины, где его сбрасывали через небольшие приемные бункеры с лотками в котлованы секций флютбета. После сооружения флютбета эстакаду с путями передвинули на 7 м в сторону нижнего бьефа для бетонирования передвижными транспортерами фундаментов быков и устоев.

Большое внимание уделялось прочности коренных лесов, а также качеству опалубки, выполнявшейся из досок одинаковой толщины, пропущенных через рейсмус. К бетонировке разрешалось приступить лишь после полного окончания опалубки и арматуры отдельно каждого быка и приемки работ инспекцией. При повторном употреблении досок поверхность их тщательно очищали, затем слегка промасливали отработанным маслом.

Хороший подбор состава, надлежащая обработка вибраторами в жесткой и плотной опалубке обеспечили отличное качество бетона. После 24 лет эксплуатации плотины поверхность бетона не нарушилась, за исключением местных истираний от наносов за затворами плотины и на водосливной плите регулятора.

Флютбет, вертикальные грани быков и устоев в нижней зоне движения наносов покрыты чугунной облицовкой из плит с крючками толщиной 5 см, удобных для ручного подъема. Верхняя поверхность плит отбеливалась на заводе. Устанавливали плиты шведским способом. Бетон не доходил до проектной отметки порога плотины 12 см. Из него были выпущены на 10 см вверх крючки, к которым подвязывалась горизонтальная арматурная сетка диаметром 10 мм. Затем производили установку плит крючками вниз, заполняя промежутки между бетоном и плитами мелким гравием, который заливали водой для удаления воздуха. В отверстия плит вставляли метровые отрезки полуторадюймовых труб с воронками; через них песчано-цементный раствор поступал в промежуток между плитами и бетоном, вытесняя воду.

Преимущество этого индустриального метода защиты поверхности бетона от донных наносов заключается в малой трудоемкости, легкости выполнения по сравнению с облицовкой тесаным гранитом или диоритовым бетоном.

На случай перерыва подачи энергии или же неисправности механизмов предусмотрен подъем за 8 минут всех затворов плотины запасными ручными лебедками, размещенными рядом с электроподъемниками, что очень важно, так как при строительстве наблюдались внезапные увеличения расходов воды в реке за один час до 150 м³/сек.

Затворы с подъемниками изготовлены на заводе, где они прошли контрольную сборку. Для нормальной их работы необходима точность размещения в бетоне как закладных опорных подшипников, так и дуг уплотнений. Разбивка осложнялась криволинейностью плотины в плане. При строительстве успешно применялся аналитический метод разбивки засечками с помощью двух теодолитов, что исключало надоб-

ность измерения расстояний. Этот метод оказался удобным и точным. Все части затворов смонтированы без подгонок и перекосов.

Девять пролетов регулятора (по 5 м в свету) и десятый, предназначенный для входа в дюкер правого берега, были перекрыты деревянными шандорами квадратного сечения, окованными по концам металлическими полосами. Подъем и опускание шандор производили передвижным механизмом транспортной балки с двумя электромоторами. С течением времени шандоры перекосились, не стали заходить в пазы, что нарушило работу балки. В условиях Кампырравата при незначительном поступлении наносов в конце паводка через регулятор и при больших уклонах каналов Шаарихан и Андижан целесообразнее было бы дополнительно снабдить пролеты сегментными затворами с подъемниками.

Через плотину построен железобетонный автогужевой мост, ширина его проезжей части 3 м.

Проект плотины составлен на основании результатов предварительных лабораторных исследований ее модели, проведенных в САНИИРИ. Исследования гидроузла на модели в период его эксплуатации проводились в Институте сооружений АН УзССР в 1945—1947 и в 1950—1952 гг. С. Т. Алтуниным, Ф. Ш. Ишаевым, А. М. Мухамедовым [4, 18, 30].

Как установлено, большое значение для борьбы с наносами имеет правобережная береговая дамба верхнего бьефа, глубоко вдающаяся в русло реки, в результате чего происходит изменение прямолинейного течения на криволинейное, сопровождаемое явлениями мощной поперечной циркуляции всего потока с навалом воды у левого берега перед плотиной до 1 м.

Движения поверхностных струй, а также эпюры их скоростей на модели изображены на плане гидроузла (см. рис. 10). Избыточное давление у левого берега вызывает винтовое движение донных струй. Наносы при этом отходят в область недостаточного давления у правого берега, поверхностные струи поступают в регулятор почти без донных наносов: в маловодные годы при 72% водозабора они составляют лишь 1,5%.

При расходе $250 \text{ м}^3/\text{сек}$ с подпором до 3 м все наносы сначала откладываются перед плотиной до уровня криволинейного порога регулятора высотой 1,5 м, затем они как бы «вползают» на широкий, длинный понур и через регулятор проходят в канал. Уклоны дна саев Шаарихан и Андижан в их начале соответствуют уклонам Карадарьи. Поэтому попадание в сав сравнительно небольших количеств донных наносов не опасно. Наоборот, после 5 лет эксплуатации установлено, что на протяжении первых 600 м дно подводящего русла этих саев заглубилось от 0,4 до 0,6 м. Ниже водodelителя дно Шаарихана снизилось от 0,5 до 0,8 м, что несколько затруднило водозабор в нижерасположенные каналы. Дальнейшего заглубления не предполагается, так как весь мелкий гравий и песок смыты, дно оказалось вымощенным крупным галечником. Таким образом, проблемы борьбы с наносами в каналах Шаарихан и Андижан за 24 года эксплуатации не существовало.

Более неблагоприятное, но отнюдь не угрожающее положение создавалось в русле реки. Поскольку через плотину проходят почти все донные наносы, поток перегружается ими в нижнем бьефе, особенно в маловодные годы, когда расход воды ниже плотины в паводок не превосходит $180 \text{ м}^3/\text{сек}$, и наносы не могут транспортироваться вниз.

В верхнем бьефе на протяжении 1,5 км от плотины в первые 2 года ее эксплуатации происходило усиленное накопление наносов; в нижнем бьефе имел место размыв дна из-за их недостаточности. Когда наносы начали проноситься через плотину в больших количествах, отложение

происходило за ней, размывы уменьшались. К концу 1945 г. объем отложений составил в верхнем бьефе 165 тыс. м³, в нижнем — 390 тыс. м³.

За береговыми дамбами пойма нижнего бьефа имеет ширину около 500 м, что способствует растеканию потока и ослаблению его транспортирующей способности.

После обследования Кампырраватского гидроузла С. Т. Алтуниным рекомендовано:

1) производить периодические смывы наносов в обоих бьефах в многоводные годы при открытых щитах плотины, что возможно при расходах более 600 м³/сек;

2) соорудить в нижнем бьефе специальные дамбы для сужения потока и увеличения его транспортирующей способности;

3) увеличить сброс мелких донных наносов через регулятор в подводящее русло, где они задерживаться не будут;

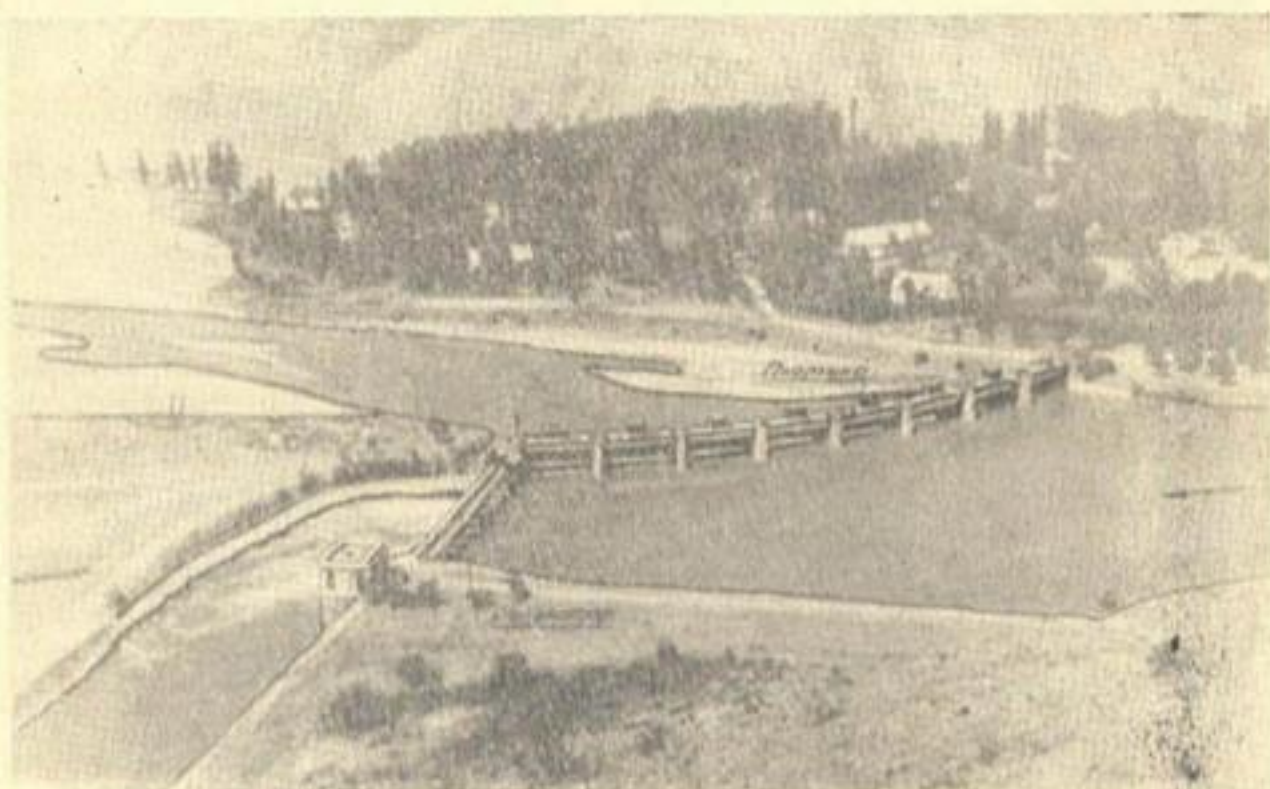


Рис. 12. Панорамный вид плотины Кампыррават с регулятором каналов Шаарихан Анджан, Савай.

4) плотину гидроузла расположить под возможно большим углом к течению и сократить ее фронт с 137,5 до 100 м устройством косого порога перед регулятором, так как это будет способствовать уменьшению заноса правых отверстий галечником и песком и увеличит ее пропускную способность в паводок.

Рекомендации С. Т. Алтунина частично учтены при дальнейшем проектировании водозаборов ферганского типа.

Как уже отмечалось, в процессе эксплуатации Кампырраватской плотины происходит истирание чугунной облицовки и бетона. При косом подходе перед щитами образуется область повышенного, а за ними область пониженного давления. В последнюю устремляются донные галечниковые наносы, приходящие во вращательное движение и разрушающие чугунную облицовку быков. В 1945 г. выявлен износ облицовки и бетона трех левых пролетов высотой до 1,5 и глубиной до 0,8 м.

В 1953 г. обнаружено, что чугунная облицовка и бетон флютбета протерты до полости дюкера, в связи с чем был произведен необходимый профилактический ремонт. Подобные ремонты производились

также на других гидроузлах Средней Азии. По нашему мнению, необходимо применять облицовки, более устойчивые против истирания, или же своевременно выполнять профилактические ремонты.

Осмотр автором сооружения после маловодных 1961 и 1962 гг. показал:

1) подъем дна нижнего бьефа составляет около 0,8 м, что говорит о необходимости промывки русла в паводки с открытыми щитами;

2) повреждены крупными донными наносами нижние части сегментных затворов, которые требуется отремонтировать;

3) затруднена эксплуатация шандорами на головном регуляторе, поэтому следует поставить здесь дополнительно сегментные затворы;

4) нет оборудования малой ГЭС, которое надлежит приобрести и смонтировать;

5) состояние каменной наброски дамб и бетона плотины в результате отличного качества работ хорошее — без раковин, трещин и повреждений от морозов.

В основном эксплуатация плотины Кампыррават проходит нормально: не требуется трудоемких работ и специальных затрат на ремонты, чем она выгодно отличается от других плотин Средней Азии. Общий вид ее отражен на рис. 12.

В настоящее время на расстоянии 1 км выше Кампырраватского гидроузла начинается строительство плотины высотой 110 м, с водохранилищем емкостью 1,75 км³, что должно улучшить водопользование 207 тыс. га и дополнительно оросить 35 тыс. га новых земель.

КУЙГАНЬЯРСКАЯ ПЛОТИНА НА КАРАДАРЬЕ

Общие сведения

Куйганьярская плотина не ферганского типа, но в паводок для борьбы с донными наносами здесь используется поперечная циркуляция речного потока (рис. 13).

В 1939 г. для обеспечения поливом все увеличивающихся площадей вновь осваиваемых земель силами узбекского и таджикского народов построен Большой Ферганский канал (БФК), протянувшийся от головного сооружения бывшего Учкурганского канала на р. Нарын УзССР до г. Ленинабада Тадж ССР. Канал перерезают многочисленные реки и сая, стекающие с отрогов Тянь-Шаня, Алайского и Туркестанского хребтов, окаймляющих Ферганскую долину с юга. Недалеко от Андижана канал свободно впадает в Карадарью, подпитывая ее водами многоводного Нарына. Ниже по течению канала в 1939—1940 гг. на Карадарье построена Куйганьярская плотина с головным регулятором, подающим воду в продолжение БФК. Подпитывание Карадарьи из Нарына и межречные переброски воды дали возможность дополнительно оросить около 100 тыс. га новых земель.

В последующие годы продолжалось расширение и увеличение пропускной способности канала и его сооружений, что видно из роста расходов регулятора БФК у Куйганьяра:

Год	м ³ /сек
1939 при сооружении БФК и плотины	98
1951 после реконструкции плотины	135
1961 после расширения БФК	175

В маловодном 1962 г. в головной части БФК на Нарыне вместе со вторым дополнительным водозабором фактически забиралось 195 м³/сек воды, а у Куйганьяра — 175 м³/сек. Кроме того, 8 м³/сек шло

из Карадарьи в правобережный канал Сиза. Следует отметить, что в этом году расход собственно Карадарьи составлял за счет родниковых вод всего лишь $6 \text{ м}^3/\text{сек}$, так как до $200 \text{ м}^3/\text{сек}$ воды забиралось на Кампырравате в каналы Шаарихан и Андижан. Указанные цифры свидетельствуют об эффективности результатов, полученных от сооружения БФК, особенно выразившихся в последние годы после проведения дренажных мероприятий, с помощью которых ликвидировано подтопление орошавшихся ранее земель, возникшее с пуском канала.

В настоящее время отмечена постоянная нехватка воды в конце канала, так как для Ленинабадской области ТаджССР требуется не $12 \text{ м}^3/\text{сек}$ воды, а дополнительно еще $14 \text{ м}^3/\text{сек}$. Не обеспечены водой и новые земли Центральной Ферганы.



Рис. 13. Общий вид Куйганьярской плотины на Карадарье с головным регулятором Большого Ферганского канала.

Этот вопрос может быть разрешен путем подачи добавочной воды из Нарына (строящееся Токтогульское водохранилище), из Карадарьи (предполагаемое сооружение Кампырраватского водохранилища) или же использования грунтовых вод Карадарьинского веера, которые, по предварительным данным, значительны.

Карадарья выше ущелья Кампыррават и ниже до Куйганьярского железнодорожного моста представляет широко разливающуюся отдельными рукавами реку. Русло ее по всей долине крайне непостоянно, со средним уклоном $0,004$.

Меженные расходы с ноября до апреля сравнительно постоянны — около $50 \text{ м}^3/\text{сек}$. В паводок расчетная величина максимального расхода 1% -ной обеспеченности определена в $1200 \text{ м}^3/\text{сек}$.

По выходе в Ферганскую долину Карадарья становится источником питания многочисленных каналов. С переменной фаз режима скорость течения реки колеблется от $0,2$ до $5,7 \text{ м}/\text{сек}$, глубина — $0,3$ — $3,5 \text{ м}$, ширина — 31 — 174 м .

Зажорно-заторные явления наблюдаются редко и обычно не сопровождаются значительными нарушениями гидравлического режима потока.

Сток донных наносов составляет $2,0$ — $4,5\%$ стока взвешенных наносов.

Первоначальная конструкция плотины

Сооружение Большого Ферганского канала осуществлено в 1939 г. скоростным народным методом за 1,5 месяца. В целях своевременной подачи воды на поля Куйганьярская плотина построена как конструкция временного типа в осенне-зимний период 1939—1940 гг. (рис. 14).



Рис. 14. Нижний бьеф Куйганьярской плотины в 1940 г. до пуска.

Следует отметить, что к этому же времени введена в эксплуатацию постоянная Кампырраватская плотина ферганского типа (1937—1940 гг.), расположенная выше по Карадарье.

Компоновка Куйганьярского узла производилась с учетом образования поперечной циркуляции потока со сбросом наносов через плотину и с лобовым водозабором в головной регулятор БФК.

Для улучшения подхода потока к регулятору плотина имеет ломаное в плане очертание, а наиболее длинная правобережная щитовая часть ее повернута на 20° к перпендикуляру от оси реки.

Водоскат распластанного индийского профиля 10 : 1 образован четырьмя рядами кряжей, расположенных на разных отметках. Первый, верховой ряд, который служит основанием гребня водослива, заполнен глинобетоном, второй и третий — местным грунтом, четвертый, низовой — рваным камнем. На гребне водослива находятся шарнирные щиты — козырьки размером 1×2 м.

Сбросной шлюз и левый берег реки образуют карман перед регулятором БФК. Отверстие сброса разбито на восемь пролетов шириной в свету 3 м, перекрытых донными щитами и забральной стенкой. Конструктивно шлюз состоит из бутобетонного флютбета толщиной 3,3 м и опирающихся на него бычков, в которые заделаны пазовые конструкции щитов.

Регулятор БФК имеет десять пролетов по 2 м, перекрываемых шандорами и рассчитанных на пропуск форсированного расхода $98 \text{ м}^3/\text{сек}$. Флютбет регулятора — бутобетонная плита толщиной 2,9 м. Бычки выполнены в виде деревянных рам, обшитых досками.

Правобережный регулятор канала Сиза в виде деревянной двух-очковой трубы прямоугольного сечения $1,25 \times 1,25$ м длиной 24 м с расчетным расходом $9 \text{ м}^3/\text{сек}$ находится на 100 м выше оси плотины. Располагавшийся на 200 м выше старый водозабор левобережного канала Улугнар ликвидирован, взамен построено новое головное сооружение на пк. 45 БФК.

Защитные дамбы и крепление берегов в верхнем и нижнем бьефах реки выполнены из наброски рваного камня с установкой в отдельных местах сипайных шпор.

Узел расположен на 400 м ниже железнодорожного моста через Карадарью. Наличие прямого, сравнительно короткого, расширяющегося к плотине участка реки затрудняет образование криволинейного русла, развитие явлений местной поперечной циркуляции потока возможно лишь перед самой плотиной.

Опыт эксплуатации узла показал, что при водозаборе в БФК около 90% от общего расхода реки в пределах кармана образуется резкий свал течения к регулятору, сопровождающийся водоворотом, занимающим почти всю длину кармана, что создает условия для усиленного поступления донных наносов в канал.

Ввиду небольшого уклона русла и малой транспортирующей способности БФК наносы в больших количествах отлагаются в нижнем бьефе регулятора и далее, вызывая заиление головной части и уменьшая его пропускную способность.

Моделирование и проект реконструкции

После 10 лет эксплуатации временные деревянные части плотины пришли в негодность, кроме того, требовалось увеличить пропускную способность Большого Ферганского канала. Это обусловило решение о реконструкции плотины. Предварительно были разработаны два варианта проекта: в САНИИРИ — с поперечной циркуляцией, в САЗВОДПРОИЗе — с послойным водозабором потока. Однако, согласно техническому проекту, выполненному Средазгипроводхлопком в 1957 г. общая компоновка сооружения оставлена прежней (рис. 15), полностью использованы существующие бетонные части. Для увеличения расходов БФК до $130 \text{ м}^3/\text{сек}$ повышена отметка НПГ воды перед плотиной на 0,9 м.

Ряжевые быки плотины и регулятора заменены бетонными на отдельных фундаментах. Большая работа проделана по замене деревянных щитов-козырьков, шандор плотины, сброса и регулятора металлическими плоскими затворами с электрифицированными подъемниками, а также резервными лебедками ручного подъема.

В настоящее время расположение пролетов плотины и регулятора следующее (рис. 16): щитовая часть плотины имеет 11 пролетов, перекрытых затворами 10×2 м. Слева к щитовой части примыкает глухой водослив длиной 21,4 м с гребнем, поднятым до новой отметки НПГ. По верху водослива проложен служебный мостик с промежуточной опорой. Пропускная способность щитовой части $830 \text{ м}^3/\text{сек}$, водосливной — $44 \text{ м}^3/\text{сек}$; к последней слева примыкает сброс из пяти пролетов по 6 м, имеющих два яруса щитов: верхние и нижние глубинные размерами по $6 \times 1,55$ м. Между ними расположена балка-забрало, назначение которой двоякое: уменьшение погонного расхода воды во избежание размывов нижнего бьефа и защита затворов в открытом положении (рис. 16). Общая ширина пролетов регулятора осталась прежней — 25 м. Но вместо десяти 2-м пролетов с шандорами сделано че-

тыре со сдвоенными затворами: $5,5 \times 1,3$ и $5,5 \times 3,0$ м. Перед регулятором установлена щелевая металлическая песколовка, предназначенная для удаления части наносов через нижние щиты левого пролета сброса. Однако она систематически засоряется песком, илом и мусором, поэтому эффекта не дает. Высота порога перед регулятором равна 1,5 м, что несколько улучшает борьбу с наносами.

Практика показала, что мелкие фракции донных наносов, находящиеся во взвешенном состоянии в подводящем кармане, где скорости течения большие, после прохождения порога регулятора и снижения скоростей течения осаждаются в канале на расстоянии 30—40 м и далее в значительных размерах.

К 1962 г. за регулятором закончено сооружение двухсекционного

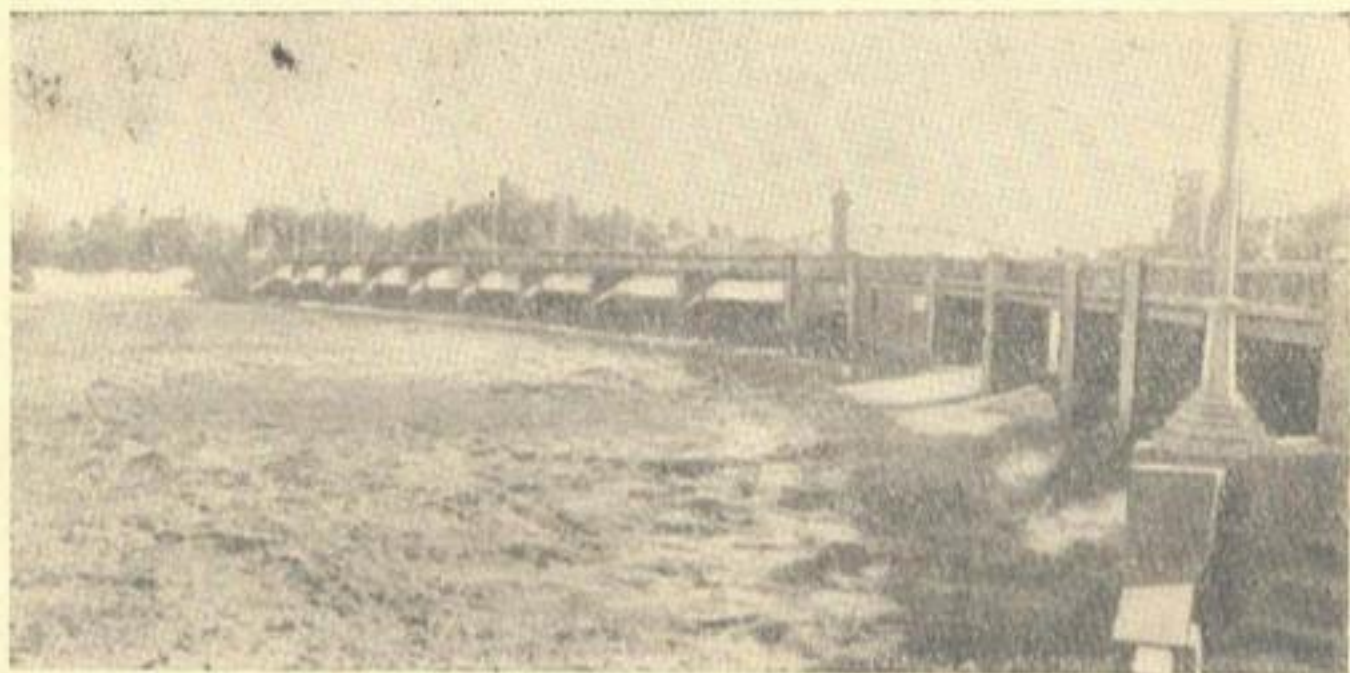


Рис. 15. Нижний бьеф Куйганьярской плотины после реконструкции в 1957 г.

отстойника длиной 3,5 км с поперечным преграждением в конце, со сбросом наносов в Карадарью через железобетонный сброс-перепад. Этим упразднена необходимость ежегодных очисток наносов экскаватором в объеме до 150 тыс. м³. Отстойник образован руслами БФК и бывшего канала Улугнар. В опасных местах он облицован железобетонными плитами и до сброса-перепада проходит одним руслом.

Таким образом, проблема борьбы с донными наносами на Куйганьяре фактически разрешена методами местной поперечной циркуляции потока в паводок и работой отстойника периодического действия за головным регулятором. В паводок при большой величине сбрасываемых в реку расходов возможно комплексное применение обоих методов. По мере уменьшения паводка могут последовательно закрываться справа налево пролеты плотины, затем сброса и действующим останется только отстойник канала, промываемый после поливного сезона.

В маловодные 1961—1962 гг. весь расход, подходивший к плотине, забирался (за исключением нескольких дней) в регулятор БФК, наносы могли откладываться лишь в отстойнике; в ноябре начинались его промывки.

Описанный комплексный метод наиболее полно разрешает задачу борьбы с донными наносами как в маловодные, так и в многоводные годы, особенно в низовьях Амударьи и Сырдарьи.

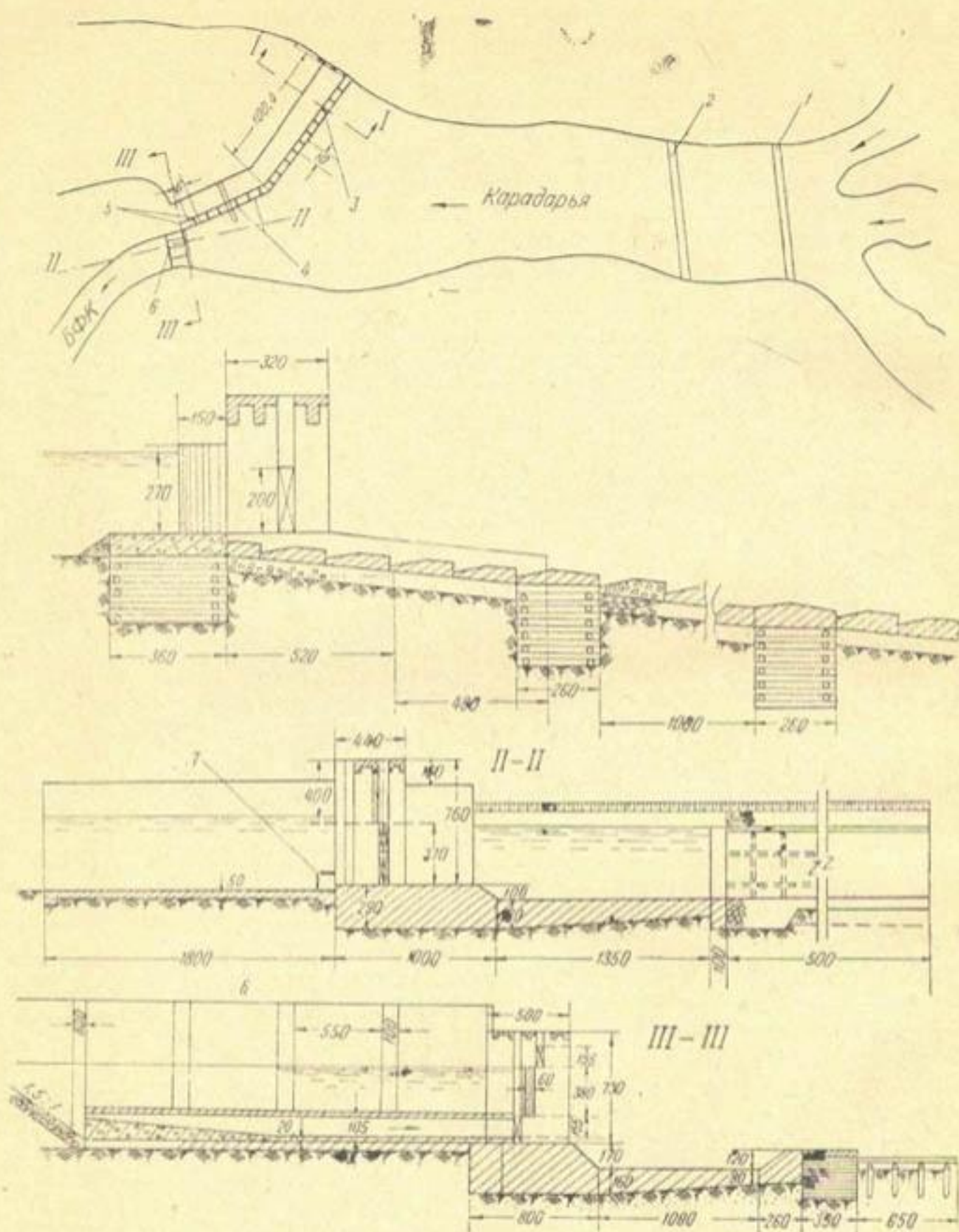


Рис. 16. Детали Куйганьярской плотины после реконструкции в 1957 г.:

1—железнодорожный мост; 2—автомобильный мост; 3—пролеты шлюзовой плотины; 4—пролеты водослива; 5—пролеты сброса; 6—регулятор БФК; 7—песколовка (план в метрах, разрезы в сантиметрах).

САРЫКУРГАНСКАЯ ПЛОТИНА НА Р. СОХ

Вторым крупным водозабором ферганского типа в Средней Азии является Сарыкурганский узел, расположенный южнее г. Коканда на р. Сох при выходе ее в Ферганскую долину. Узел обеспечивает надеж-

ный водозабор четырех больших районов Ферганской области, размещенных на площади 170 тыс. га.

Строительство узла осуществлено в 1945—1947 гг., т. е. через 7 лет после постройки плотины Кампыррават. Проект узла составлен Сред-азгипроводхлопком с учетом опыта сооружения и эксплуатации Кампырраватской плотины и результатов исследований, произведенных в САНИИРИ на модели.

Река Сох берет начало на северных склонах Алайского хребта, южные склоны которого обращены здесь к долине р. Сурхоб в бассейне

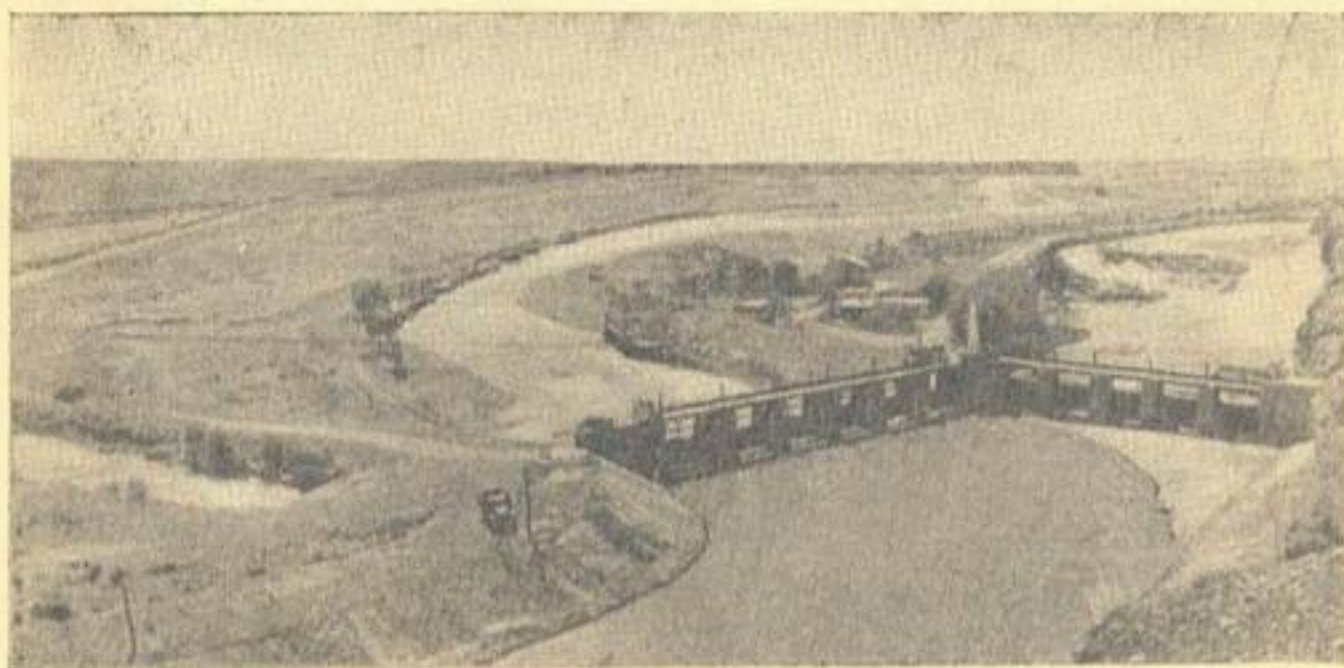


Рис. 17. Панорама Сарыкурганской плотины на р. Сох.

Вахша. Питание Соха снеговое и ледниковое, преобладает последнее. Пик паводка проходит в июле — августе; расход резко меняется по временам года и суток при максимальной величине его $200 \text{ м}^3/\text{сек}$. Расчетный расход 0,1%-ной повторяемости определен в $350 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Плотина расположена в конце ущелья перед выходом реки в долину на огромном конусе выноса длиной 12 км, шириной 2 км, образованном мощными галечниковыми отложениями. Ширина поймы около 700 м. С боков она ограничена крутыми склонами, сложенными конгломератами.

При уклонах русла от 0,006 до 0,009 скорости течения доходят до $5 \text{ м}/\text{сек}$; река несет большое количество песчано-галечных наносов крупностью до 35 см.

Забор воды в каналы издавна осуществлялся здесь с большими трудностями при ежегодном возведении и поддержании в рабочем состоянии сотен сипаев, загружавшихся таштуганной кладкой.

В 1944 г. временный сипайно-ряжевый водозаборный узел полностью был разрушен паводком, после чего начато сооружение нового, постоянного гидроузла (рис. 17). Выше его пойма конуса выноса перекрыта наискось под углом $45\text{—}50^\circ$ мощной дамбой длиной 825 м, высотой 6,3 м, шириной поверху 5 м с откосом 1,75 : 1 из гравелисто-галечного грунта. Напорный откос облицован кладкой из бетона толщиной 0,5 м с втопленными в него валунами, с заглубленным до 4 м тюфяком из того же материала.

Таким образом, река, прижатая к правому берегу, состоящему из конгломерата, образует перед плотиной крутой поворот влево, причем

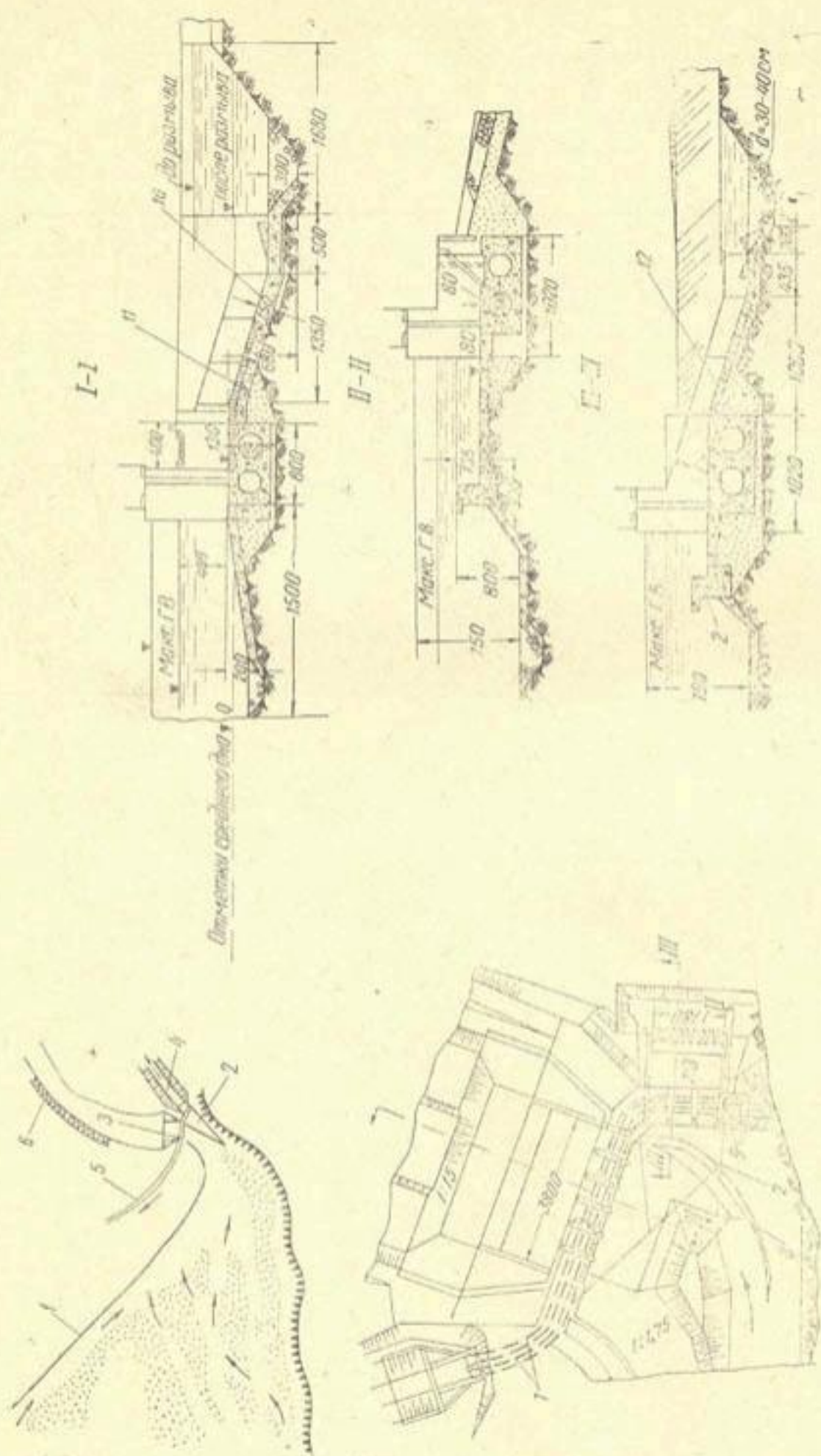


Рис. 18. Конструкция Сарыкурганской плотины на р. Сох:

1—структурная дамба; 2—Г-образный порог; 3—открытие сброса; 4—правобережный канал; 5—завороченный канал; 6—синий-тантуганная дамба; 7—люкера; 8—прорезь; 9—ходы в люкера; 10—первоначальная облицовка в 1947 г. камен на растворе и рельсами; 11—цанное облицовки в 1951 г.; 12—облицовка гранито-булыжным камнем бетона марки 110 (размеры в сантиметрах).

возможность блужданий потока полностью исключена, что предопределяет надежность постоянного водозабора.

Щитовая железобетонная плотина из шести пролетов общей шириной в свету 38 м перекрыта плоскими металлическими затворами с лебедками.

К плотине под углом 106° примыкает водозаборный регулятор, расположенный на вогнутом правом берегу, состоящий из трех пролетов правобережного канала расходом $60 \text{ м}^3/\text{сек}$, перекрытых плоскими щитами с лебедками, и двух пролетов левобережного канала расходом $38 \text{ м}^3/\text{сек}$ с пазами для шандор. Из двух пролетов вода поступает в двухочковую трубу, проходящую во флютбете регулятора и плотины (рис. 18).

Перед фронтом водозаборного регулятора помещен криволинейный, переменного радиуса Г-образный порог высотой со стороны регулятора 1,35 м.

Флютбеты регулятора и плотины сечением $8 \times 4 \text{ м}$ имеют две потери по $2,2 \times 2 \text{ м}$. Высота сооружения от порога водослива до служебного мостика составляет 7 м. Проектом предусмотрена возможность наращивания порога на 2 м по мере занесения плотины наносами.

Горизонтальная часть водобоя плотины между быками в трех правых пролетах укреплена рельсами, втиснутыми головками вниз в бетон марки БМ-140 и уложенными вдоль по течению на расстоянии 0,35 м между осями. Наклонная часть водоската и его откосы облицованы крупным булыжным камнем на растворе М-50 толщиной 20 см. Зубья в конце водобоя также укреплены рельсами.

Ниже этого участка на левом вогнутом берегу Соха на длине 150 м уложен таштуган на сипайном каркасе. Немного далее начинается широкая галечниковая пойма реки.

Конструкция водобоя регулятора правобережного канала аналогична. Порог его приподнят над порогом плотины на 0,8 м.

Сток донных наносов определен проектом в 60 тыс. м^3 в год; полное занесение узла предполагается через 20 лет.

Эксплуатация гидроузла

В первые 5 лет эксплуатации полевые обследования гидроузла выполнялись работниками САНИИРИ, составлявшими соответствующие отчеты. Большая работа проведена по определению характера и величины стока донных наносов. В классификации грунтов русла учитываются следующие фракции:

Крупность, мм	% по весу
Валуны больше 200	8
Булыжник 200—75	31
Галька 75—15	41
Гравий 15—2,5	10
Песок 2,5—0,25	10

Движение донных наносов на этом участке р. Сох возникает при скорости течения $1,3 \text{ м}^3/\text{сек}$ с расходом воды $30 \text{ м}^3/\text{сек}$. Наносы максимальной крупности (300 мм) начинают двигаться при скорости $3 \text{ м}^3/\text{сек}$, расходе $130 \text{ м}^3/\text{сек}$. Постоянная ширина полосы их движения устанавливается при расходах 100—200 $\text{м}^3/\text{сек}$ и составляет 60—65% ширины зеркала воды.

Количество донных наносов, проходивших в 1948—1951 гг. через гидроузел, следующее (тыс. м^3):

Год	Отложилось перед плотинкой	Вынесено через плотину
1948	186	—
1949	131	83
1950	83	41
1951	50	28
Всего	450	152

В первый год эксплуатации все наносы отложились перед плотиной, а за ней наблюдался размыв у низового зуба и вдоль левого вогнутого берега; во второй началось интенсивное прохождение их через плотину и усиленный износ облицовки и бетона на глубину до 0,5 м на дне водобоя, а также на откосах его наклонной части. Лучше держалась облицовка рельсами. Размыв за низовым зубом почти прекратился, зубья в конце водоската в этих условиях работали удовлетворительно. После первого паводка пришлось восстанавливать полуразрушенный правый откос наклонной части водоската, дно его облицовывать бетоном с поднятием порога плотины на 0,5 м и с втоплением рельс во всех пролетах.

На третий год эксплуатации отложение наносов перед плотиной усилилось, что объясняется изменением конфигурации русла, подъемом порога, общим более равномерным и распластным протеканием потока.

В течение трех лет эксплуатации дно реки за плотиной изменялось. Неравномерность выноса наносов за пределы верхнего бьефа обуславливалась отложениями при перегрузке ими потока и смывами осветленной водой.

Объем отложений в верхнем бьефе за 5 лет работы узла составил в среднем 90 тыс. м³ в год с общей длиной распространения подпора 1,5 км. Фактическое движение их превышало проектные предположения от 1,4 — до 3,5 раза.

К 1963 г. уровень воды за плотиной снизился на длине 1 км в среднем примерно на 1,4 м, глубина местного размыва в зоне прыжка за низовым зубом дошла у правого берега до 2 м. Назрела необходимость капитального крепления берегов отводящего русла за плотиной на 400—500 м. Ремонты водобоя и водоската сбросной части гидроузла производились ежегодно.

В 1960 г. отремонтированная ранее наклонная часть водобоя сброса, укрепленного рельсами, втопленными через 0,5 м в бутобетон, была повреждена наносами на глубину 12—18 см. Головки рельс оказались стертыми, а булыги отполированными.

Износ облицовки водобоев наблюдается также на многих других водозаборных плотинах Средней Азии. В 1959—1961 гг. работниками лаборатории стройматериалов ИВПиГ АН УзССР под руководством Б. И. Минкевича производились исследования и испытания новых видов облицовок на Сарыкурганском, Пальманском и Ассакинском водных узлах. Наиболее перспективным по сравнению с бетоном оказался пластобетон на мономере «Ф. А», приготовленном из фурфурола, обладающий большой прочностью на сжатие, изгиб, растяжение, высокой водонепроницаемостью, стойкостью к истиранию. Хрупкость пластобетона может быть уменьшена введением добавок, повышающих вязкость. Прочность сцепления его с бетоном можно увеличить введением арматуры, с которой пластобетон соединяется в 3 раза крепче, чем с бетоном, а также применением сухого гравия и песка и хранением при твердении в сухой среде.

В 1960 г. на Сарыкурганском узле отремонтирован пластобетоном спытный участок наклонной части водобоя. При осмотре водобоя пос-

ле паводка установлено, что истирание происходило заподлицо с зернами крупного заполнителя. Это свидетельствует о прочности их соединения с компонентами пластобетона. Рекомендовано применять такую облицовку в остальных пролетах.

К недостаткам пластобетона относится его высокая стоимость: 180—200 руб. за 1 м³. Кроме того, этот новый вид облицовки требует основательной проверки временем.

Компоновка частей Сарыкурганского водного узла дала хорошие результаты: донные наносы в каналы не поступали. Однако крепление водоската и берегов отводящего русла оказалось далеко не надежным, в результате чего впоследствии требовались неоднократные ремонты.

Подобных недостатков нет у построенной на 8 лет ранее плотины Кампыррават. Имея мощные крепления берегов из крупногабаритной каменной наброски, она фактически не ремонтируется, меняются только отдельные чугунные плиты облицовки, причем через значительный промежуток времени.

ДАМХОДЖИНСКАЯ ПЛОТИНА НА КАРАДАРЬЕ

Для орошения земель низовьев р. Зарафшан издавна недоставало воды, особенно во второй половине поливного сезона, в результате этого значительно снижалась урожайность хлопчатника и других сельскохозяйственных культур.

В 1940—1942 гг. в нижней части долины была сооружена первая очередь Каттакурганского водохранилища емкостью 0,66 км³, накапливающего воду в периоды излишков ее в реке. Вода поступала в него по подводящему каналу с временным головным сооружением на Карадарье расходом 45 м³/сек.

Одновременно с сооружением водохранилища был составлен схематический проект Дамходжинского водозаборного узла постоянного типа с расположением его в голове подводящего канала, в 57 км ниже Аккарадарьинского, где Зарафшан разделяется на два рукава.

Пойма Карадарьи образована здесь галечником, плотно слежавшимся с гравием и песком, перекрытыми с поверхности суглинками, супесями и мелкозернистыми песками. На глубине 11—12 м галечники подстилаются плотными суглинками с прослойками песка.

Коэффициент фильтрации галечников определен 4,8 м/сут. Расход нормального паводка равен 135 м³/сек. Средний уклон дна реки — 0,0027 при скорости течения 3,5 м/сек. Размыв песчано-галечного дна доходит до глубины 3,5 м. Максимальная крупность наносов 20 см. Наносы диаметром 2 см начинают двигаться при расходе воды 75 м³/сек. скорости 1,5 м/сек. Весь состав донных наносов вступает в движение при 135 м³/сек. Максимальный сток их в год составляет 74 тыс. т.

История 15-летнего проектирования и строительства гидроузла представляет большой интерес. Первоначально проектной организацией был составлен схематический проект узла по типу Среднеизарской плотины двухстороннего водозабора с четырьмя средними щитовыми отверстиями и четырьмя боковыми регуляторами с донными галереями. Недостаток такого типа плотин заключается в том, что при пропуске межениных расходов сбросные отверстия закрываются, а перед ними образуется остров, разделяющий реку на два береговых русла. При перераспределении расходов регуляторов один из рукавов может быть забросан наносами, как это наблюдалось, например, на Бешалышской плотине стрельчатого типа. Сбросные отверстия плотины рассчитаны на пропуск всего паводка, продолжающегося не более 10 дней в году, что удорожает стоимость всего сооружения.

С. И. Зиновьевым в САНИИРИ была предложена новая схема центрального водозабора, испытанная на модели (рис. 19). Она представляет собой дальнейшее развитие послойного типа водозабора с учетом опыта сооружения (1934 г.) и эксплуатации Чумышской плотины на р. Чу, а также некоторых других.

Прямолинейное подводящее русло длиной 300 м имеет ширину 75 м, соответствующую ширине устойчивого русла реки. В результате моделирования ширина сокращена на 30%, т. е. до 55 м, благодаря чему ликвидировано блуждание потока при подходе к регуляторам. Укреп-

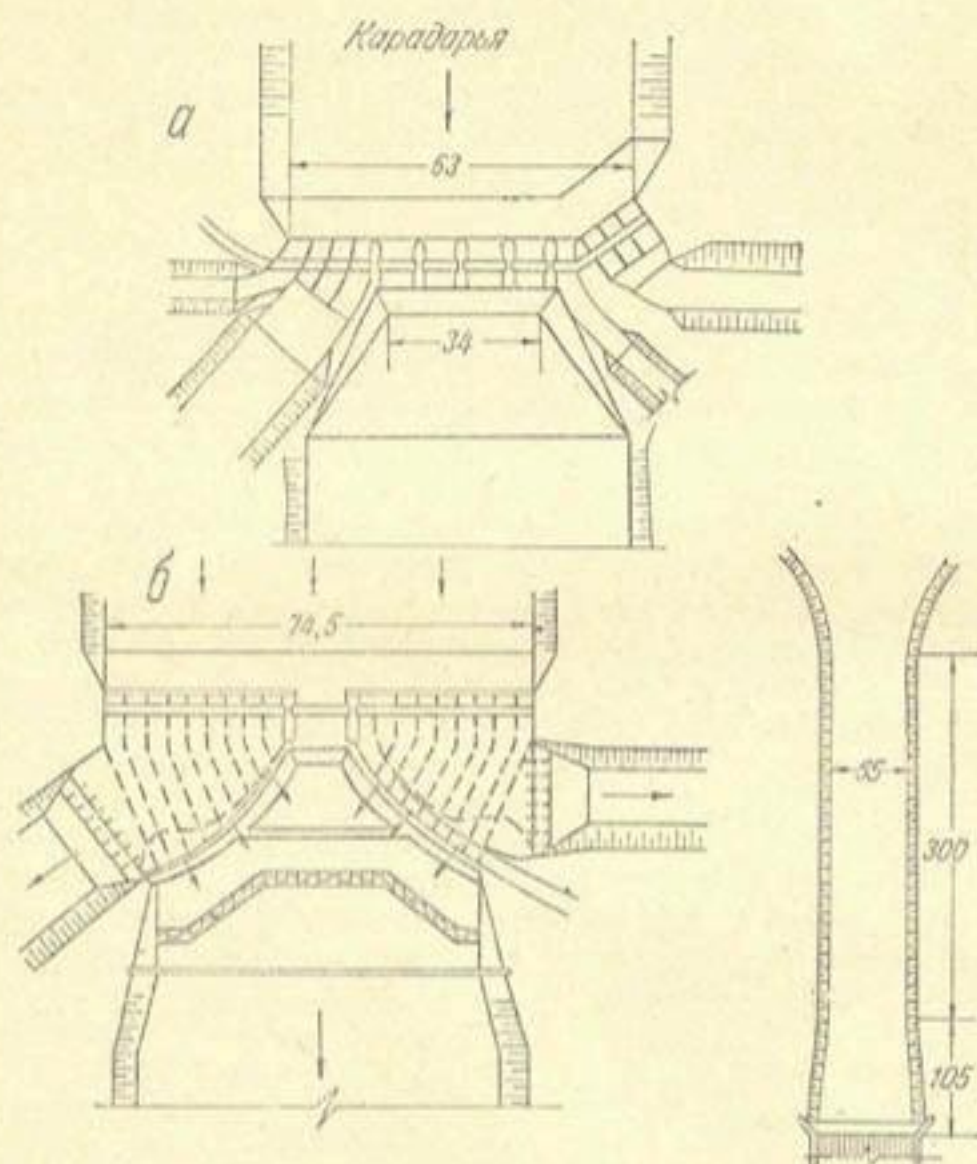


Рис. 19. Первоначальные варианты Дамходжинской плотины:
а — Верхнеизарский тип водозабора; б — центральный двухсторонний водозабор С. И. Зиновьева.

ленные береговые дамбы вначале резко расширяются, перекрывая всю пойму (ширина которой 200 м) и предупреждая обход сооружения потоком.

Концевая часть русла длиной 105 м постепенно расширяется до 75 м, составляя фронт плотины с регуляторами. При таком расположении основная масса наносов движется посередине потока, где наблюдается максимальный размыв глубиной до 5 м, постепенно уменьшающийся к берегам.

С увеличением потока в плане появляются поперечные центробежные силы, отвлекающие часть наносов к берегам, где они попадают под регулятор в боковые промывные галереи, принимающие участие в сбро-

се паводка. Небольшое центральное щитовое отверстие пролетом 8 м принимает часть паводка, плавающие наносы, шугу и усиливает промывку наносов в верхнем бьефе. Это дает возможность сузить фронт сооружения до устойчивой ширины русла реки.

По бокам щитового отверстия фронтально расположены отверстия регуляторов с криволинейными в плане отводящими железобетонными лотками. Моделирование показало, что внутренние криволинейные стенки, которые являются продолжением бычков, в условиях постепенного открытия отверстий регуляторов (начиная от центрального) лишь утяжеляют конструкцию. Они были заменены двумя S-образными в плане внешними направляющими стенками, и этого оказалось достаточно для получения одинакового удельного расхода на выходе из лотка.

Потолок донных галерей, расположенных под лотками, вынесен вперед по течению в виде сплошного железобетонного козырька длиной 1,5 м. Опыты показали, что поступление наносов в регуляторы при наличии козырька может быть снижено на 30% (рис. 20).

Научным советом САНИИРИ отмечено, что предложенная С. И. Зиновьевым схема уменьшает фронт сооружения почти в 1,5 раза, а объемы железобетонных работ — в 2—3 раза. Скорости подхода на порогах регуляторов уменьшаются в 1,5 раза. Специальная форма козырька и малые размеры располагаемых в центре донных галерей дают наилучшие результаты в борьбе с донными наносами, особенно в межень, снижая их попадание в каналы до 5% при водозаборе в 70%. Таким образом, хорошо разрешается задача двухстороннего водозабора.

Строительство Дамходжинской плотины в 1940 г. осуществлено не было. К этому времени вступила в эксплуатацию Кампырраватская плотина ферганского типа, показавшая преимущества в борьбе с донными наносами при сравнительно простой конструкции открытого водозабора.

Тогда же гидрологические данные по Карадарье уточнились; выяснилась целесообразность присоединения к узлу головы канала Нарпай, расположенной на 16 км ниже намечаемого сооружения; выявилась необходимость увеличения емкости Каттакурганского водохранилища до 0,9 км³ путем поднятия плотины с 29 до 32 м.

По вновь составленному через 10 лет проекту к 1955 г. построена плотина ферганского типа с расходами (м³/сек):

Катастрофический	540
Пропуск в нижний бьеф	350
В каналы левого берега:	
подводящий	75
Дам	8
Нарпай	56
В каналы правого берега:	
Ходжа — Хатырча	54

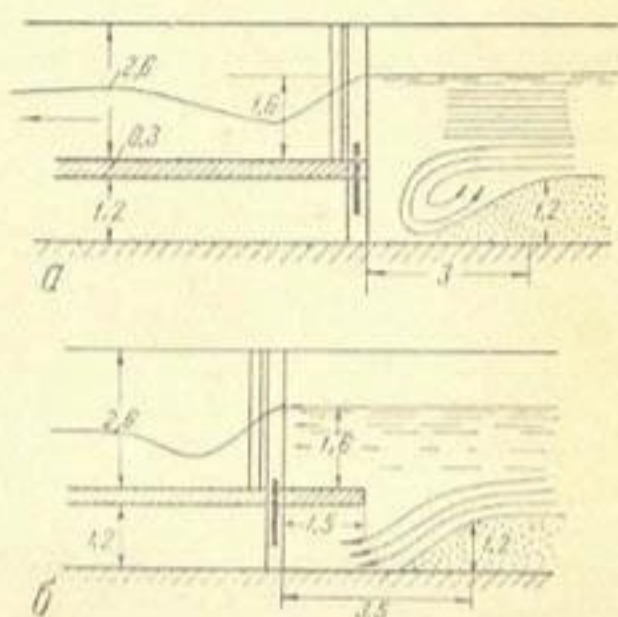


Рис. 20. Работа козырька системы С. И. Зиновьева перед фронтальными донными галереями:

а — без козырька; б — с козырьком (размеры в метрах).

Следовательно, общий водозабор увеличивается до $193 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Исследования нового проекта узла на модели не производились. Компонировка и конструкция узла указаны на рис. 21. Подводящее русло длиной 260 м, шириной по дну 50 м, с откосами 2:1 при лобовом подходе потока к его начальной части имеет устойчивую криволинейную форму, обеспечивающую поступление наносов в сбросные отверстия плотины.

Высота дамб достигает 4,5 м. Откосы их облицованы железобетонными плитами толщиной 0,2 м с арматурной сеткой диаметром 10 мм, с ячейками $30 \times 30 \text{ см}$. Облицовка запущена на 3 м ниже порога пролетов сброса, расположенного на отметке среднего дна реки.

Размывы верхнего бьефа в левую сторону ограничены высоким, крепким левым берегом и водоудержательной дамбой. Для защиты потока от свала вправо из местного галечникового грунта сооружена правая дамба длиной 3,5 км, защищенная семью шпорами, облицованными железобетонными плитами.

Щитовая плотина состоит из 7 пролетов по 7 м, перекрытых плоскими колесными затворами. Пропускная способность ее равна $350 \text{ м}^3/\text{сек}$ при напоре 3,6 м. Понур длиной 15,5 м имеет значительный уклон в сторону верхнего бьефа, что предохраняет его от истирания наносами.

Увеличенная плита водобоя с поперечным сечением $10,7 \times 3,7 \text{ м}$ имеет четыре потери для дюкера канала Ходжа-Хатырча на расход $54 \text{ м}^3/\text{сек}$. Плита по середине пролетов разрезана конструктивными швами.

Быки толщиной по 1,5 м расположены на ячеистых фундаментах водобоя. Они имеют передние пазы для верхнего ремонтного заграждения, нижние пазы для рабочих затворов. Поверху размещаются три служебных и один проезжий мост.

Для предохранения от истирания поверхность водобоя, а также стенки быков покрыты на высоту 1 м чугунной облицовкой. За плитой водобоя на длине 15 м проходит водоскатная плита толщиной 1,35 м, понижающаяся от отметки порога на 4,5 м. Флютбет вместо водобойного колодца и слива заканчивается водобойным полом уральского типа*.

Объединенные головные регуляторы пяти каналов находятся на левом вогнутом берегу реки. Состоят они из шести одинаковых отверстий по 3,5 м, перекрытых плоскими металлическими затворами с винтовыми подъемниками. Перед ними устроен общий Г-образный криволинейный порог, возвышающийся на 1,2 м над порогом отверстий сброса. Пространство между порогом и фронтом регуляторов образует подобие аванкамеры, горизонт воды в которой устанавливается по наибольшему потребному напору.

За входным регулятором канала Ходжа-Хатырча помещается небольшая аванкамера для вывода воды дюкером, находящимся в теле водобоя, на правый берег.

Для борьбы с шугой предназначен плавучий деревянный козырек, расположенный перед Г-образным порогом регуляторов, прикрепленный к металлическим трубчатым сваям, забитым в грунт дна.

* На плотине Белоцерковской ГЭС на р. Псел 1952 г. такой пол на свайном ростверке всплыл, а в 1957 г. был окончательно разрушен. То же произошло на Кзылординской плотине.

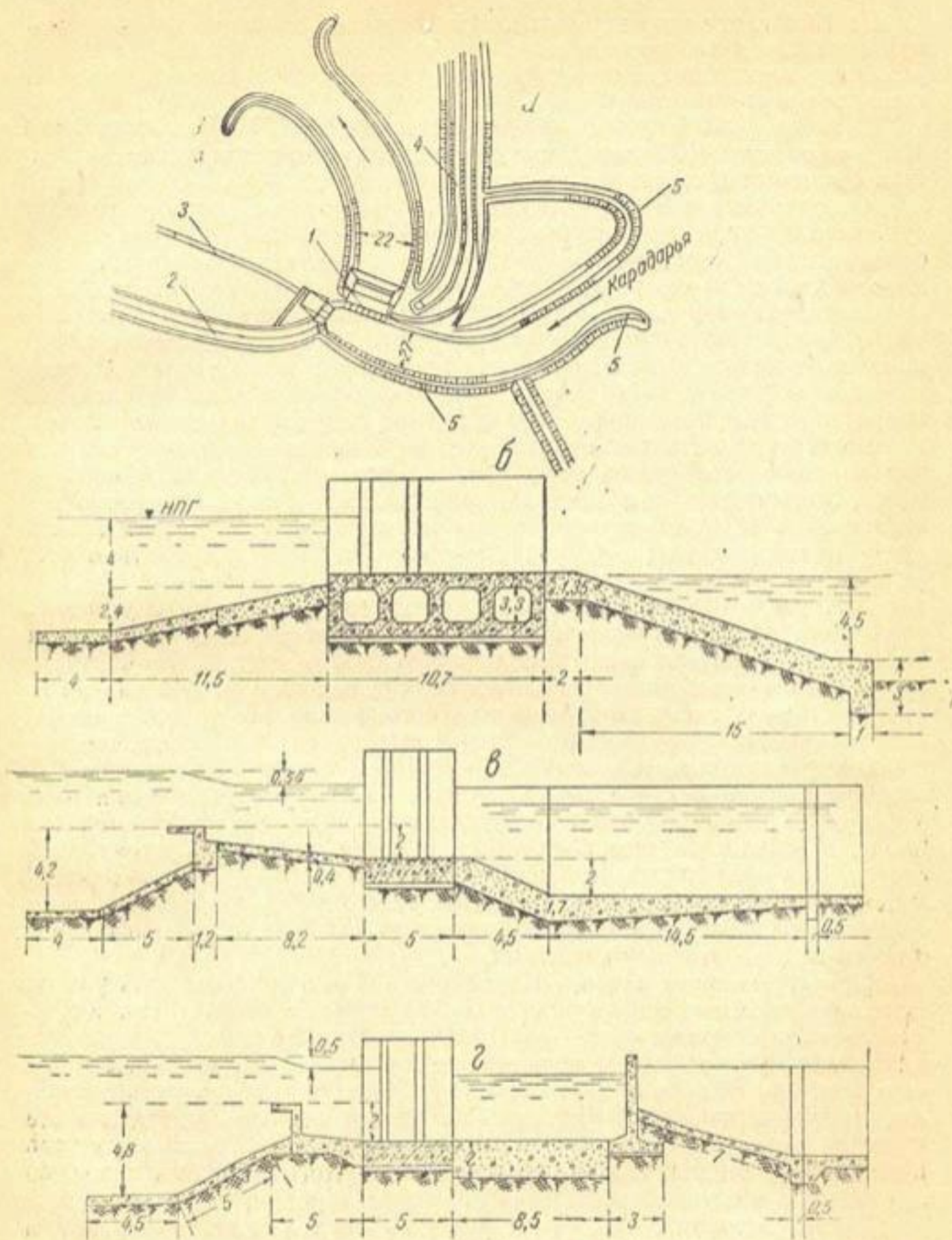


Рис. 21. Схема Дамходжинского гидроузла:

а — план; б — разрез по дюкеру и сбросу; в — разрез по регулятору подводящего канала; г — разрез по регулятору Ходжа-Хатырча; 1 — сброс плотин; 2 — подводящий канал дамбы Каттажурского водохранилища; 3 — канал Нарпай; 4 — канал Ходжа-Хатырча; 5 — струенаправляющие дамбы; 6 — местонахождение прорезных гасителей с тетрадрами и каменной наброской, заменяющих разрушенный пояс уральского типа (размеры в метрах).

Эксплуатация гидроузла в первые годы его работы

До 1958 г. все шло нормально. Избыточная энергия потока при пропуске паводков погашалась в основном в гидравлическом прыжке, устойчиво державшемся в пределах водоската; водобойный пол при этом выполнял роль рисбермы.

В паводок 1958 г. сбросной расход дошел до $425 \text{ м}^3/\text{сек}$, составляя 125% от расчетного. Заглубление дна достигло 3 м, гидравлический прыжок сдвинулся с водоската на водобойный пол.

Отводящее русло в пределах водобойного пола сделано по проекту сужающимся от пролетов сброса на 4 м. Падавшие на бетонные откосы боковые струи, соединяясь с поступательным движением потока, создавали мощное винтовое движение, еще более размывавшее дно.

Началось разрушение боковых частей водобойного пола, с понижением дна до отметки низа зуба водоската. Бетонные плиты откосов начали оползать. Создалась угроза большой аварии. В условиях спада паводка дальнейшее разрушение удалось приостановить интенсивной наброской крупного камня и металлических сеток, заполненных камнем.

Восстанавливать водобойный пол было нецелесообразно, так как при изменяющихся условиях нижнего бьефа гидравлический прыжок может отодвигаться далее или же приближаться к водоскату при отложении здесь в будущем наносов. Избыточную энергию потока гасили сразу за водоскатом (не допуская местного размыва) устройством прорезных гасителей.

Для увеличения срока службы участка за водоскатом в условиях усиленной транспортировки наносов все поверхности на глубину 20 см. пирсы и расщепители были выполнены из бетона на гранитном щебне. Кроме того, первый ряд пирсов облицован рельсами, а второй сделан из пучков сварных рельс. Для окончательного успокоения потока уложена наброска из рваного камня и бетонных тетраэдров*. Правый разрушенный откос восстановлен, а левый переделан с расширением русла на 4 м, чем прекращено боковое сжатие потока. Предусмотрена замена плит в случае их износа. Отводящее русло за сооружением криволинейно в плане, в результате чего образуются явления поперечной циркуляции потока. Для предупреждения размыва правого откоса дно русла закреплено наброской рваного камня толщиной 0,5 м. Фильтрация из канала Ходжа-Хатырча в сторону сброса предупреждается облицовкой дна и откосов железобетонными плитами.

При нормальном паводке Карадарьи $135 \text{ м}^3/\text{сек}$ суммарный расход всех каналов узла запроектирован в $193 \text{ м}^3/\text{сек}$, а без питания Каттакурганского водохранилища — в $118 \text{ м}^3/\text{сек}$. В настоящее время забираются неполные расходы и не всеми каналами, но в ближайшем будущем весь расход реки после паводка будет полностью попадать в каналы. Движение наносов в реке начинается при расходе $75 \text{ м}^3/\text{сек}$, а все фракции наносов движутся при $130 \text{ м}^3/\text{сек}$, поэтому создается угроза попадания их в каналы. Для предотвращения этого явления необходимо проработать и осуществить соответствующие мероприятия.

Такова история развития исследовательских и проектных работ, а также сооружения и эксплуатации Дамходжинского гидроузла.

* Гашение потока в нижнем бьефе при прямом его ударе в пирсы и расщепители требует наличия солидного железобетонного основания. В практике Мелиоративного бюро США пирсы и расщепители применяются редко. Предпочтение отдается увеличенному самоуспокаивающемуся водобойному колодцу с зубьями Ребока и с каменной наброской за ним, если она необходима.

**ПРОЕКТ АРЫСЬ-ТУРКЕСТАНСКОЙ ПЛОТИНЫ
НА р. АРЫСЬ (КазССР)**

В плотинах ферганского типа наблюдается значительное ослабление центробежных сил инерции потока в межень, уменьшающихся пропорционально квадрату скорости. Перед порогом регулятора происходит сначала отложение наносов, а затем они начинают как бы вползать на порог, даже если он приподнят. Это обстоятельство изучено и учтено работниками САНИИРИ в 1958 г. при моделировании компоновки водозабора Арысь-Туркестанского канала.

Река Арысь имеет снеговое питание с паводками в феврале-мае. Максимальный наблюдаемый расход равен $450 \text{ м}^3/\text{сек}$, наименьший — $4 \text{ м}^3/\text{сек}$. Расчетный расход 0,5%-ной обеспеченности принят в $542 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Река протекает в пойме шириной до 400 м со средним уклоном 0,0018. При расходе $150 \text{ м}^3/\text{сек}$ она выходит из русла и растекается по пойме. Передвижение гравийных наносов диаметром 10 см начинается с расхода $30 \text{ м}^3/\text{сек}$. Сток наносов за многоводный год определен в 109,7 тыс. т, в среднемноговодный — в 24,4 тыс. т.

Водозаборный узел по рекомендации САНИИРИ должен находиться в обводном русле реки на 3,5 км выше старого Караспанского барража для подачи $50 \text{ м}^3/\text{сек}$ воды в Арысь-Туркестанскую ирригационную систему, на ГЭС и транзитом в Бугуньское водохранилище.

По первому варианту проекта на модели плотина располагалась фронтально, имела прямолинейные подводящее и отводящее русла. Два правых ее отверстия отделялись от остальных отдельной стенкой, образуя промывной карман, к которому под углом 90° примыкали справа три отверстия регулятора. Во флютбете их заложены три промывные галереи, которые в обход устоя плотины выходили в нижний бьеф. Порог регулятора приподнят над дном промывного шлюза на 1,2 м.

В результате последующего моделирования рекомендован вариант криволинейного расположения плотины ферганского типа, обеспечивший безнаносный забор воды в период прохождения паводка и наибольшего движения донных наносов при коэффициенте водозабора до 0,75 (рис. 22).

С уменьшением расходов в межень поперечная циркуляция потока резко ослабевает, наносы уже не отклоняются к выпуклому левому берегу, а откладываются у вогнутого правого, образуя перед криволинейным порогом регулятора дно с обратным уклоном. Затем наносы вползают на порог регулятора и попадают в канал.

В процессе моделирования Я. И. Никитиным предложена конструкция порога-галереи, расположенной в начале регулятора, что повышает коэффициент безнаносного водозабора с 0,75 до 0,95. Это мероприятие еще более улучшает ферганский тип водозаборов.

Сначала на модели перед регулятором была сделана вертикальная стенка, через которую наносы перекачивались в траншею, отводящую их вдоль устоя в нижний бьеф через крайний пролет плотины. При этом в траншее создавалось винтовое движение по часовой стрелке, увеличивающее транспортирующую способность потока. Однако наблюдались случаи, когда траншея полностью забивалась наносами. Решено было перекрыть ее плитой с пропуском насыщенной наносами воды через пять отдельных отверстий боковой стенки галереи; сечение их $0,8 \times 0,8 \text{ м}$. После этого винтовое движение изменило свое направление и оказалось изолированным от общего движения потока, поступающего в регулятор. Количество требуемой для промывки воды уменьшилось еще более, а транспортирующая способность ее увеличилась.

При длине криволинейного порога 24 м галерея вместе с открытым торцовым входом $1,2 \times 0,8$ м имела длину 10 м. Остальные 14 м занимал Г-образный порог, являющийся как бы ее началом. Уклон дна галереи — 0,01.

В процессе моделирования второго варианта предложена следующая схема водозаборного узла, представляющая интерес с конструктивной точки зрения.

Подводящее русло ограничено криволинейными дамбами длиной по 45 м с радиусами кривизны правого вогнутого берега 300 и левого выпуклого 250 м. Перед плотиной радиус равен 60 м. Линии фронтов регу-

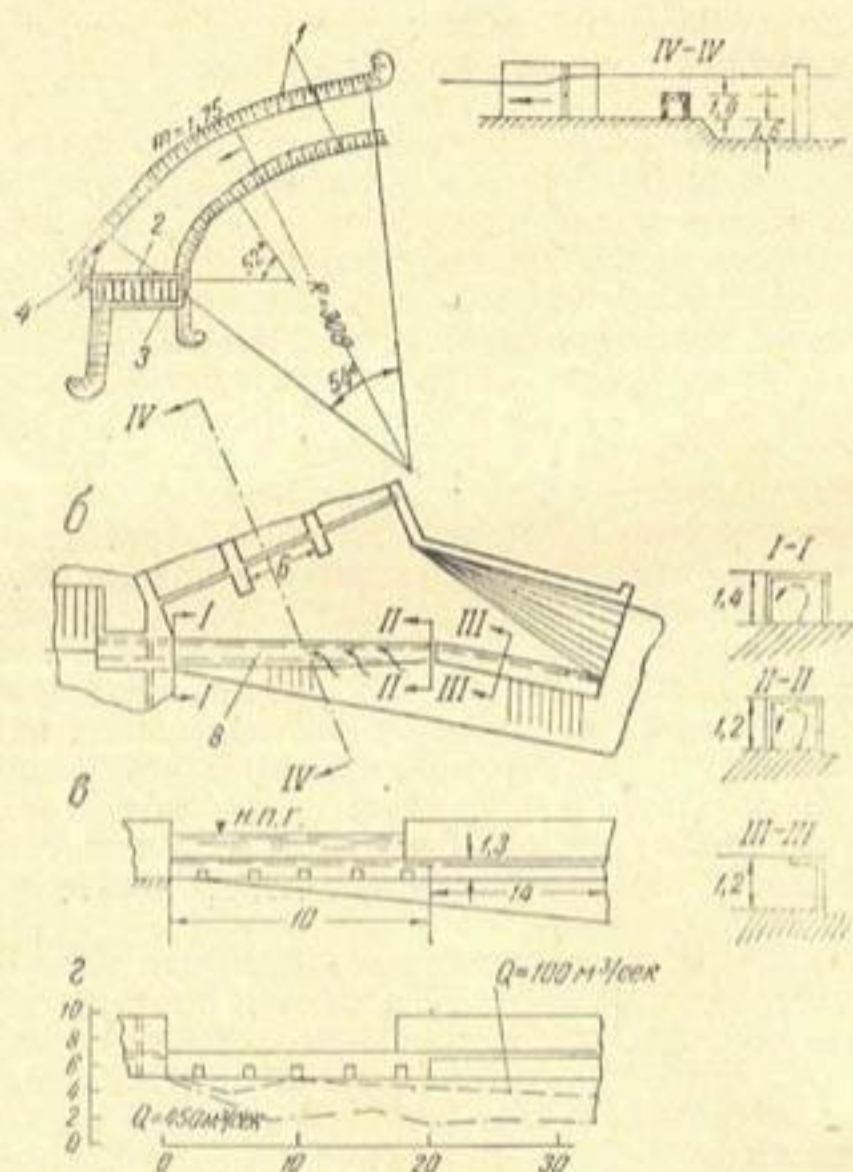


Рис. 22. Проект водозабора Арысь-Туркестанского канала:

а — план плотин; б — план регулятора; в — фасад регулятора; г — размыл дна; 1 — струенаправляющие дамбы; 2 — плотина; 3 — предохранительная плоскость за плотиной; 4 — головной регулятор; 5 — водоприемный порог (размеры в метрах).

лятора и плотины образуют угол 112° . Для уменьшения сбойных течений и предохранения левых отверстий плотины от наносов количество 6-метровых пролетов доведено с 12 до 9. Крепление вдоль правобережной верховой дамбы вследствие значительного заглубления дна производится на 1 м ниже максимальной отметки размыва или же снабжается гибким туюфом, опущенным на половину максимальной глубины дна при НПГ. Защита левобережной верховой дамбы делается до такой же глубины, но без туюфа.

Пороги трех правых отверстий плотины располагаются на 0,5 м ниже остальных, а порог регулятора поднят над порогом правого отверстия плотины на 1,5 м.

Понур перед плотиной для предохранения от подмыва, особенно у вогнутого берега, имеет обратный уклон, понижаясь на 2 м против отметки порога плотины, и, кроме того, снабжается заглубленным верховым зубом.

Низовый зуб флютбета заглубляется до половины величины максимального размыва, т. е. до 3 м. В конце водобоя на железобетонных консолях сооружается плоскость по типу уральского пола длиной 3,2 м.

Левобережная дамба нижнего бьефа длиной 25 м отводится от плотины под прямым углом. Подверженная подмыву правобережная дамба нижнего бьефа длиной 80 м отходит от нормали к плотине под углом 10° с заглублением против ее порога на 1,5 м и снабжается гибким туюфом.

Сравнение моделей прямолинейного и криволинейного вариантов этого одностороннего водозабора показало явное преимущество водозабора ферганского типа, улучшенного порогом-галереей.

ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ КУГАРТСКОЙ ПЛОТИНЫ (КиргССР)

Широкая дискуссия была в свое время поднята работниками научных и проектных институтов о преимуществах и необходимости дальнейшего совершенствования конструкций плотин и водозаборов ферганского типа.

Принципиальная схема, разработанная лабораторией головных водозаборов ИВПиГ АН УзССР в результате двадцатилетнего опыта сооружения таких водозаборов, предусматривает [46]:

- 1) зарегулированность подводящего русла с созданием кривизны, обеспечивающей развитие поперечной циркуляции потока;
- 2) наличие щитовой плотины для сброса в реку донных наносов;
- 3) расположение порога регулятора на вогнутом берегу, свободном от донных наносов, с подачей воды на выпуклый берег при двустороннем водозаборе дюкером, проходящим во флютбете плотины;
- 4) устройство катастрофического водослива щелевого типа на выпуклом берегу, что позволяет уменьшить ширину щитовой части плотины и достичь условий максимального сжатия потока с промывкой наносов при малых расходах реки.

В 1955 г. для реконструкции разрушенного Кугартского водного узла сотрудниками гидротехнической лаборатории САНИИРИ разработан весьма интересный вариант чистоферганского типа водозабора (рис. 23).

Подводящее русло с закрепленными берегами (на модели — бетонированные откосы) имеет в плане двойную кривизну. Большое значение придается катастрофическому сбросу-водосливу, размещаемому на выпуклом берегу в конце подводящего русла. Отметки гребня водослива и переменная ширина подводящего канала подобраны так, что среднемесячный расход воды во время влечения наносов в количестве $41 \text{ м}^3/\text{сек}$ проходит без переливов через водослив.

Вход в прокладываемый заново отдельно от плотины дюкер для правобережного канала сделан с оригинальным лобовым водоприемом. Заложен он на 1,1 м выше порога плотины. Боковой вход в регулятор левобережного канала имеет вынесенный вперед на длине 8 м порог, приподнятый на 1,45 м выше порога плотины.

На модели поток вступал в подводящее русло с навалом на правый берег, при этом создавался подпор с обратным уклоном. На переходном

среднем участке сохранялась циркуляция, предшествующая входной кривой. У правого берега глубина при форсированном расходе достигала 3,5 м. Поперечный уклон водной поверхности примерно равнялся продольному.

Средние скорости на порогах водоприемников в зависимости от расходов колебались от 0,5 до 1,2 м³/сек, а по сравнению со скоростями подхода и сброса на щитовой плотине были меньше в два и более (до десяти) раза, благодаря чему наносы почти не попадали в канал.

По ряду причин этот вариант не был осуществлен, в 1957—1958 гг. службой эксплуатации проведены работы по реконструкции плотины без учета рекомендаций лаборатории САНИИРИ.

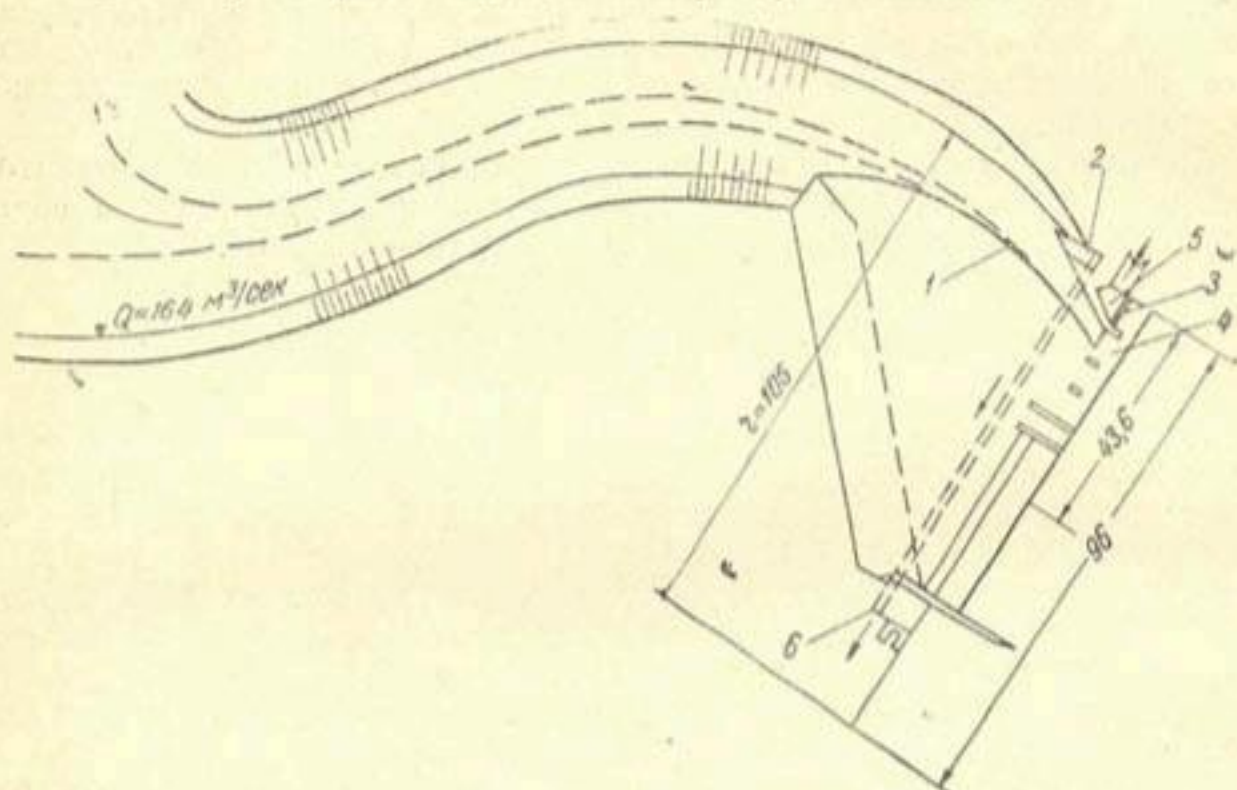


Рис. 23. Неосуществленный вариант водозабора ферганского типа, разработанный для реконструкции плотины на Кугартсае:

1—водослив; 2—вход в люкер; 3—наглухо перекрываемый пролет; 4—сохраняемый пролет; 5—порог левобережного канала; 6—правобережный канал (размеры в метрах).

ПРОЕКТ ТАХИАТАШСКОЙ ПЛОТИНЫ НА АМУДАРЬЕ

Характеристика Амударьи у мыса Тахиаташ

Проектируемая у Тахиаташа плотина не относится к чистоферганскому типу. История и сущность проделанной работы по выбору схемы водозабора и моделированию весьма интересны и описываются ниже в сравнении с зарубежным опытом.

Амударья является самой большой рекой Средней Азии. Средний многолетний сток ее у Тахиаташа равен 48 км³, а максимальный — 62 км³. В бассейне Амударьи имеется около 10 млн. га пригодных для орошения земель, поливается же только 1,5 млн. га. В текущем двадцатилетии предполагается дополнительно оросить большое количество новых земель. Намечается строительство нескольких водозаборных узлов, в том числе Тахиаташской плотины в нижнем течении реки.

У неразмываемого левобережного мыса Тахиаташ расположена голова канала им. Ленина; на правом его берегу — головная часть Кызкеткена; на 14 км выше на левом берегу находится голова канала Советяб. Каналы забирают из Амударьи воду в количестве примерно 325 м³/сек.

Вопрос о постройке здесь плотины с увеличением забираемых расходов воды в 2—3 раза изучается более 10 лет. В настоящее время это строительство признано первоочередным. Гидроузел намечается расположить на устойчивом участке реки в 15 км выше г. Нукуса.

Особенностью низовьев Амударьи является малая устойчивость русла, блуждание реки в плане, недостаток воды весной и высокое содержание наносов в паводок, что вызывает необходимость постоянных очисток каналов. Средняя мутность в створе Чатлы $2,6 \text{ кг/м}^3$, в отдельные периоды она доходит до 15 кг/м^3 , являясь самой большой на реках Средней Азии. Годовой сток взвешенных наносов — 128 млн. т. Донные наносы составляют 8—10% от взвешенных, средний диаметр их у головы канала им. Ленина — 0,13 мм.

Глубина размыва русла достигает в существующих условиях на прямолинейных участках реки 8 м, на криволинейных — 15 м. Перед мысом Тахияташ она значительно больше.

В теснине Тахияташ залегают мелкие пески и ракушечники, цементированные иногда известковым цементом в песчаники толщиной до 15 см. Выше и ниже по течению реки они сменяются на мелкозернистые глинистые пески и глины. Уклон реки колеблется от 0,00015 до 0,00007.

<i>Расходы реки</i>	<i>м³/сек</i>
Среднегодовое	1524
Среднегодовое паводковое	3360
Максимальное наблюдаемое	6930
Катастрофическое (0,01 %-ной обеспеченности)	10050

Нормальные расходы каналов будущего гидроузла с учетом переноса к нему вышерасположенного канала Советяб в $\text{м}^3/\text{сек}$ следующие:

	<i>Существующий без плотины</i>	<i>Проектный с плотинкой</i>	<i>Перспектива после 1970 г.</i>
Кызкеткен	180	412	600
Им. Ленина	90	200	1100
Советяб	55	255	
Всего	325	867	1700

В 7 км выше мыса Тахияташ основное течение Амударьи проходит вдоль правого берега. В пределах подводящего русла она прижимается к левому берегу, образуя у правого отмель. Поэтому правобережный регулятор оказывается в более тяжелых условиях по борьбе с донными наносами.

Предварительными изучениями сотрудники САНИИРИ выяснили, что основным фактором, влияющим на деление наносов между элементами гидроузла, является подход потока, зависящий от характера течения реки. Модельные исследования пяти вариантов плотины проведены в САНИИРИ еще в 1951—1952 гг. в связи с предполагавшимся сооружением на левом берегу Амударьи головы Главного Туркменского канала.

Однако бесполезно напомнить о выводах и рекомендациях САНИИРИ по вопросу трехступенной борьбы с донными наносами:

- 1) борьба с крупными фракциями наносов в реке;

- 2) устройство отстойников-песколовок в головах магистральных каналов с использованием для промывок напора на плотине;
- 3) дополнительные щелевые песколовки на сети каналов, где это необходимо;
- 4) в связи с важностью и сложностью задачи не следует ограничиваться одной ступенью борьбы;
- 5) при малых сбросных расходах надо предусматривать возможность аккумуляирования наносов в подводящем русле реки с промывкой их в паводки.

Схемы водозабора

Проектными и исследовательскими институтами предложены многочисленные схемы водозаборов; четыре из них описаны ниже и показаны на рис. 24.

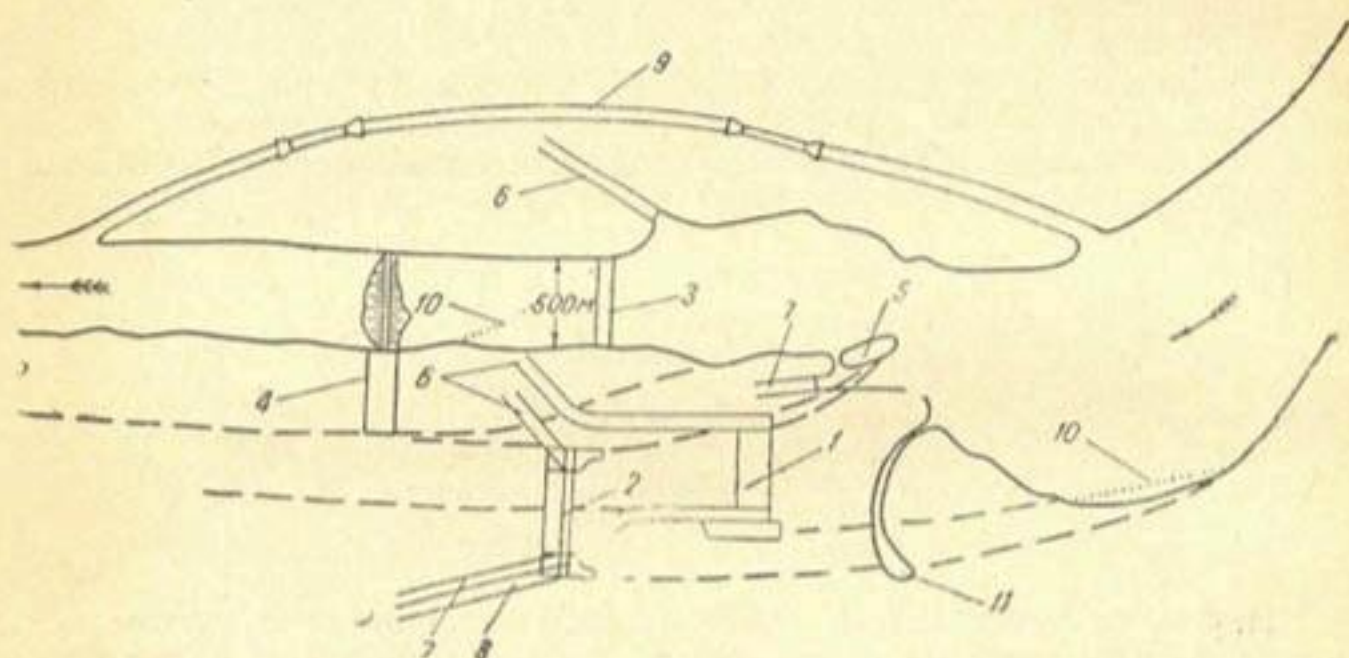


Рис. 24. Схемы водозаборов у мыса Тахияташ на Амударье.

1—одностороннего берегового водозабора; 2—двухстороннего центрального водозабора; 3—двухстороннего последовательного водозабора на сваях; 4—берегового последовательного водозабора; 5—мыс Тахияташ; 6—канал Кызкеткен; 7—канал им. Ленина; 8—канал Советов; 9—судоходный шлюз; 10—свайный направляющий дамб; 11—запань.

В первоначальной схеме 1 предусмотрен односторонний водозабор с левой стороны русла с подачей воды в канал Кызкеткен дюкером через плотину. Схема рекомендована в 1952 г. проектными работниками бывшей лаборатории регулирования русел рек Института сооружений АН УзССР и принята в 1953 г. для разработки проектного задания Ташкентским филиалом Гидропроекта как наилучшая в борьбе с донными наносами: при одностороннем водозаборе насыщенность в каналах меньшая, чем в реке; плотина может сооружаться насухо на левом берегу Амударьи. Однако в связи с необходимостью постройки в теле плотины огромного дюкера этот вариант был отвергнут. В середине 1963 г. по предложению В. В. Пославского в Средазгипроводхлопке схема была детально проработана и решено на каналах за плотинной соорудить промывные отстойники. Но и этот вариант принят не был.

Схема 2 приплотинного фронтального двухстороннего водозабора, предложенная САНИИРИ, аналогична водозабору построенного Кызылординского гидроузла на Сырдарье. Создание устойчивого подхода к плотине в условиях Амударьи при прямолинейном очертании русла с большими колебаниями расходов реки затруднительно, поэтому проект по этой схеме не разрабатывался.

В 1960—1962 гг. Средазгипроводхлопком рекомендованы схемы 3 и 4 последовательного по реке двухстороннего водозабора с использованием и реконструкцией обоих существующих головных регуляторов. Идея этих схем заключается в сохранении действующего и сравнительно удовлетворительного водозабора и сооружении (немного ниже по

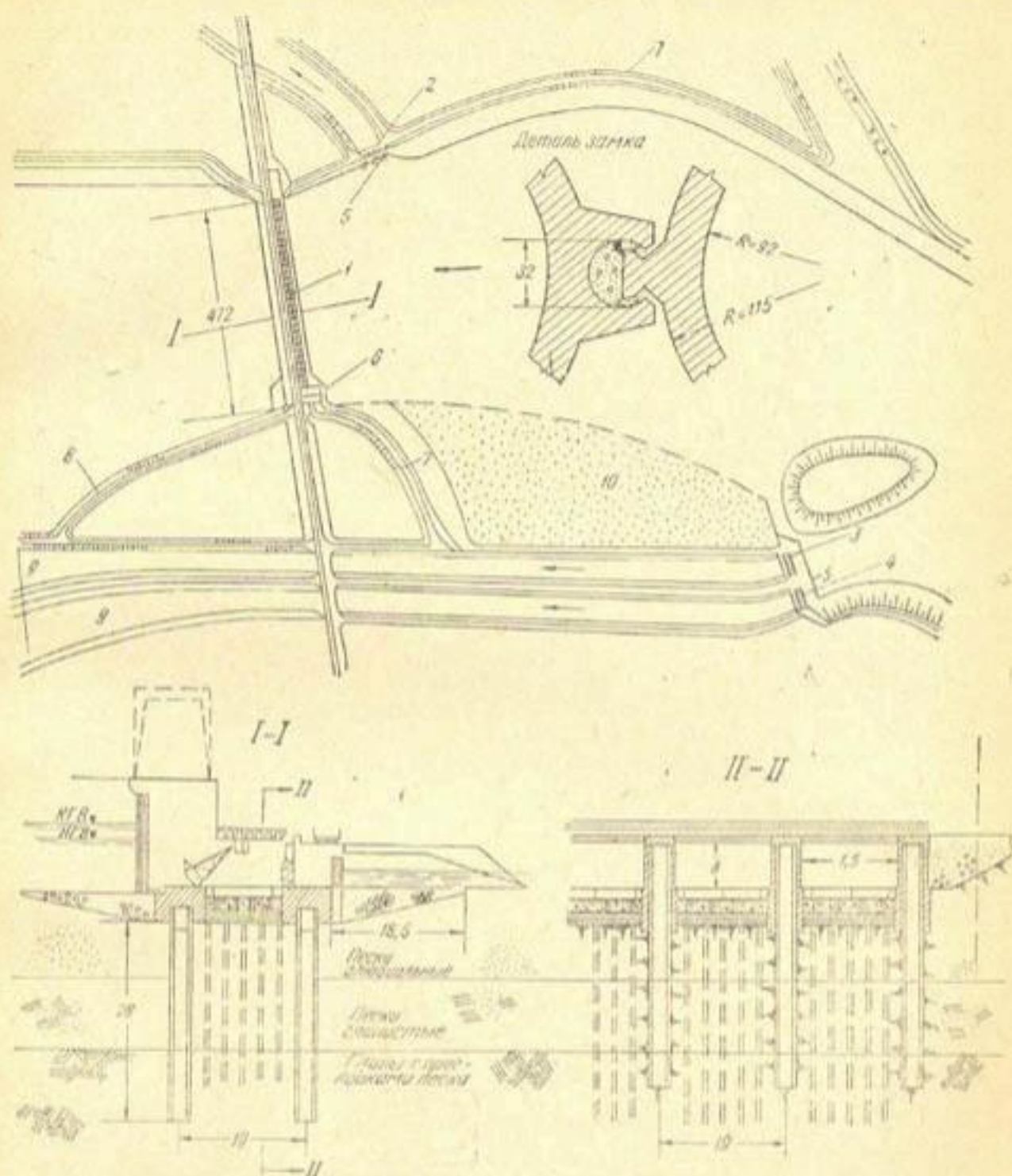


Рис. 25. Детали третьей схемы руслового свайного двухстороннего последовательного водозабора Тахиаташского гидроузла:

1—шлюзовая плотина; 2—регулятор канала Кызкеткен; 3—регулятор канала им. Ленина; 4—регулятор канала Советяб; 5—электрорыбозаградитель; 6—рыбопропускные пролеты; 7—струенанправляющие ламбы верхнего бьефа; 8—то же нижнего бьефа; 9—отстойники; 10—кальмируемая зона (размеры в метрах).

течению) плотины, создающей небольшой подпор для увеличения пропускной способности каналов. При этом во время паводка возможно открыть затворы и тем самым предотвратить дополнительный подъем воды. Согласно схемам, водозабор канала Советяб должен быть перенесен к головной части канала им. Ленина.

В русловой схеме 3 предусматривается постройка в русле реки на

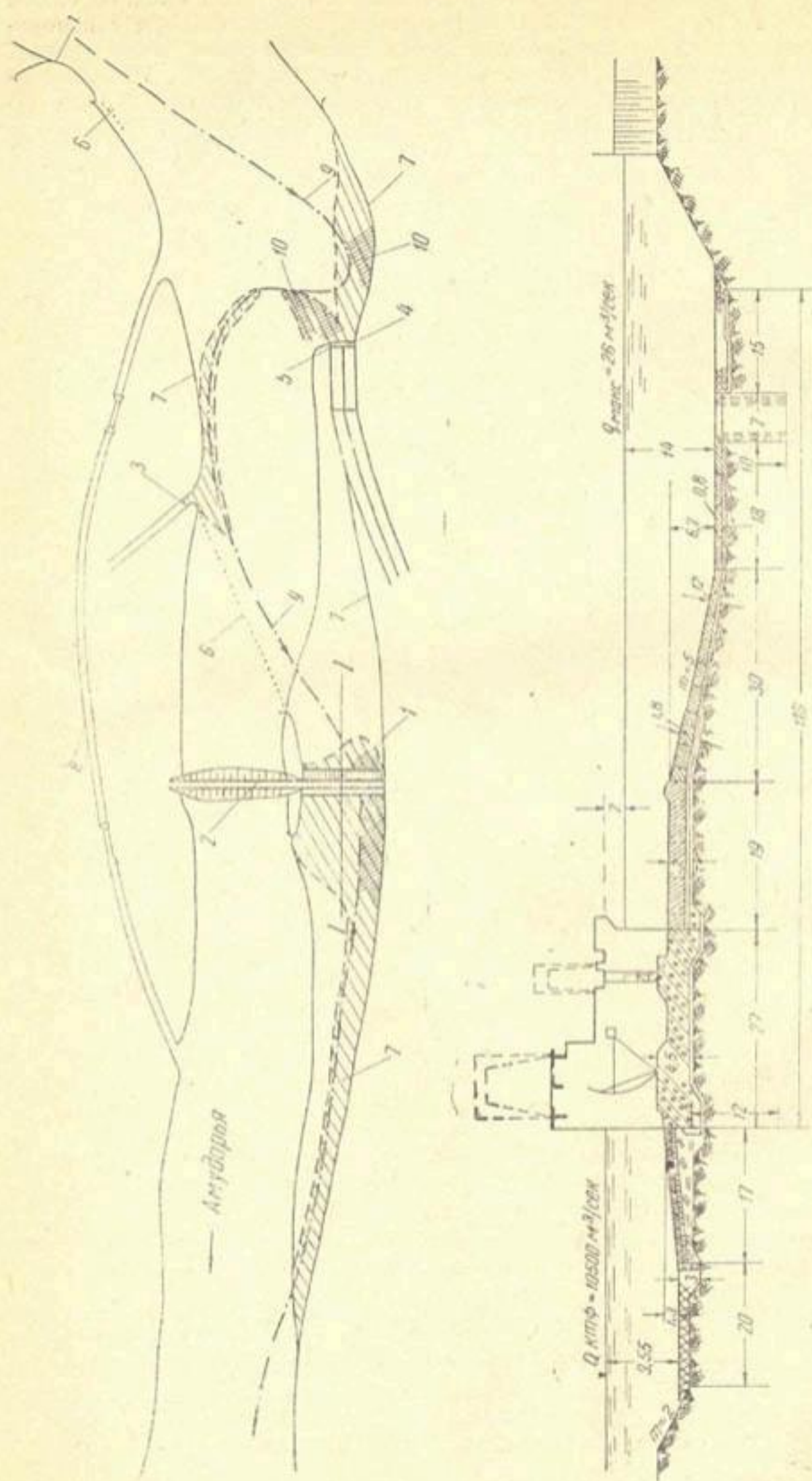


Рис. 26. Детали четвертой береговой схемы распластанного двухстороннего водозабора Тахиташского гидроузла:
 1 — шитовая плотина; 2 — земляная плотина; 3 — регулятор канала Кызжыккен; 4 — Советаб; 5 — им. Ленина; 6 — шлюз; 7 — гидротехническое сооружение; 8 — направляющие дамбы; 9 — стружечный шлюз; 10 — фокусы размыла (размеры в метрах).

1,5 км ниже мыса Тахиаташ плотины на сваях-оболочках (рис. 25) стоимостью по предварительным подсчетам 1962 г. порядка 50 млн. руб. В данном случае почти отсутствует необходимость отвода реки, ограждения котлованов перемычками, уменьшается водоотлив и остается после возведения плотины старое устойчивое (наблюдения последних 100 лет) русло Амударьи. Трудности выполнения схемы 3 заключаются в необходимости сооружения глубоких и абсолютно непроницаемых для песка шпунтовых рядов из свай-оболочек глубиной около 33 м.

По береговой схеме 4 последовательного водозабора возможно строительство насухо на левом берегу реки плотины с распластанным флютбетом стоимостью порядка 80 млн. руб. При производстве работ необходимо оградить котлованы перемычками, произвести водоотлив (до 30% стоимости работ) и отвести реку после сооружения плотины, что потребует больших берегоукрепительных работ при неопределенности режима потока в будущем.

Однако некоторые специалисты считают, что после создания подпора с постоянным горизонтом воды у узла принцип последовательного водозабора при переменном расходе может не сохраниться, а в зоне выклинивания кривой подпора возможны блуждания потока и явления дейгиша в паводок, что необходимо, очевидно, учитывать.

В 1962 г. Н. Н. Суровой в лаборатории водозаборов ИВПиГ АН УзССР для схемы 4 рассмотрены случаи наклонной и горизонтальной рисберм и установлено:

1) наклонная рисберма 5:1 с одним рядом гасителей в конце горизонтальной части и водобойного колодца за щитами должна иметь длину 183 м с заглублением от бытового дна на 36 м (рис. 26).

2) более выгодна горизонтальная рисберма без наклонной части с одним рядом гасителей, размещенных на расстоянии 36 м от линии щитов, и с низовым за этим рядом зубом глубиной 30 м. Для горизонтальной рисбермы исследованы три типа гасителей: «шашечные», «трамплинные» и «гребенка», указанные на рис. 27.

Лучшие результаты получены при установке двух рядов плоских, толщиной 40 см гасителей «гребенка», наклоненных под углом 45° , расположенных на расстоянии 30 м от линии щитов. При этом ликвидируется сбойность течения, наблюдающаяся при «шашках» и «трамплинах». Глубина зуба может быть доведена до 13 м вместо 30 м. Эффективность гасителей такого типа выявлена и при испытаниях модели Кызылординской плотины.

После моделирования по схемам 1, 3 и 4 Средазгипроводхлопком и САНИИВПиГ лучшей признана схема руслового свайного варианта. На рис. 28 показана модель берегового варианта двухстороннего по-

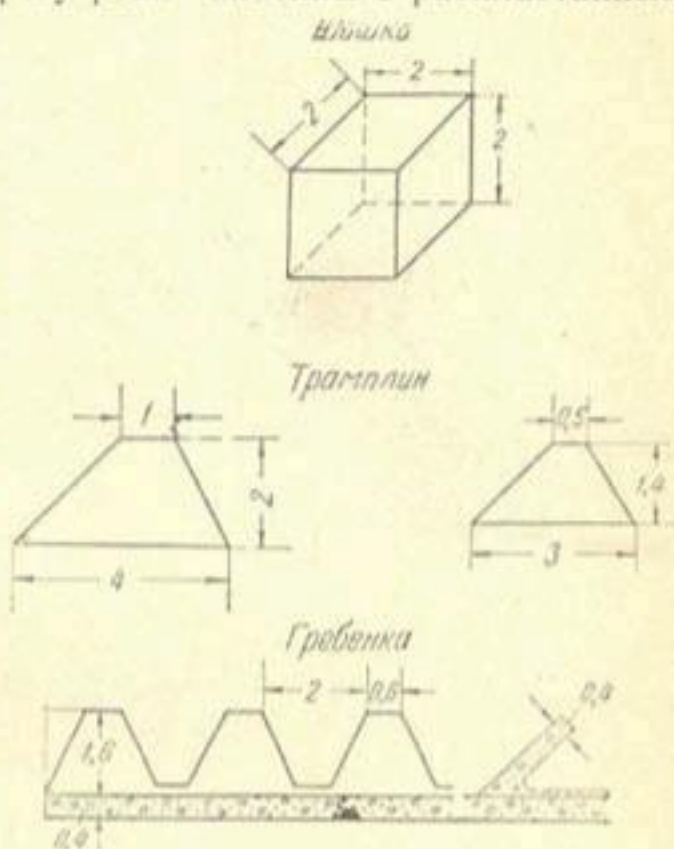


Рис. 27. Типы гасителей четвертой береговой схемы Тахиаташского гидроузла распластанным профилем (размеры в метрах).

следовательного водозабора после пропуска максимального расхода, где видны большие фокусы размыва вдоль верховой левобережной дамбы и перед мысом Тахиаташ. Общий вид головного регулятора Кызкеткен отражен на рис. 29.

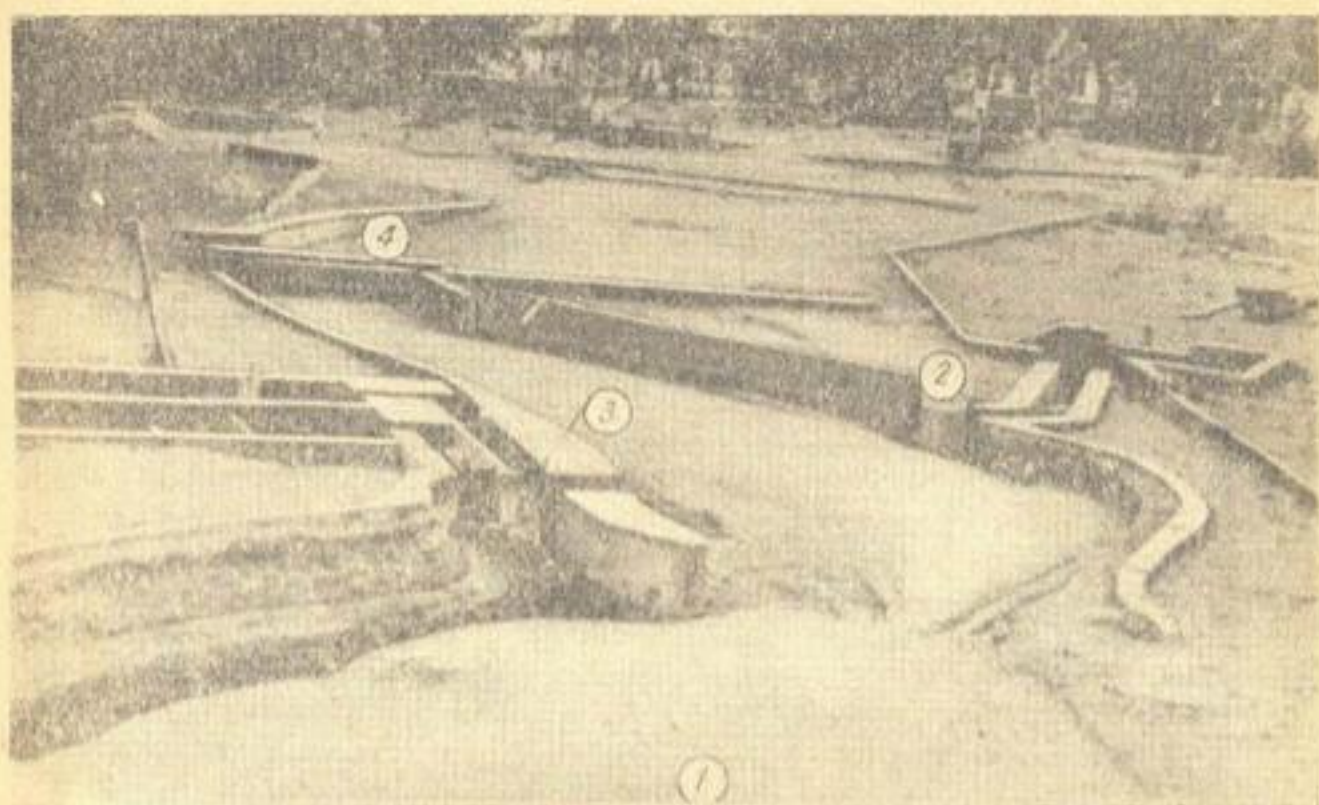


Рис. 28. Модель четвертой береговой схемы двухстороннего последовательного водозабора плотины Тахиаташ после пропуска максимального расхода:

1—подводящее русло; 2—регулятор Кызкеткен; 3—регулятор им. Ленина и Советиб; 4—земляная плотина.



Рис. 29. Головной регулятор Кызкеткен на Амударье у Тахиаташа.

Водозабор в низовьях р. Колорадо (США)

Условия ирригации в низовьях Амударьи и р. Колорадо имеют много общего. Колорадо стекает с отрогов Скалистых гор, расположенных в центральных районах США, и впадает в Калифорнийский залив,

прорезая огромную дельту рукавами, теряющимися в разливах. В бассейне реки отсутствуют ледники, питается она снегами, а также осадками в виде дождей. В паводок нижняя часть русла превращается в опасный бурный поток; поверхность покрытой водой дельты на отдельных участках может повыситься на 3 м, а при спаде воды прорезаться на глубину до 10 м. Ежегодно в залив выносится в среднем 170 млн. м³ песка и ила (с колебаниями по годам от 110 до 450 млн. м³) и до 35 млн. м³ донных наносов.

Уклон в нижнем течении реки изменяется от 0,00018 до 0,00025. Наибольший расход, 7000 м³/сек, у г. Юма наблюдался в 1916 г., минимальный соответствовал 80 м³/сек. Среднегодовой максимальный сток равен 1030 м³/сек, нормальный — 635 м³/сек.

Самая большая мутность Коларадо доходит до 39 кг/м³, а среднегодовая — до 8,6 кг/м³, тогда как в Амударье у Тахиаташа 15 и 2,6 кг/м³ соответственно.

Взвешенные наносы по фракциям и весу распределяются так:

Фракция, мм	р. Колорадо у Лагуны, %	Амударья у Тахиаташа, %
2—0,25	1	7
0,25—0,10	6	27
0,10—0,05	57	27
0,05—0,01	21	26
Меньше 0,01	15	13

Донные наносы составляют 20% от взвешенных. Все наносы, имея в своем составе фосфор и поташ, служат хорошим удобрением для почвы.

Первые работы по созданию ирригационной системы Империзл были предприняты в 1900 г. На правом берегу около границы с Мексикой построено деревянное водозаборное сооружение и канал длиной 21 км. Из-за отложения наносов в голове канала питание его обеспечено не было.

В 1904 г. на канале, в точке приближения его на 700 м к реке, был сделан подпитывающий прокоп. Через год произошел большой прорыв дамб и вода пошла в сторону Соленого моря и ирригационной системы, расположенных в котловине. Прокоп закрыли, а на 1,8 км выше по течению на хорошем скальном основании создали второе, Ганлонское бетонное головное сооружение, вдвинутое в глубь берега на 380 м.

В подводящем канале в процессе эксплуатации постоянно работал землесос, однако большого эффекта в борьбе с наносами это не давало.

В 1918 г. на 1,9 км выше на слабосцементированном песке на берегу реки параллельно ее течению, т. е. при боковом водозаборе, построен третий, уже железобетонный регулятор Роквуд с 75 пролетами по 1,98 м в свету, регулируемый шандорами с передвижным краном. Ниже регулятора Роквуд поперек реки в межень с помощью кабель-крана ежегодно возводилась временная плотина из хворостяных тюфяков, взрывавшаяся перед паводком.

После постройки водозабора Роквуд в начальной части канала последовательно пустили в работу три землесоса. Когда все удобные вблизи канала места для отвалов были использованы, грунт рефулировался в реку в объеме до 6 млн. м³ ежегодно. Излишнее удаление наносов вызвало размыв магистрали за отстойником, перемещение наносов вниз по каналу и в систему, поэтому в последующем оставляли работать только два землесоса, очищающие около 1,2 млн. м³ наносов каждый год.

Ежегодная эксплуатация каналов обходилась в 800 тыс. долларов, а очистка мелкой сети—в 900 тыс. долларов, или 5 долларов за 1 га. Кроме того, через каждые 3 года фермерам приходилось понижать поверхность земли, удаляя ее со своих участков. При существовавшей пропускной способности головных сооружений и магистрального канала расширение площадей орошения в долине Империзл было невозможно. В связи с этим был поднят вопрос о необходимости сооружения одновременно новой плотины и Всеамериканского канала, названного так потому, что он должен был проходить вдоль границы с Мексикой по территории США.

Несколько выше головных сооружений системы Империзл Мелиоративным бюро США в 1909 г. построена на р. Колорадо плотина Лагуна для орошения 30 тыс. га земель ирригационной системы Юма в Аризоне и Калифорнии. Эта плотина может служить примером успешного строительства крупного гидротехнического сооружения в низовьях реки на мелком песке (рис. 30).

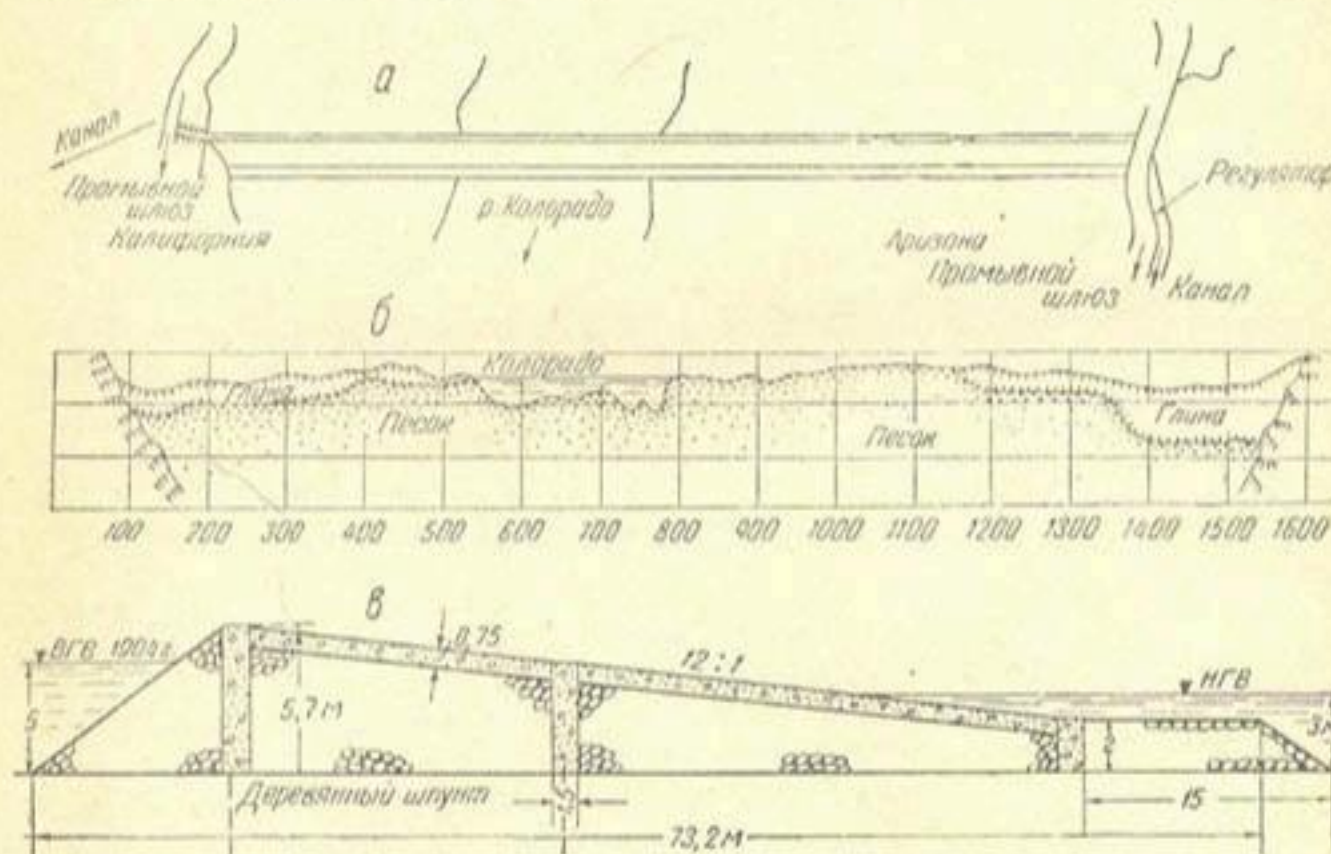


Рис. 30. Плотина Лагуна на р. Колорадо в США:
а—план; б, в—разрезы (размеры в метрах).

Основные параметры плотины Лагуны и будущего гидроузла Тахиташ весьма схожи:

	Лагуна	Тахиташ
Максимальный наблюдаемый расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	7000	6930
Среднегодовая мутность потока, $\text{кг}/\text{м}^3$	8,6	2,6
Длина плотины, м	1434	500
Удельный расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	48	130
Уклон реки	0,00017	0,00015
Подпор реки плотиной, м	3	2
Двухсторонний водозабор, $\text{м}^3/\text{сек}$	55	867

Перед составлением проекта плотины Лагуны тщательно был изучен опыт сооружения в подобных условиях индийских и египетских

плотин. За основу взяты идентичные конструкции плотин Окла на р. Джамна, Каирской на р. Нил, успешно запроектированные английскими инженерами с учетом развития необходимых путей фильтрации.

Глухая водосливная плотина распластанного индийского профиля расположена на мелком песке, а промывные шлюзы обоих берегов с боковыми регуляторами — на легко размываемой скале, покрытой бетоном.

Тело плотины прорезано тремя поперечными бетонными стенками, промежутки между которыми заполнены каменной наброской. Наклонный откос заложением 12:1 покрыт бетоном толщиной 0,45 м. В конце его имеется банкет из каменной наброски длиной 15 м. Под верховой и средней бетонными стенками забиты сплошные деревянные шпунтовые ряды на глубину от 3,5 до 10 м.

Водозабор в каналы производится при скорости в шлюзах 0,3 м/сек. С помощью шандорных порогов-регуляторов происходит перелив воды слоем не более 0,45 м. Шлюзы оборудованы затворами Стоinea 10 × 5,4 м.

В начале строительства на обоих берегах были организованы каменные карьеры, из которых горная масса для верховой и низовой перемычек и камень для плотины развозились по узкоколейке; осушены котлованы берегов до укладки камня и бетона; начата одновременно выемка обоих котлованов.

Проран шириной 187 м, находящийся в средней части русла реки, перекрыт деревянной эстакадой с железнодорожным путем. В следующую межень, как только были сделаны оба промывных шлюза и пропущена через них вода, проран закрыли. Стоимость всего сооружения составила в 1909 г. 2,1 млн. долларов.

Плотина работала нормально 10 лет. В 1920 г. ниже ее на большой излучине при паводке 5130 м³/сек река спрямила русло на 7 км, после чего началось восстановление прежнего уклона дна. За три года уровень воды у рисбермы снизился более чем на 2 м, образовался перепад с вымывом большого количества камня низового банкета. За нижней поперечной бетонной стенкой появились ямы ниже подошвы ее основания, глубина которых за промывными шлюзами в скале дошла до 3 м. Подмыты были береговые устои.

Восстановительные работы выполнены за 1924—1928 гг. Ямы заполнены отборным камнем (объем каждого около 1 м³), каменная наброска низового банкета увеличена с 15 до 30 м, забетонированы подмытые части устоев, уложена бетонная плита в начальной части банкета.

Значительных осадок бетонного покрытия наклонной части плотины не наблюдалось. Это свидетельствовало об отсутствии фильтрации под сооружением. После ремонта размывы за плотиной прекратились.

В этой испытанной временем простой конструкции плотины характерны распластанность профиля, усиленного поперечными стенками, большая ширина водослива, перекрывающего пойму, что снижает удельные расходы воды, минимальное заглубление устоев, быков и поперечных стенок, облегчающее производство работ.

Опыт строительства, эксплуатации и ремонта плотины Лагуна остается полезным до настоящего времени.

В 1932—1937 гг. на 400 км выше плотины Лагуна сооружена плотина Боулдер высотой 192 м, объемом водохранилища 38 км³, которая должна была задерживать ежегодно 194 млн. м³ наносов р. Колорадо.

С созданием плотины Боулдер и пропуска через нее осветленной воды река должна была постепенно уменьшать свой уклон. Специальными исследованиями выявлено, что процесс стабилизации русла может продолжаться десятилетиями, следовательно, возникнет необхо-

димость удаления из строящегося Всеамериканского канала огромного количества наносов. В связи с этим было решено устроить в головной части его осадочные бассейны.

В период 1935—1938 гг. Мелиоративным бюро США построены Всеамериканский канал с расходом $455 \text{ м}^3/\text{сек}$ и плотина Империзл с очистными сооружениями на р. Колорадо в 6 км выше плотины Лагуна. Расположение и конструкции этих сооружений изображены на рис. 31.

Плотина Империзл поднимает уровень воды реки примерно на 8 м. На западном берегу в Калифорнии расположен головной регулятор Всеамериканского канала, а на восточном предусмотрен водозабор $180 \text{ м}^3/\text{сек}$ для канала долины р. Хила в Аризоне.

Водосливная часть плотины рассчитана на пропуск $4500 \text{ м}^3/\text{сек}$; сбросная часть — щитовая, она может пропустить до $750 \text{ м}^3/\text{сек}$ воды для промывки и транспортировки наносов из отстойников Всеамериканского канала. Русло реки состоит из мелкого песка, залегающего на большой глубине. Система шпунтовых рядов подземного контура, заглубленных до 13 м, предохраняет от непредвиденных осадков части сооружения, имеющие затворы, а также не допускает фильтрации и размывов (три ряда находятся перед плотиной и один ряд — за ней).

Пустотелая водосливная часть длиной 420 м через каждые 7 м имеет диафрагмы, жестко соединенные с донной и наклонными плитами, через каждые 27,6 м разрезана швами, перекрытыми гибкими резиновыми листами специальной формы.

Плотина пригружена изнутри гравийным балластом. Под ней уложен обратный фильтр, принимающий напорную воду из обоих бьефов, затем выводящий ее в пустотелую часть, а оттуда эжекторами — за низовой носок водослива. Эти устройства значительно снижают выпор под плотиной, и вес сооружения становится меньше.

Быки и устои головного регулятора и сброса расположены на 3280 железобетонных несущих сваях длиной от 12 до 15 м, снабженных арматурой, а также трубками в 2,5 дюйма для пропуска воздуха и воды при забивке. Котлованы перед началом свайных работ осушивали иглофильтрами в количестве 2400 штук, проходящими иногда в три ряда и присоединенными к 24 насосам.

Забивка 2350 т стального шпунта начинается от расположенных на скале береговых устоев в сторону русла и заканчивается после переключения реки на выполненную часть плотины. Крепление за плотиной представляет собой крупногабаритную каменную наброску переменной толщины на длине 52 м.

Четыре пролета головного регулятора Всеамериканского канала перекрыты вальцовыми затворами длиной 26 м, диаметром 5 м, снабженными козырьками. Затворы защищены от плавающих наносов солидными сороудерживающими решетками. Двенадцать пролетов промывного шлюза имеют сегментные затворы $5,6 \times 6 \text{ м}$.

Шесть отстойных бассейнов длиной по 270 м, шириной по 130 м, расходом $60 \text{ м}^3/\text{сек}$ расположены попарно; наполняются они речной водой через отверстия в стенках постепенно сужающихся питающих каналов. Осветленная вода через противоположные водосливные стенки бассейнов поступает в расширяющиеся отводные каналы, а из них — во Всеамериканский канал; в последний вода может поступать минуя бассейны, пропускающие за сутки 72 тыс. т наносов. Операции промывок производятся с помощью вращающихся роторных установок, взмучивающих наносы, которые затем попадают в донные промывные трубы, а из них — в отводной лоток с пропускной способностью $750 \text{ м}^3/\text{сек}$, расположенный вдоль берега реки.

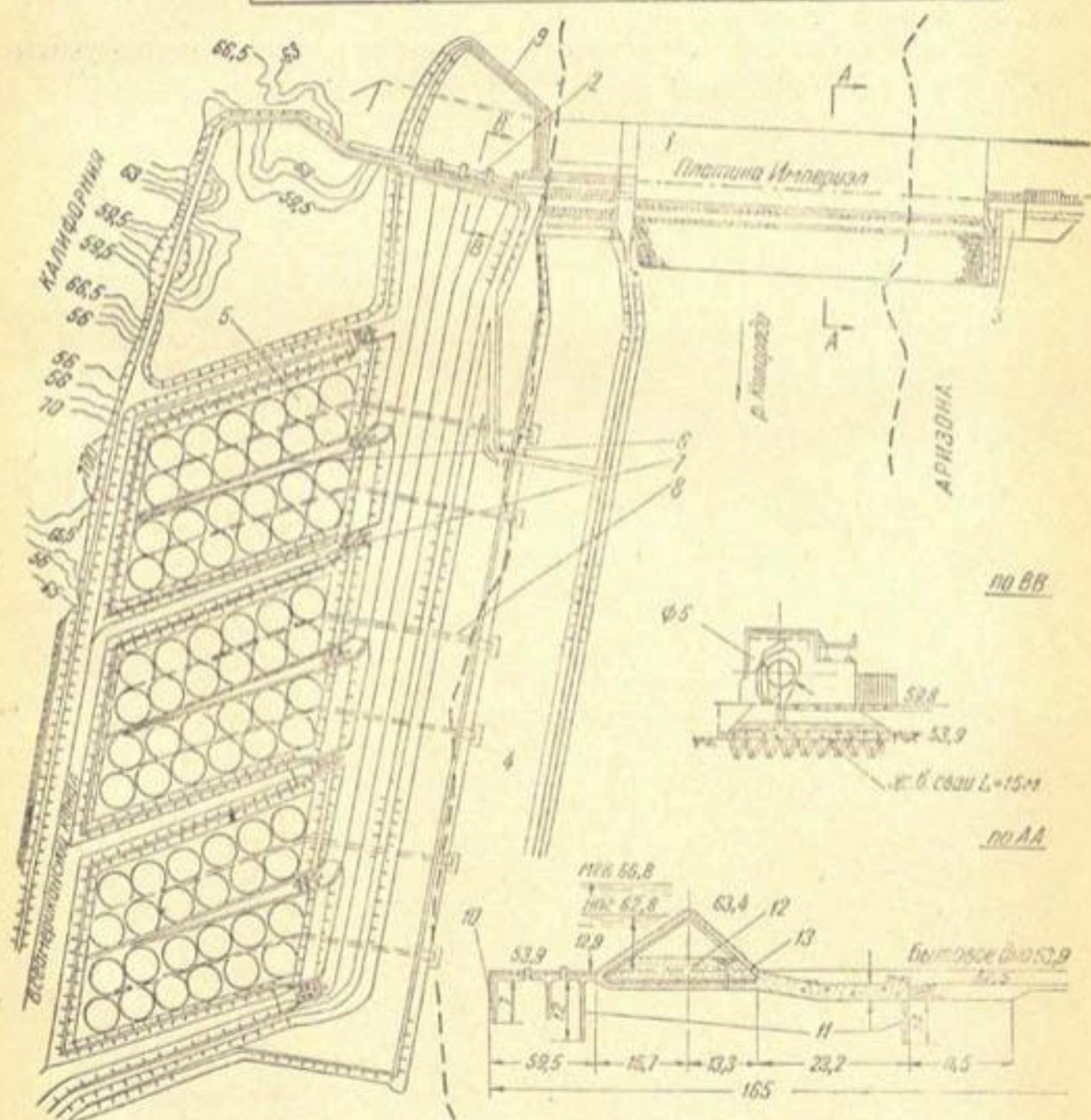


Рис. 31. Головные сооружения Всеамериканского канала США:

1—водослив; 2—головной регулятор Всеамериканского канала; 3—головные сооружения канала долины р. Хила; 4—сбросной лоток; 5—отстойный бассейн; 6—питательный канал; 7—отводный канал; 8—грязеспуск; 9—мусорные решетки; 10—деревянный шпунт; 11—стальной шпунт; 12—гравийный балласт; 13—инжектор.

Построенные в низовьях реки Колорадо плотины Лагуна (1909 г.) и Империзл (1938 г.) нормально работают до сих пор. Первая отличается простотой конструкции, вторая — успешным решением вопроса борьбы с донными наносами (при помощи специальных отстойников). В основу обеих плотин взят распластаный продольный профиль: на плотине Лагуна — за счет растянутого водослива, на плотине Империзл — за счет удлиненной рисбермы рационального очертания, выполненной из каменной наброски. Развитие необходимой длины подземного контура достигнуто за счет забивки сравнительно неглубоких деревянных и металлических шпунтовых рядов, что значительно облегчило водоотлив и производство работ, а также уменьшило объемы выемки котлованов, максимальная глубина которых на плотине Империзл достигает всего лишь 4 м. Обе плотины сооружены в русле реки без обводных каналов с небольшими оградительными перемычками методом сжатия от берегов к середине русла, с использованием минимальных расходов воды в зимние периоды.

По мнению автора, особенности указанных плотин полезно учитывать и при сооружении плотины Тахиаташ на Амударье.

Глава III

ПЛОТИНЫ С ПОСЛОЙНЫМ ВОДОЗАБОРОМ

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Первые плотины Ферганского типа с поперечной циркуляцией подходящего потока показали хорошую работу, надежно обеспечивая водозабор при любых расходах реки и не пропуская в регуляторы донных наносов при водозаборе до 70% от всего расхода реки. Однако в ходе проектирования, а также в процессе эксплуатации выявлены некоторые их недостатки:

1) односторонний водозабор у вогнутого берега и большая потеря напора при переброске воды на выпуклый берег дюкером, расположенным в теле флютбета плотины;

2) свал потока к вогнутому берегу, вызывающий необходимость устройства здесь глубокого крепления;

3) сооружение дорогостоящих струенаправляющих дамб перед плотинной для изменения течения реки и развития необходимых центробежных сил инерции;

4) постепенное уменьшение пропускной способности плотины, иногда с завалом наносами пролетов у выпуклого берега;

5) перемешивание взвешенных, подъем донных наносов в тех случаях, когда русло реки сложено мелкопесчаными грунтами;

6) запыление наносов в регулятор при увеличении водозабора сверх 70—80%.

Для дальнейшего развития этого типа сооружений необходимо было разработать мероприятия, устраняющие указанные недостатки. Частично это сделать удалось.

Плотины, действующие по принципу забора воды в регуляторы из верхних, более осветленных слоев воды и отвода ее из нижних слоев через промывные галереи, требуют параллельноструйного движения потока и прямолинейного подводящего русла. Этот тип водозаборов обладает следующими положительными свойствами:

1) двусторонняя подача воды;

2) меньшие размеры струенаправляющих дамб, а иногда возможность обходиться без них;

3) отсутствие перемешивания потока и попадания взвешенных наносов придонного слоя в поверхностные слои в песчаных руслах;

4) незначительное количество попадающих в каналы наносов;

5) большая компактность сооружения, уменьшение водяного фронта, объема работ и их стоимости.

Следовательно, в некоторых условиях более целесообразно сооружать плотины с послойным водозабором.

Ранее существовавший метод проектирования плотин предусматривал такие операции: а) назначение отметки порога на уровне среднего дна реки; б) выбор расчетной отметки поверхности воды перед плотиной, обеспечивающей командование местностью; в) определение ширины отверстий плотины.

При таком проектировании создавалась крайне неблагоприятная ситуация для водозаборов на плотинах индийского, стрельчатого и эльсденовского типов, так как увеличивалась устойчивая ширина русла на 24—47% против бытовой, что вызывало подпор верхнего бьефа, отложение наносов, блуждание русла и косой подход потока.

Новый метод расчета плотины, проверенный в 1940 г. в САНИИРИ, состоит в том, что основной искомой величиной является не фронт всего сооружения, а глубина воды на пороге плотины. Причем ширина подводящего русла должна соответствовать той ширине реки, которая большую часть года не делится на рукава и протоки, не образует островов и отмелей. Подобное состояние реки соответствует руслообразующему расходу, большему чем нормальный, но несколько меньшему самого большого паводка. С. Т. Алтунин рекомендует брать ширину реки, соответствующую расходу 5—10%-ой обеспеченности; ширина такого устойчивого русла определяется наблюдениями в натуре или же вычисляется по формулам. Длина прямолинейного подводящего русла берется при этом равной 5 ширинам руслообразующего.

Если за счет сжатия потока получается излишний напор на регуляторе, тогда следует прибегнуть к расширению потока перед сооружением под углом до 12° для обоих берегов. По этому методу успешно спроектирована в 1957 г. Тешик-Ташская плотина на Карадарье с двухсторонним послойным водозабором.

ЧУМЫШСКАЯ ПЛОТИНА НА р. ЧУ

Эта плотина (рис. 32), построенная в КиргССР в 25 км от г. Фрунзе, — первый в Средней Азии двухсторонний водозабор, работающий по послойному принципу. Она предназначена для обеспечения осветленной водой Атбашинского и Георгиевского каналов с расположенными на них небольшими ГЭС и для орошения 36 тыс. га земель, увеличившихся на 20 тыс. га после постройки в 1958 г. Ортотокойского водохранилища. Конструкция и тридцатилетний опыт эксплуатации этого сооружения представляют большой интерес.

Река Чу проходит в районе плотины в песчаном русле со средней крупностью песка и мелкого гравия 20 мм, размер отдельных камней доходит до 155 мм. Бытовой уклон дна равен 0,002; средние скорости течения изменяются в пределах 1,5—2,0 м/сек.

Плотина рассчитана на максимальный паводок в 450 м³/сек, пропускаемый при открытых щитах сброса и промывных галерей. Среднегодовой расход реки равен 50 м³/сек, минимальный — 20 м³/сек.

Средняя часть плотины состоит из двух пролетов по 14 м, перекрытых сегментными затворами. Пороги пролетов приподняты над отметкой бытового дна на 0,5, над понуром на 0,8 м. Рабочий напор — 3,5 м.

По обеим сторонам отверстий параллельно продольной оси сооружения расположены большие железобетонные четырехкамерные отстойники лобового водозабора (глубина каждого 4 м, ширина 26, длина 27—35 м) с промывными устройствами и регуляторами на расход по 42 м³/сек. Регуляторы сопрягаются с магистральными каналами при помощи криволинейных в плане железобетонных лотков.

Насыщенная наносами вода сбрасывается в нижний бьеф через промывные галереи 4 × 1,25 м, находящиеся под регуляторами и пере-

крываемые плоскими металлическими щитами. В отстойниках по проекту должны были осаждаться наносы крупностью более 0,25 мм.

Лобовое расположение промывных устройств обусловило чрезмерно большой фронт сооружения.

При постройке плотины во избежание свала реки влево в верхнем бьефе сооружена струенаправляющая дамба длиной 1450 м, защищенная короткими шпорами. Предполагалось, что при подпоре произойдет отложение наносов и переформирование русла с отжатием его к правому берегу, а также смягчение крутого поворота русла влево к фронту плотины. Однако при слабости дамбы река продолжала прорываться и сваливаться в старое русло, отжатия вправо не произошло (рис. 33).

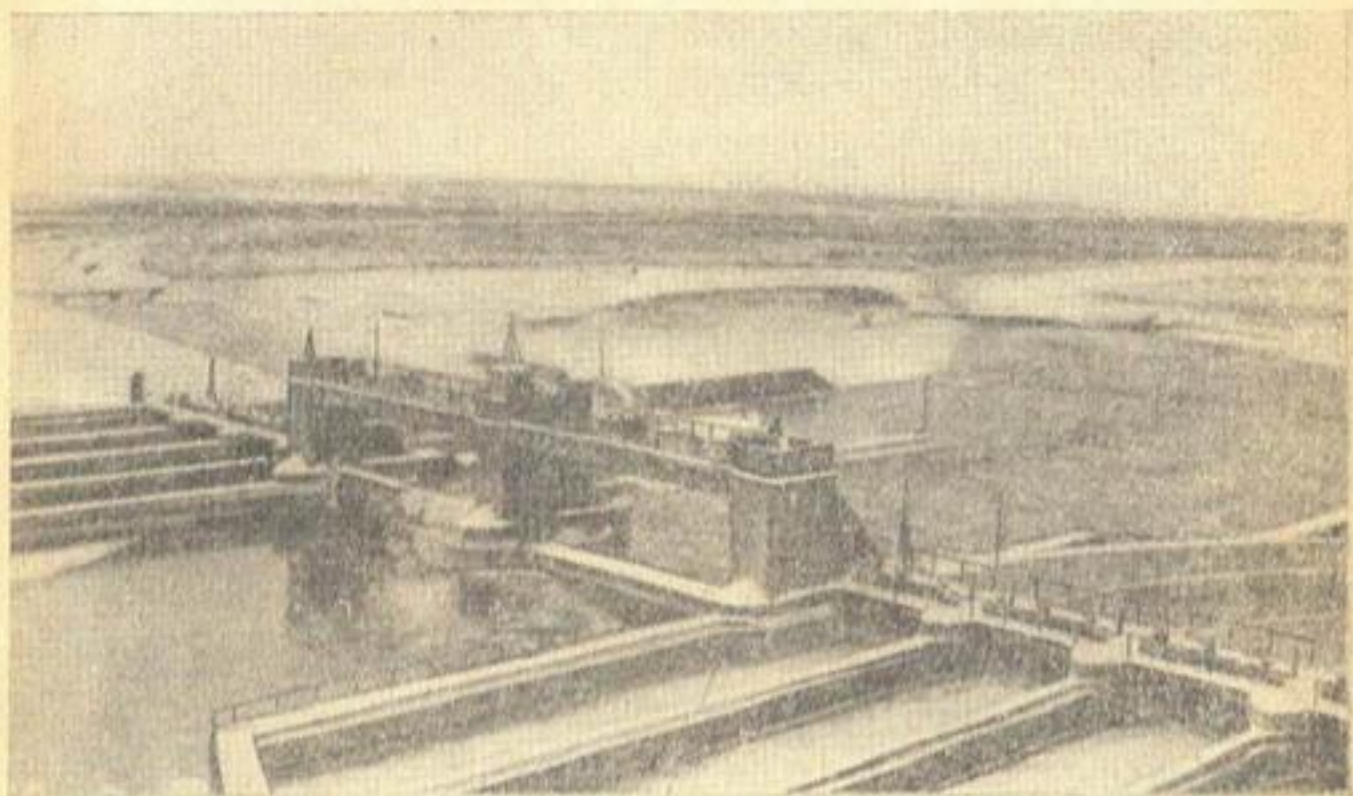


Рис. 32. Чумышская плотина на р. Чу.

С начала эксплуатации замечено скопление донных наносов в 2,5 км выше плотины. В 1938 г. в 200 м от нее из них образовался большой остров длиной 700 м. Из-за отсутствия надежно зарегулированного русла происходило блуждание потока с образованием рукавов и отмелей, причем большая часть расхода размещалась в левом рукаве. На прямолинейном участке перед плотинной длиной до 87 м поток выровняться не мог, что создавало мертвую зону перед входом в отстойник левобережного регулятора с образованием большого несмываемого острова и неравномерность подхода всего потока к фронту сооружения с увеличенным поступлением наносов в Атбашинский канал.

В 1937—1938 гг. производились расчистки песчаного острова, быстро заносившегося песком, в связи с чем пришлось прибегнуть к дополнительному забору воды в канал через старый водозабор. После этого на первых 7 км канала отложилось около 50 тыс. м³ наносов крупностью до 70 мм. Пропускная способность канала уменьшилась с 42 до 27 м³/сек.

В течение первых 5 лет эксплуатации ежегодно производилось до пяти промывок верхнего бьефа длительностью до трех суток с расходами 45—90 м³/сек. Было смыто около 1000 тыс. м³ наносов, а отложилось

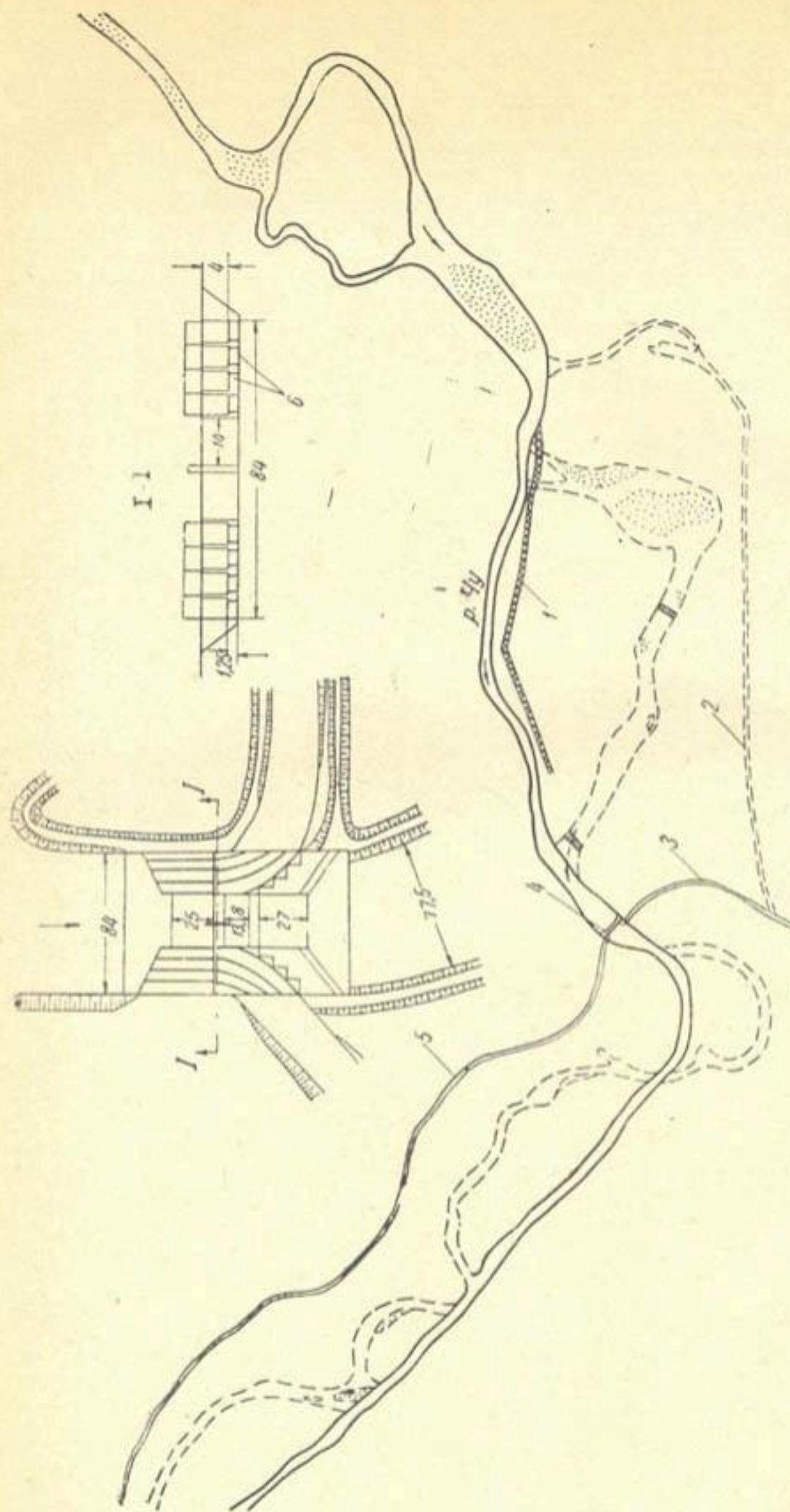


Рис. 33. План и разрез плотины на р. Чу:

1 - старая каменно-деревянная плотина; 2 - старый левобережный Атабашинский канал; 3 - новый левобережный Атабашинский канал; 4 - плотины; 5 - прогоны; 6 - прогоны галереи (размеры в метрах).

930 тыс. м³. Формирование русла верхнего бьефа закончилось на длине около 4,5 км с повышением отметок дна в пределах 0,25—3,00 м.

Промывки несколько улучшили положение, однако полностью затруднений с водозабором не устранили. При неравномерном подходе потока трудно было создать условия искусственной поперечной циркуляции для лучшего смыва наносов при работе затворов.

В целях улучшения положения в 1939—1940 гг. проведены работы по регулированию подводящего русла. Струенаправляющая дамба укреплена, протоки в ней перекрыты карабурной кладкой. Справа вдоль дамбы прорыт большой прокоп, спрямивший и укоротивший русло почти на 1 км, уклон дна при этом увеличился в 1,5 раза. В результате проведенных работ длина прямолинейного подходного участка перед плотинной увеличилась на 200 м, что способствовало большей эффективности промывок, особенно в многоводные годы; дно подводящего русла понизилось в среднем на 1 м, облегчился водозабор в левобережный регулятор.

Однако началось ухудшение в нижнем бьефе: с 1939 г. усилилось отложение наносов крупностью до 50 мм; в 1954 г. завал русла над бытовым дном достиг 2,5 м; над порогом щитовой части в конце рисбермы дно поднялось на 0,75 м, а над полом промывных галерей — на 1,25 м. Пропускная способность сооружения в целом уменьшилась, снизился эффект промывок, особенно в маловодные годы. В 1952 г. после постройки в нижнем бьефе большого прокопа отметки дна реки снизились на 1—1,2 м. При расходах 35—55 м³/сек наблюдался слабый смыв наносов перед сооружением, при больших расходах он увеличивался.

Эксплуатация узла все годы проходила с большими затруднениями. Систематически производились значительные трудоемкие земляные и регулировочные работы.

Основные недостатки сооружения, выявленные в процессе эксплуатации и изучения его в натуре, следующие:

1. По проекту прямолинейный фронт плотины и регуляторов с лобовым водозабором на оба берега должен был обеспечить правильный параллельноструйный подход потока, а борьба с наносами осуществляться по принципу послойности. Фактически сооружение расположено на криволинейном участке реки, а прямая вставка перед ним длиной 87 м совершенно не достаточна для его выравнивания. Возникающие явления поперечной циркуляции нарушают послойное строение потока.

2. Завышенная ширина подводящего русла 84 м при бытовой до постройки 35 м и устойчивой по формуле С. Т. Алтунина 55 м определена только в результате гидравлического расчета плотины и регуляторов. Изучение этих вопросов в САНИИРИ показало, что более целесообразно за исходную принимать устойчивую ширину русла, а глубину или напор определять в функции от полученной ширины и данных гидравлического расчета. Невыполнение этих условий на Чумышской плотине привело фактически к образованию отдельных рукавов и отмелей и к блужданию потока.

3. При скорости течения в реке до 2 м/сек промывная скорость в отстойниках в 1,2 м/сек недостаточна. Опыты ЦАГИ и САНИИРИ показали хорошую промывку при расположении щитов в начале отстойников. Однако выполнить это в натуре было невозможно, так как устойчивость тонких стенок может сохраняться только в том случае, если с обеих сторон нагрузки одинаковы. В то же время при расходе регулятора 34—42 м³/сек подходные скорости оказались равными 0,4—0,5 м/сек, с выпадением фракций 1—2 мм вместо проектных соответственно 0,3 м/сек и 0,25—0,40 мм.

Общая забральная стенка отстойника, расположенная под углом

к направлению потока, способствует отжатию струй и неравномерному распределению скоростей. Результаты лабораторных исследований показали, что устройство горизонтальной полки между водоприемником и донными галереями могло бы значительно уменьшить поступление наносов.

4. Пропуск шуги предусмотрен через козырьки двух затворов сброса высотой 0,2 м, но этого недостаточно. Фактически шуга сбрасывается из-под щитов при сниженных горизонтах воды.

5. Плотина имеет тонкие железобетонные конструкции. Такие конструкции, как показал опыт, в условиях сурового предгорного климата, подвергаясь действию напорной воды, быстро изнашиваются.

6. Большой водозабор вызывающий затруднения в нижнем бьефе, что нарушает динамическое равновесие уклона, сток донных наносов и транспортирующую способность потока. Улучшить положение можно, видимо, зимними промывками тактами.

ГАЗАЛКЕНТСКАЯ ПЛОТИНА НА р. ЧИРЧИК

Перед началом строительства гидроэлектростанций Чирчик-Бозсуйского каскада для обеспечения одностороннего водозабора из р. Чир-

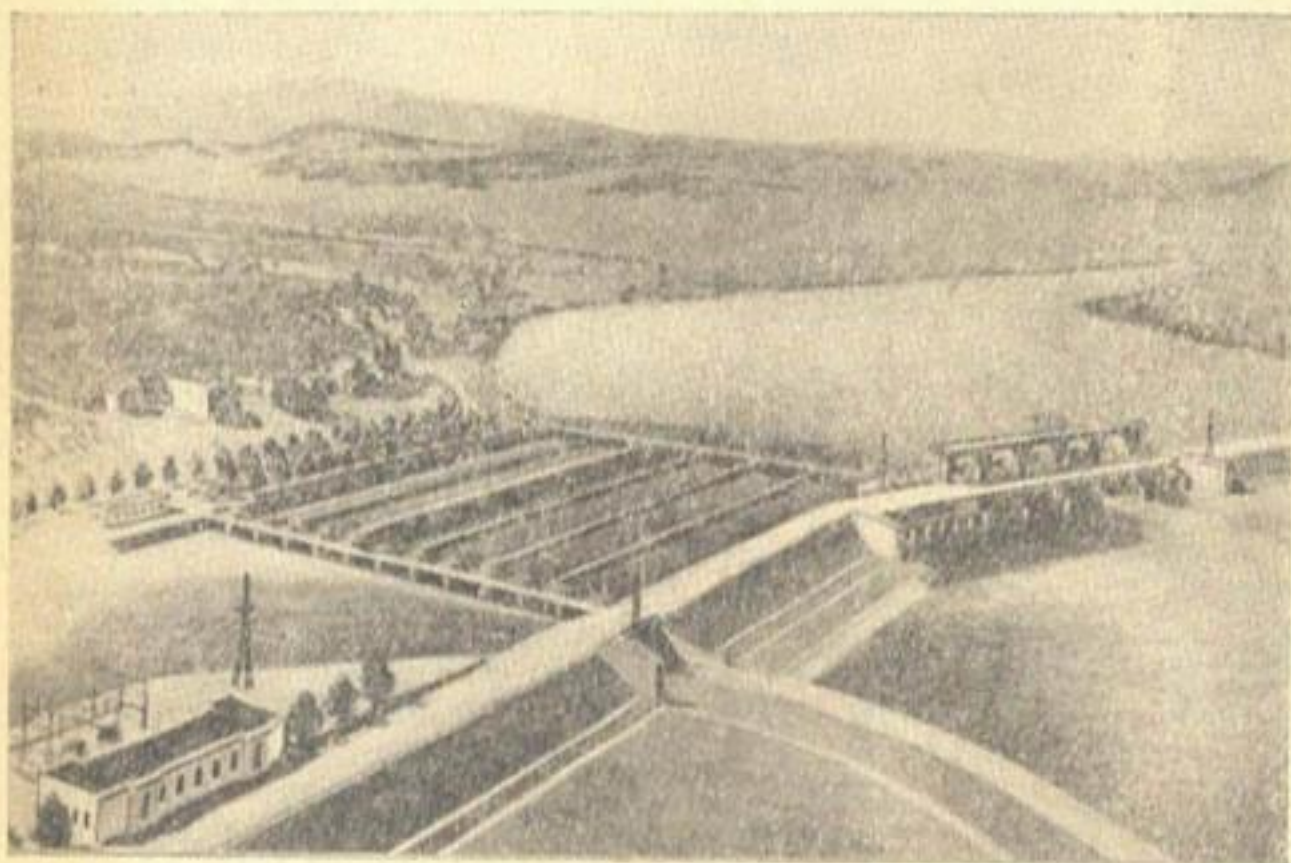


Рис. 34. Газалкентская плотина на р. Чирчик.

чик Ленгидепом запроектирована, а Чирчикстроем к 1940 г. построена Газалкентская плотина (рис. 34). На участке ее расположения река образует большую излучину обрывистого правого берега, что создало возможность защиты водоприемных сооружений от попадания донных наносов. Створ плотины находится в низовом конце излучины, где главное течение реки переходит постепенно от правого берега к левому. Высокий правый берег здесь понижается, образуя пологий склон, удобный для расположения водоприемных сооружений.

Река характеризуется кратковременными паводками в размере 800—1600 м³/сек и длительной меженью в 30 м³/сек. Среднегодовой рас-

ход составляет $224 \text{ м}^3/\text{сек}$, катастрофический — $2300 \text{ м}^3/\text{сек}$. Поверхностные скорости в створе плотины изменяются от 1,7 до 5 м/сек при уклоне дна 0,003.

Река проносит большое количество наносов в весенне-летний период. Расчетный годовой сток донных наносов при ответственности го-

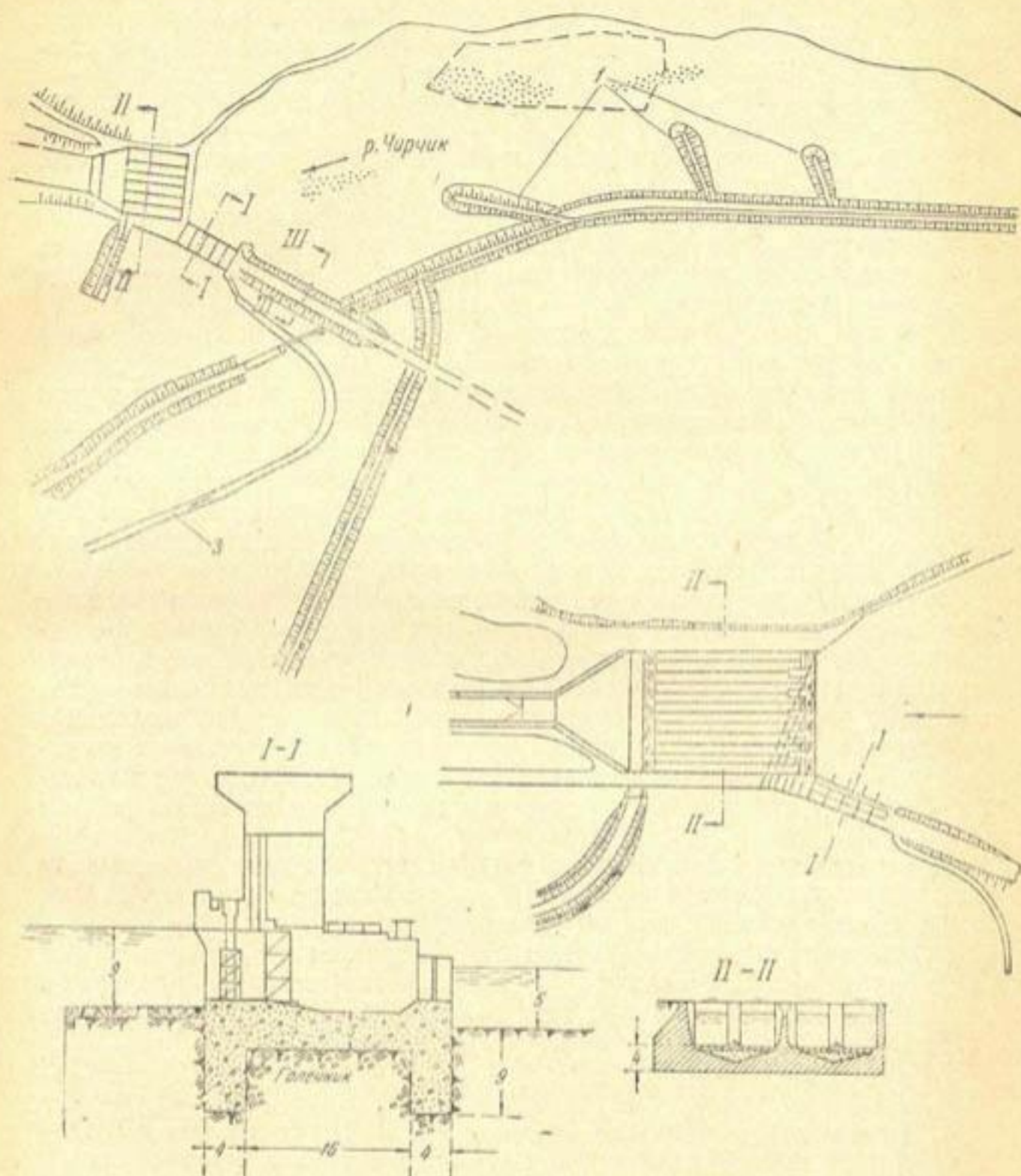


Рис. 35. План и разрезы Газалкентской плотины на р. Чирчик:

I—I—по шлюзовой плотине; II—II—по отстойнику; III—III—по земляной плотине; IV—IV—по отстойнику (размеры в метрах); 1—струенорегулирующие шпоры; 2—крепление камнем размером больше 40 см; 3—канал Ягни.

ловного сооружения большого ирригационного тракта и будущего каскада ГЭС принят с запасом — 1 млн. $\text{м}^3/\text{в}$ год.

При зимнем расходе воды в реке от 56 до $100 \text{ м}^3/\text{сек}$ годовой объем шуги достигает 5—7 млн. $\text{м}^3/\text{сек}$. Борьба с ней — основное затруднение при эксплуатации плотины.

В состав узла входят: а) разборчатая щитовая плотина длиной 94 м; б) глухая земляная плотина длиной 200 м; в) водоприемное сооружение с шестикамерным отстойником $125,8 \times 130$ м; г) донные промывные галереи, расположенные под водоприемником параллельно оси плотины.

Щитовая часть плотины состоит из пяти пролетов по 14 м в свету, перекрываемых плоскими колесными затворами высотой по 7 м с автоматическими клапанами, предназначенными для сброса шуги и плавающих наносов. Пролеты плотины рассчитаны на пропуск всего катастрофического расхода (рис. 35).

Порог плотины заложен на 1,5 м выше средней отметки дна реки. Поверхность армированных бетонных флютбета и быков в пределах истирающего действия потока облицованы тесовой гранитной кладкой, а также чугунными плитами. По всей длине плотина с устоями делится на три неравные секции температурно-осадочными швами, проходящими по осевым плоскостям двух средних быков.

Наверху быков и устоев расположен служебный мост, где размещаются подъемные механизмы затворов.

Фронт водоприемного сооружения составляет с осью сброса угол 115° . Порог водоприемника снабжен двумя ярусами отверстий: верхние служат для забора воды в отстойник, нижние ведут в шесть донных промывных галерей с расходом $280 \text{ м}^3/\text{сек}$; затворы их находятся ближе к выходу в нижний бьеф. Дно и стены галерей облицованы на высоту 1,2 м чугунными плитами, которые к 1962 г. износились в концевой части, после чего был произведен капитальный ремонт.

Отстойник рассчитан на осаждение взвешенных наносов крупнее 0,4 мм со средними скоростями течения порядка 0,4—0,5 м/сек. Бетонное днище его вместе с песчано-каменным заполнением имеет толщину против выпирания в опорожненном состоянии 4 м; низовая часть — два ряда пазов, оборудованных плоскими затворами, которые закрывают отстойные камеры со стороны канала и открывают их для сброса гидропульпы в грязеспуск, идущий поперек канала в реку. При входе в грязеспуск имеется один плоский затвор, закрывающийся во время работы канала.

Промывка камер отстойника в паводок производится два-три раза в неделю, поэтому наносы крупнее 0,4 мм в канал не попадают. Длина грязесбросного канала 300 м, ширина по дну 10 м, уклон 0,005.

Земляная часть плотины длиной 450 м является продолжением щитовой; верховой откос укреплен против размыва каменной наброской, а низовой дренирован каменной осыпью. В теле плотины заложена бетонная диафрагма толщиной поверху 0,6 м, понизу 2 м.

Эксплуатация гидроузла

Работниками Института сооружений АН УзССР в период 1947—1954 гг. проведено изучение некоторых водозаборных узлов Средней Азии как в натуре, так и на модели.

Выявлено, что заиление и занесение наносами верхнего бьефа, размыв и занесение нижнего вызывают весьма большие эксплуатационные затруднения.

При низких напорах, порядка 3—4 м, главную роль в формировании русла играют донные наносы, медленно приближающиеся к плотине в виде гряды. Кривая подпора распространяется на 0,5—1 км и более, а занесение верхнего бьефа происходит за 2—3 года. Взвешенные наносы особого значения не имеют. Далее гидравлический режим потока почти приближается к бытовому и быстро устанавливается транзит наносов через плотину.

На водозаборных узлах с напором 7 м, к которым принадлежит и Газалкентская плотина, процесс переформирования русла проходит значительно медленнее, чем на более низких. Взвешенные наносы откладываются в русле как в отстойнике, а донные задерживаются в начале кривой подпора при длине ее 3—4 км. Отсюда начинается грядовое движение последних вниз по течению с постепенным погребением взвешенных.

Затление продолжается в течение 5—6 лет, занесение донными наносами — 15—20 лет с увеличением длины кривой подпора. В конце этого периода начинается блуждание потока перед плотиной, которое может причинить большой вред на подходе к водоприемнику с прорывом береговых дамб.

Работу узла можно значительно улучшить, организовав своевременные надлежащие промывки верхнего бьефа. В нижнем бьефе при отсутствии наносов в первые годы эксплуатации сооружения происходят понижение дна и размывы русла за плотиной. С началом движения донных наносов через плотину наблюдается обратный процесс, т. е. повышение дна, могущее привести к невозможности их промывки через шлюзы или галереи. Подобное положение явилось главной причиной реконструкции Первомайской плотины на р. Зарафшан через 30 лет ее эксплуатации.

Газалкентский водный узел расположен на криволинейном участке реки с регулятором на вогнутом берегу. Большую часть наносов предполагалось сбрасывать через отверстия плотины у выпуклого левого берега.

Однако после постройки сооружения образовался значительный подпор с широкой воронкой подводящего русла. В зависимости от открытия затворов узла поток менял направление. Ежегодно при сбросе паводка в течение примерно трех месяцев через плотину основное русло перемещалось влево, равномерный, почти лобовой подход к водоприемнику постепенно сменился. В 1946 г. гряда донных наносов подошла близко к водоприемнику, перед которым образовались протоки и острова с превышением отметки порога приблизительно на 3,5 м. При проектной емкости верхнего бьефа в 2 млн. м³ здесь отложилось свыше 1 млн. м³ наносов. Возникла угроза попадания их в нижний бьеф через отстойники.

Максимальный размыв нижнего бьефа за галереями превышал на 5 м размыв за плотиной, поэтому осложнений с промывкой не было. Промывки наносов верхнего бьефа давали некоторый эффект, но на следующий год наносы откладывались снова.

По рекомендации Института сооружений АН УзССР для отжатия потока к правому берегу на протяжении около 1 км на левом берегу сделаны три берегоотбойные шпоры, производятся систематические промывки перед плотиной. Во время паводка открываются все промывные галереи, так как это способствует притяжению потока к правому берегу.

В настоящее время эксплуатация узла проходит нормально, однако имеется угроза завала отводящего канала промывников донными наносами. Положение должно улучшиться после окончания строительства Чарвакского гидроузла с водохранилищем, но наносы все же могут поступать из саев и с участка р. Чирчик, расположенного ниже будущей Чарвакской плотины.

Практика эксплуатации Газалкентского гидроузла показывает, что при составлении проектов водозаборных плотин необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- 1) неизбежность нарушения динамического равновесия русла реки, загружаемого движущимися наносами по его уклонам;
- 2) процент водозабора, совершенно изменяющий условия протекания потока за плотиной;
- 3) возможность повышения отметок конструкций гидроузла при «погребении» плотины в будущем.

ФАРХАДСКАЯ ПЛОТИНА НА СЫРДАРЬЕ

Краткие сведения о Фархадской ГЭС

Водозабор в деривацию Фархадской ГЭС на Сырдарье осуществлен в результате строительства одноименной плотины средней высоты с водохранилищем. В проекте плотины вопросы руслообразования реки не рассматривались. Для борьбы с донными наносами при полном заилении водохранилища на головном регуляторе деривации построен мощный грязеспуск со сбросным лотком и концевым консольным сбросом, поэтому, по мнению автора, плотину можно отнести к типу послойных.

Попытки использовать водные ресурсы Сырдарьи для орошения Голодной степи предпринимались с 1870 г., но с малыми результатами.

В проекте 1942 г. за Фархадской ГЭС предполагалось подать отработавшую воду в Кировский канал и оросить 463 тыс. га земель южной части Голодной степи, в том числе 51 тыс. га машинного орошения, расположенных выше ст. Урсатьевской. В настоящее время план этот изменен, большая часть воды подается по Южному каналу, что позволило на 32,5 м уменьшить высоту качания для насосной зоны орошения.

Чтобы увеличить площади орошения Дальверзинской степи, вместо затоплявшейся головной части Дальверзинского канала с регулятором на расход 30 м³/сек намечалось устройство у правого устья Фархадской плотины водовыпуска с расходом 68 м³/сек.

ГЭС мощностью 133 тыс. квт имеет напор в 32,5 м, обеспечиваемый плотиной высотой около 26 м и деривацией длиной 13,6 км.

Через пять лет после начала работ (февраль 1943 г.) был пущен первый гидроагрегат. Все работы выполнены за 8 лет.

Сооружение Фархадской ГЭС в тяжелые военные и послевоенные годы (1943—1950) — выдающееся достижение узбекского народа.

Геология и гидрология Фархадской плотины

Плотина расположена у подножия хребта Моголтау, сложенного известняками, песчаниками, сланцами палеозойского возраста и обрывающегося над рекой справа Фархадскими скалами. Левый низменный берег образован породами четвертичного возраста, являющимися продуктами эрозионной и аккумулятивной деятельности Сырдарьи и ее притоков, спускающихся с северного склона Туркестанского хребта и частично с Моголтау. Правобережная бетонная водосливная часть плотины с левым устоем расположена на красноцветных песчаниках, которые к левому берегу уходят вниз, левобережная земляная часть и головной регулятор деривации — на галечниковых отложениях и частично на лёссах. Мощность галечников на берегу достигает до 35 м, а у регулятора — до 63 м.

Выше плотины русло реки пересекает мощная полоса геологического сброса шириной до 50 м, заполненная брекчией и глиной. Тектонические явления вызвали здесь сжатие горных пород внизу и растяжение их вверх.

В процессе скальной выемки обводного русла и котлована плотины обнаружены трещины четырех систем:

1) параллельные трещины напластования на расстоянии 0,5—1,5 м друг от друга; 2) тонкие трещины кусковой отдельности, заполненные жирной красной глиной, идущие в различных направлениях; 3) параллельные трещины кливажа, или среза, заполненные кварцем, перерезающие первые две системы; 4) линзовидные трещины растяжения толщиной до 2 м, заполненные красной глиной и брекчией (влияние сброса). Все трещины водонепроницаемы, за исключением линзовидных, которые давали ничтожную фильтрацию, измерявшуюся долями литра в секунду.

Сопротивление скалы на раздавливание определено в 200—400 кг/см². Допускаемые нагрузки для скалы — 12 кг/см², для разборной зоны разлома — 8 кг/см², для галечника — 5 кг/см².

Максимальный расход реки по данным наблюдений — 3840 м³/сек, минимальный — 92 м³/сек. Катастрофический расход 0,1%-ной обеспеченности определен в 4900 м³/сек и пропускается на 1,3 м выше отметки НПГ. Среднемноголетняя мутность реки равна 1,88 кг/м³.

Сток донных наносов составляет 0,7—1% от взвешенных. Крупность аллювиальных отложений в русле — до 80 мм, пористость — 18%, коэффициент фильтрации — 2,6 м/сут.

Лессовидные супеси, употреблявшиеся для земляной плотины, в карьере характеризовались следующими физико-механическими свойствами: объемный вес 1,45 г/м³; пористость 46%; коэффициент фильтрации 0,8—0,4 м/сут.

Описание плотины

Фархадская плотина состоит из регулятора канала Дальверзин на расход 68 м³/сек, водосливной части длиной 101 м расходом 4900 м³/сек и глухой части длиной 500 м, а также регулятора деривации со сбросом-грязеспуском на расход 470 м³/сек.

Бетонная водосливная часть плотины расположена на террасе правого берега в обводном русле, проложенном в скале. Она имеет восемь пролетов по 10 м, разделенных быками толщиной по 3 м. В пролетах расположены водосливы высотой по 11,5 м с приподнятыми над дном реки на 6 м низовыми носками для отбрасывания струй. Над гребнем водослива находятся колесные плоские рабочие затворы 10 × 9,2 м. Перед водосливами заложены пазы для ремонтного затвора. Между пазами затворов по верху быков сооружены служебные мостики с рельсовыми путями, по которым движутся два порталных крана. Мосты для автогужевого и железнодорожного движения размещены на быках ближе к нижнему бьефу.

Для гашения энергии воды, падающей с высокого носка водослива, в нижнем бьефе запроектирован колодец ложкообразной формы длиной 32,2 м, глубиной 4 м с зубьями Ребока на конце. Строительство колодца наметили на вторую очередь по получении результатов эксплуатации плотины.

Глухая земляная плотина состоит из русловой и береговой части. Для улучшения входа и устранения продольных течений вдоль мокрого откоса береговая часть в месте примыкания ее к регулятору уширена (рис. 36).

По гребню плотины шириной 16,5 м проходят автогужевая и железная дороги.

Мокрый откос плотины укреплен рваным камнем толщиной 1 м на слое шагала 0,6 м.

Дренажная призма низового носка плотины состоит из слоев песка

и гравия и расположена на мощном каменном банкете, оставшемся от перекрытия реки.

Регулятор деривации имеет семь пролетов по 10 м, перекрываемых плоскими колесными затворами $10 \times 6,5$ м, с быками по 2 м. Перед

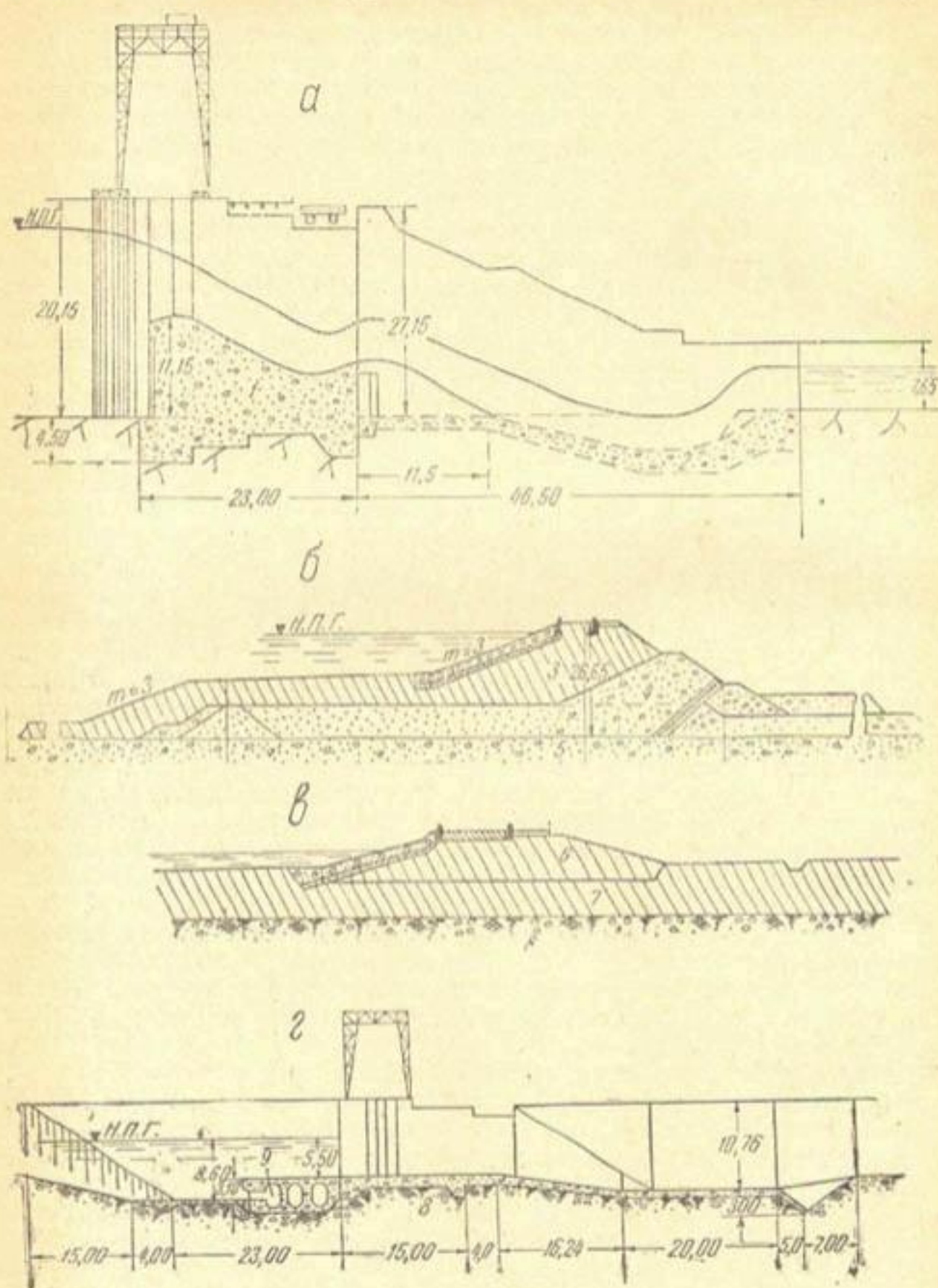


Рис. 36. Разрезы по плотине Фархадской ГЭС:

а — водосливная часть с ложкой; б — русловая часть земляной плотины; в — береговая часть земляной плотины; г — регулятор деривации с грязеспуском; 1 — гусек водослива; 2 — ложка; 3 — суесь; 4 — песчано-галечный грунт; 5 — галечниковое дно реки; 6 — суесь плотины; 7 — суесь левого берега; 8 — галечники; 9 — отверстия и потери грязеспуска (размеры в метрах).

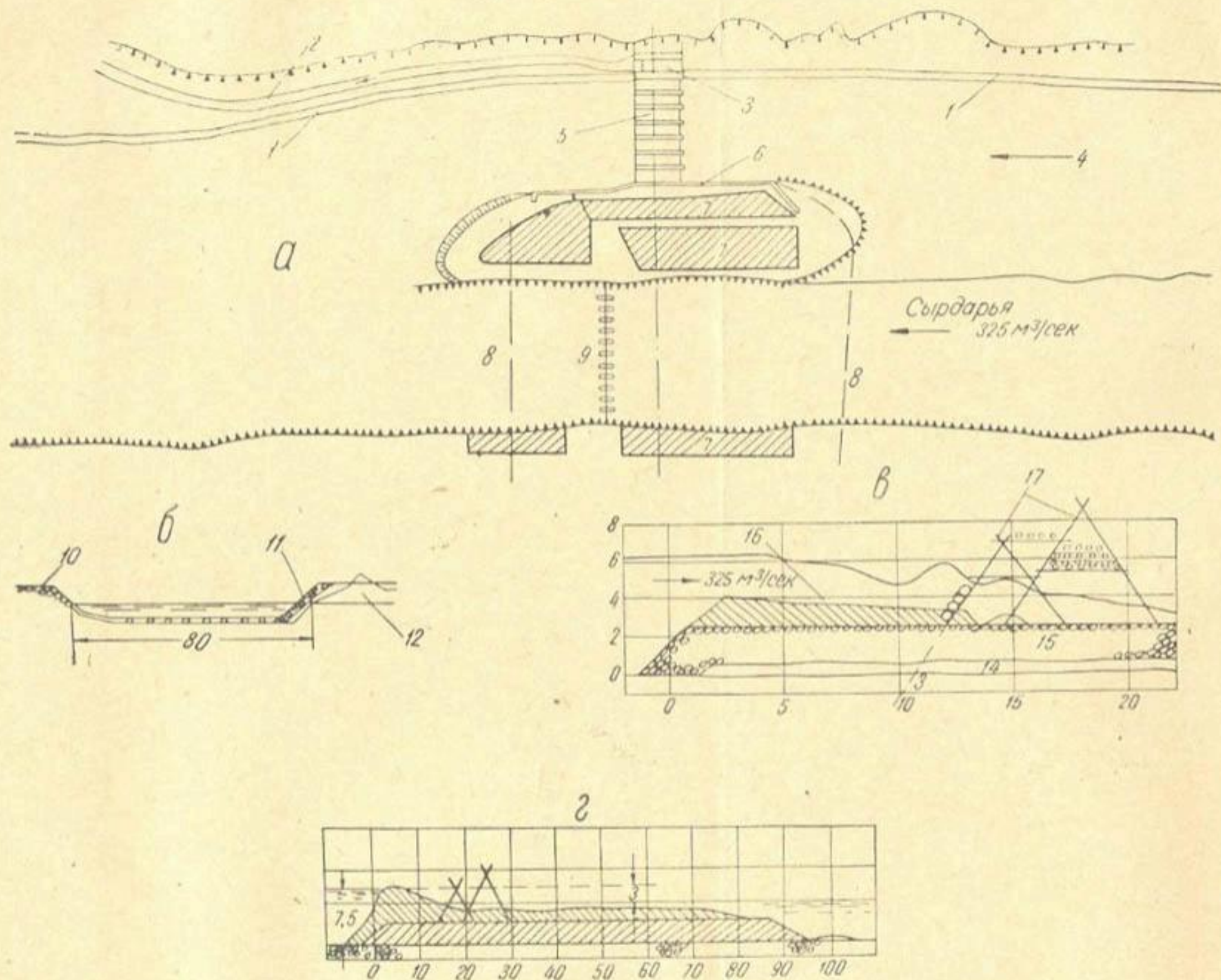


Рис. 37. Перекрытие Сырдарьи на Фархадстрое:

а—план плотины перед перекрытием; б—поперечник реки у понтонного моста; в—расположение материалов при перекрытии; з—оксидный поперечник после перекрытия; 1—старый канал Дальверзин; 2—новый канал Дальверзин; 3—новый регулятор Дальверзин; 4—обводное русло реки в скале; 5—фундаменты и быки водосливной плотины, поднятые на 4,5 м от дна обводного русла; 6—бутобетонная разделяющая стенка; 7—штабеля рваного камня; 8—контуры будущей земляной плотины; 9—понтонный мост; 10—рваный камень; 11—шагал и камень; 12—срезка мелкозема; 13—галечник дна; 14—щебень и галька; 15—наброска камнем весом 10–20 кг; 16—наброска камнем весом 30–40 кг; 17—сипан (размеры в метрах)

затворами установлены металлические решетки для задержания мусора. В пазы решеток можно установить ремонтный колесный затвор. Операции с затворами и решетками выполняются при помощи портального крана.

Для борьбы с донными наносами в пороге регулятора предусмотрено 12 входных отверстий промывных галерей высотой по 1,5 м, дно которых на 3,1 м ниже порога регулятора. Промывные галереи проходят через тело земляной плотины в открытый железобетонный лоток с вертикальными стенками, оканчивающийся консольным сбросом в Сырдарью. Грязеспуск регулируется затворами, находящимися в шахтах правобережного устоя регулятора деривации.

Регулятор Дальверзинского канала в виде трехочковой трубы со сводчатыми перекрытиями расположен в теле правого устоя плотины. Горизонт воды нижнего бьефа канала находится на 12 м выше головной части затопленного канала. Сопряжение нового русла со старым осуществляется тремя перепадами. Увеличение расхода и напора воды дало возможность оросить дополнительные площади Дальверзинской степи.

Объемы, стоимость и производство работ

Объемы и сроки работ по сооружению всего гидроузла указаны в табл. 3, стоимость всего гидроузла — в табл. 4.

Прежде всего устроили обводное русло канала Дальверзин на правобережной террасе Сырдарьи. На период строительства русло направили через восьмой пролет будущей водосливной плотины. В сентябре 1943 г. канал пустили по новому руслу, после чего открылся широкий фронт работ по выемке в скале всего обводного русла реки и котлована водослива. Усилиями 10 тыс. колхозников Сурхандарьинской области скальная выемка в объеме 70 тыс. м³ закончена за 2 мес. Рыхление ее производили шпуровым методом.

Впервые Сырдарью перекрыли в декабре 1943 г. в условиях полного отсутствия строймеханизмов и автотранспорта. Началось перекрытие при среднем расходе реки 325 м³/сек, глубине русла 4,5 м, скорости течения 2 м/сек и ширине прорана около 80 м. Главное затруднение состояло в том, что проектная отметка скального дна обводного русла на 3,35 м превышала отметку бытового дна реки. Эту разницу отметок приходилось преодолевать свободной отсыпкой каменного банкета в воду. Необходимое количество камня определили в 30 тыс. м³, добывали его из котлована обводного русла и вручную складывали по обоим берегам реки.

Допущенное проектом превышение дна впоследствии сказалось на характере сопряжения потоков в нижнем бьефе и на размыве дна, но дало экономию времени и снизило первоначальные затраты.

В створе перекрытия наведен легкий понтоный мост, рассчитанный на пропуск двух цепочек рабочих. Он состоит из пролетов по 6,5 м с настилом шириной 8 м (рис. 37).

Для предохранения от размывов на левом галечниковом берегу сделана отсыпка рваным камнем весом 20—30 кг, а мелкозем правого берега убран до уреза воды и заменен песчано-галечным грунтом толщиной 4 м, прикрытым камнем.

В течение первых 15 дней с моста равномерно по его длине сбросили 5 тыс. м³ щебенки, что создало подпор воды в 0,6 м, в следующие 5 дней — 6,5 тыс. м³ камня. После этого горизонт воды в реке поднялся на 0,4 м выше дна обводного русла, по которому после взрыва входной перемычки проходило около 25 м³/сек воды. И, наконец, в последние 5

дней в реку сбросили еще 10 тыс. м³ камня средних размеров, который сносился течением вниз на 110 м. В результате образовался быстроток с удельным расходом 5 м³/сек при уклоне 0,03. Теперь в обводное русло уходило 60 м³/сек воды.

Дальнейшая наброска камня среднего размера стала нецелесообразной из-за сноса его водой, а камень весом 30—40 кг отсутствовал. Тогда поверх уложенной каменной наброски в течение 6 дней установи-

Т а б л и ц а 3

Объемы и сроки выполнения работ по сооружению
Фархадской плотины

Вид работ	Объем работ, тыс. м ³ , шт.	Сроки выполнения (год и квартал)
Выемка в скале	191	1943—1950
обводных русел Дальверзина и Сырдарьи	70	1943, I—IV
котлована регулятора Дальверзин	47	1944, 1945, 1946
нового канала Дальверзин	25	1947, I—IV
расчистка воронки размыва за водосливом плотины	49	1948, IV; 1949, 1950
Выемка в мягком грунте	783	1943—1947
обводного русла Сырдарьи	427	1943, I—IV
котлована регулятора деривации	246	1944—1947, I—II
русла канала Дальверзин	110	1947, I—IV
Насыпи	685	1943—1948, I—II
насыпь плотины	565	1944—1948, I—II
обратные засыпки	120	1943; 1949; I—II
Каменное крепление	140	1943; 1946—1949
перекрытие Сырдарьи	30	1943, III, IV
откосы плотины	72	1946, 1947
крепление левого берега реки	38	1948, III, IV; 1949, I, II
Бетонные и железобетонные работы	147	1943—1950
водослив плотины	70	1943, III, IV, 1944, IV; 1946, II, III
раздельная стенка плотины	20	1944, 1945, 1946
регулятор деривации	30	1946, II—IV, 1947, 1948
крепление воронки размыва за водосливом	10	1948, IV; 1949, I
Металлоконструкции		
портальный кран № 1 водослива	1	1944, IV; 1945, I
портальный кран регулятора деривации	1	1946, III, IV
портальный кран № 2 водослива	1	1948, II—III
Затворы плотины	—	1945, IV; 1946, 1947, I
Затворы регулятора деривации	—	1948, II—IV, 1949, I

ли два ряда девяти- и шестиметровых сипаев, загруженных хворостом и камнем, и одновременно увеличили заготовку крупного камня. Перепад на гребне наброски разбился на два. Затем за 4 дня русло реки перекрыли эффективной наброской крупного камня весом 30—40 кг.

Перекрытие выполнили за 40 дней, при этом в реку сбросили до 27 тыс. м³ щебенки и камня (рис. 38).

В 1956 г. Сырдарью дважды перекрыли (при строительстве Кайрак-кумской и Кызылординской плотин), но уже при большей обеспеченности строймеханизмами и автотранспортом. К этому времени накопился большой опыт по перекрытию рек. В четвертый раз ее перекрыли в октябре 1964 г. на строительстве Чардаринского водохранилища.

Сравнительные данные по трем перекрытиям Сырдарьи показаны в табл. 5. Они свидетельствуют о преимуществах механизированного метода перекрытия, примененного на Карйраккумгэсстрое.

Производство бетонных работ начато в условиях полного отсутствия лесоматериалов, металла, автотранспорта и подъемных механизмов. Поэтому в пролетных строениях мостов и балок из 96 тыс. м³ уложенного бетона и железобетона на долю последнего приходится лишь 5 тыс. м³.

Т а б л и ц а 4

Стоимость работ по сооружению Фархадской ГЭС (в ценах 1947 г.)

Статья затрат	Стоимость	
	млн. руб.	%
Изыскания, проектирование и научно-исследовательские работы	23,0	4,2
Подготовка строительства	37,0	6,7
в том числе зоны затопления	(22,6)	(4,1)
Строительство:		
головного узла	63,1	11,4
деривации с сооружениями	122,7	22,2
напорно-станционного узла	102,3	18,4
отводящего тракта и концевого водodelителя	27,6	5,0
Объекты подсобного, производственного и обслуживающего назначения	5,7	1,1
Объекты энергетического хозяйства	5,4	1,1
Объекты транспортного хозяйства	9,3	1,7
Внешний водопровод и канализация	0,8	0,1
Благоустройство промышленной площадки	0,9	0,1
Постоянное гражданское строительство	11,9	2,1
Нелимитированные расходы и обслуживание колхозников	64,2	11,6
Содержание дирекции и подготовка кадров	0,8	0,1
Строительство временных зданий и сооружений	51,0	9,2
Приобретение строительных механизмов и средств производства	15,9	2,8
Непредвиденные расходы	12,5	2,2
Всего по Фархадской ГЭС	554,1	100
Сооружение:		
ЛЭП 110 кв	14,9	—
подстанции в Ташкенте	6,6	—
ЛЭП и подстанции в Ташкенте второй очереди	10,0	—
Всего по ЛЭП и подстанциям	31,5	—
Всего по Фархадской ГЭС, ЛЭП и подстанциям	582,7	—

Огромная левобережная раздельная стенка между водосливом и земляной плотиной возведена целиком из бетона с «изюмом» и со стенками опалубки из рваного камня на песчано-цементном растворе. Благодаря надвигке подкрановых путей такелажным способом с помощью лебедок, тросов и вантового деррика отпала необходимость в устройстве коренных лесов.

Вместо опалубки применялись стенки, сложенные из бетонитов весом 30—40 кг, возводившиеся по мере укладки бетона на высоту не более 1,7 м.

Сооружение водослива методом гребенки производилось с помощью

железобетонных шандор, уложенных впоследствии как балки служебных мостиков плотины.

Железобетонные балки автогужевого моста устанавливались при помощи специального консольного шёвра, смонтированного на порталном кране.

Все эти мероприятия значительно ускорили производство работ по сооружению плотины.

Бетонировка фундаментов, быков и устоев на высоту 4,6 м выполнена до перекрытия реки за 3 мес. С устройством на быках временного мостика был закончен первый этап строительства. Дальнейшие работы производились после переключения реки.



Рис. 38. Перекрытие в 1944 г. Сырдарьи на Фархалстрое.

По мере наращивания бетона балки мостика передвигались вверх. Это дало возможность забетонировать всю водосливную часть плотины. Подача бетона в пролеты водослива производилась с мостика через трубы диаметром 500 мм с хоботами.

Для бетонирования регулятора деривации на левом берегу реки были поставлены две бетономешалки объемом 1000 и 325 л. Бетон подавался вантовым дерриком грузоподъемностью 15 т.

Сразу же после перекрытия реки приступили к отсыпке пионерным способом четырехметрового слоя песчано-галечникового грунта в тиховод перед перемычкой. Грунт грузили на железнодорожные думпкары двумя экскаваторами с обоих берегов русла и отвозили в насыпь.

Далее приступили к сооружению двух оградительных дамб, которые должны были защитить от затопления и заиления в паводок площадку возводимой плотины.

Насыпку лессовой части плотины на подготовленном галечнике производили двумя полутракторными экскаваторами с погрузкой грунта на железнодорожные думпкары вместимостью 20 и 50 т. Карьер располагался на подходе к регулятору деривации в том месте, откуда необходимо было произвести выемку профильной кубатуры. В карьере на глубину забоя закладывали шурфы и наполняли их на несколько дней водой. Такой способ замочки давал равномерное увлажнение грунта, влажность его доходила до 15—17%.

Грунт распределяли по поверхности плотины слоями толщиной 15—

20 см и уплотняли кулачковыми катками за 12 проходов до объемного веса 1,68 против 1,45 т/м³ в материке.

Вдоль раздельной стенки плотины, у устоев регулятора и в пазухах обратных засыпок грунт разравнивали слоями по 10 см тщательной ручной трамбовкой.

Одновременно возводили низовую песчано-галечниковую призму плотины. Грунт подавали железнодорожным транспортом, разравнивали слоями 25—30 см, доводили до полного насыщения и укатывали тракторами. Средний объемный вес грунта получался равным 2,05 вместо 2,10 т/м³ по проекту.

Т а б л и ц а 5

Характеристика перекрытий Сырдарьи

Наименование показателя	Фархад- строй, 1943 г.	Кайрак- кумстрой, 1956 г.	Кзылорда- плотин- строй, 1956 г.
Ширина прорана, м	80	85	260
Расход реки, м ³ /сек	325	750	425
Удельный расход прорана, м ³ /сек	4	8,8	1,6
Перепад в конечный период закрытия прорана, м	3,50	1,27	0,90
Объем банкета, м ³	27,000	5,400	126,700
земля, м ³	—	—	117,500
песчано-галечниковый грунт, м ³	—	2,200	
горная масса, м ³	—	2,200	
щебенка, м ³	5,000	—	—
камень весом 10—40 кг, м ³	22,000	—	5,200
камень весом 0,5—1,2 кг, м ³	—	2,500	—
бетонные пирамиды и кубы весом 2—5 т, м ³	—	700	—
фашины, м ³	—	—	4,000
сипан, шт.	13	—	—
Удельный объем банкета на 1 пог. м прорана, м ³	337	64	452
Длительность перекрытия, сутки	40	2	15
Интенсивность отсыпки на 1 пог. м прорана, м ³ /час	8,6	2,6	31

Последние 4 м плотины возведены мокрым способом отсыпки лесса в воду. Сначала делали оградительные валики и напускали воду слоем 15—20 см. Далее методом надвижки насыпали слой лесса толщиной 25—30 см и т. д. Средний объемный вес грунта при этом получился равным 1,52 т/м³. Этим же методом при отсутствии тракторов и горючего возвели дамбы деривации объемом около 1,5 млн. м³. Дамбы высотой до 10 м отличались большой прочностью. Плотность уложенного в них супесчанистого мелкозема оказалась равной или выше материковой, трещины в них отсутствовали. Тщательно произвели подготовку основания под тело земляной плотины.

Эксплуатация гидроузла и размыв скалы
в нижнем бьефе водосливной плотины

В первые годы эксплуатации плотины в нижнем бьефе водослива произошел глубокий размыв скалы, угрожавший целости всего сооружения. Он был обусловлен следующими причинами.

1. Плотина возведена в обводном русле Сырдарьи в песчаниках объемным весом 3 т/м^3 с временным сопротивлением на сжатие $200\text{—}400 \text{ кг/см}^2$, изрезанных трещинами, образовавшимися в четыре геологических периода.

В 1943 г. при вскрытии котлована обводного русла обнаружены линзовидные и заполненные брекчией косые трещины, явившиеся центрами размыва, глубиной до 13 м. Трещины расчищали с поверхности и заделывали бетоном, но недостаточно глубоко.

Большой объемный вес и временное сопротивление скалы не защитили ее от разрушения потоком. Наличие трещин в скале явилось одной из главных причин глубокого размыва.

2. Водослив плотины снабжен обратным носком, который возвышается на 6 м над дном обводного русла, отбрасывая воду на 25—30 м от низового зуба плотины. Это привело к ухудшению донного режима и резкому увеличению нагрузки на скалу до 7 т/м^2 с периодами в 0,2—0,3 сек, что должно было вызвать ее сотрясение. Напротив 2-го и 3-го пролетов падающий поток попадал в слабую зону линзовидной трещины разлома, заполненной глиной.

3. Крепление скалы за водосливом до пуска воды по проекту не было предусмотрено. Лишь после пуска воды встал вопрос об устройстве бетонной ложки.

4. Дно обводного русла приподнято по проекту на 3,35 м над бытовым дном реки, и плотина оказалась как бы на возвышении. Это значительно уменьшило объемы выемки скалы и укладки бетона, однако затруднило перекрытие реки и ухудшило условия протекания потока в нижнем бьефе.

5. Удельный расход воды на водосливе при пропуске катастрофического паводка составлял по проекту $50 \text{ м}^3/\text{сек}$, фактически при бетонировке пролетов водослива методом гребенки при расходах реки $1000\text{—}1500 \text{ м}^3/\text{сек}$ он достигал $50\text{—}60 \text{ м}^3/\text{сек}$, что объяснялось неравномерным открытием отверстий. Перегруженными оказались 2-й и 3-й пролеты, где глубина размыва была максимальной.

Все это способствовало образованию за водосливом глубокой воронки размыва, которая могла привести к опрокидыванию, скольжению сооружения и фильтрации под водосливом. Мероприятия, срочно проведенные Фархадстроем, обеспечили сохранность гидроузла и его бесперебойную работу.

Прохождение потока в нижнем бьефе сопровождалось следующими неблагоприятными явлениями:

1) после пропуска (в начале 1944 г.) воды при разности отметок обводного русла и дна реки 3,35 м поток устремился в левую половину русла, размывая левый галечниковый берег высотой 6 м. Ниже образовалась обратная излучина, на вогнутой части которой начался подмыв правого берега реки, угрожавший проходящему рядом руслу старого канала Дальверзин. Опасное положение ликвидировали установкой 10 сипайных шпор, загруженных камышом и камнем. Опасность размыва окончательно миновала после переключения в 1948 г. канала на новое русло в скале;

2) в паводок 1949 г. при расходе реки $2200 \text{ м}^3/\text{сек}$ размыв левого берега усилился, создалась угроза подхода его к деривации. От г. Бекабада срочно проложили ширококолейную железную дорогу, началась интенсивная подвозка камня из карьера. Камень сваливался под обрыв на участок подмыва длиной 350 м. Размыв быстро прекратился;

3) протекание потока в нижнем бьефе непосредственно за водосливом носило бурный и турбулентный характер с внезапными изменениями уровня воды, выбросами ее вверх и устремлением всей массы справа

налево к раздельной стенке и к выходу из воронки размыва в пониженное русло напротив 2-го и 3-го пролетов.

Воронку размыва полностью осушили и обнаружили колоссальные разрушения скального дна, угрожавшие целостности плотины.

Ориентировочные объемы размытой скалы и уложенного бетонного крепления в нижнем бьефе плотины указаны ниже:

Годы	Максимальная глубина размыва, м	Объем, тыс. м ³	
		размытой скалы	уложен- ного бе- тона
1944—1948	10,5	10	
1949	12	7,5	3,5
1950	13	3,2	7
1951	13	1,3	1,5
1952—1956	—	1	3
Всего	—	23	15

Экстренно произвели расчистку скалы от камня, щебенки и дресвы и уложили 3,5 тыс. м³ бетона, после чего за низовым зубом водослива образовался мощный бетонный «фартук». Это придало устойчивость сооружению и исключило возможность фильтрации под водосливом. Позже забетонировали «ложку» проектного очертания.

За воронкой поперек всего русла реки на поверхности скалы уложили бетонный барраж распластанного профиля. Чтобы избежать свала потока влево, гребень его повысили на 0,62 м. Назначение барража состояло в недопущении прорыва воронки размыва, увеличении глубины ее наполнения и выравнивании всего потока. Это мероприятие впоследствии полностью себя оправдало.

Исследования по размыву нижнего бьефа водослива

Исследования работы водослива на пространственной модели с размываемым дном, выполненные ВНИИГ в 1943 г. для расхода 5 200 м³/сек, показали, что максимальная глубина размыва достигает 25—30 м от низового зуба, причем на длине 10—15 м за зубом размыва не происходит. Поэтому было дано заключение о возможности пропуска паводка 1944 г. без крепления за плотиной.

Основные гидравлические показатели водослива имеют следующие значения: максимальный удельный расход — 50 м³/сек; разность горизонтов воды между бьефами в межень — 18 м; высота переливающегося слоя воды при НПГ — 9 м.

Институт сооружений АН УзССР (С. Т. Алтуний, Н. Т. Смольянинов и др.) в 1948—1951 гг. провел наблюдения в натуре и на моделях и сделал соответствующие выводы, которые вкратце заключаются в следующем.

1. Теоретические расчеты глубины местного размыва за водосливом по формулам Патрашева, Замарина, Вызго, Шоклича дают расхождения до 400%.

При попытке заменить теоретические расчеты модельными исследованиями возникли трудности пересчета местных глубин и наносов с модели на натуру. Скальную породу условно заменили крупным песком средним диаметром 4,3 мм.

По данным опытов на модели выяснили, что при симметричном открытии щитов глубина воронки размыва может увеличиться до 20 м на расстоянии 25—30 м от водослива, поэтому необходимо крепление всего дна.

2. Размыв воронки производится основной струей, направленной при донном режиме к дну, и значительно уменьшается при поверхностном режиме, который устанавливается для проектной конструкции водослива при подпоре горизонта воды с нижнего бьефа 4,5—5 м.

3. Применение на самом водосливе трамплинов не дает заметного уменьшения размыва. Большие удельные расходы и приподнятый на 6 м носок не приводят к разделению потока на отдельные струи. Нельзя добиться и встречного движения струй для гашения вредной энергии.

Наилучшие результаты получаются при переводе донного режима в поверхностный. Такой перевод достигается срезкой низового носка на 4 м, удлинением профиля на 6,5 м и устройством барража высотой 2,5 м.

4. Дальнейшее заглубление воронки может быть прекращено при устройстве бетонного крепления дна в виде «ложки» по типу облегченного водобойного колодца длиной 50 и глубиной 8 м.

5. Измерения трубками гидродинамического давления падающей струи на дне «ложки» показали непрерывное движение жидкости во всех трубках. Колебания давления происходили в виде ударов с периодами 0,5—1 сек и изменялись в пределах 1,5—7,5 м. Воздействие струи на дно напоминало бомбардировку поверхности бетона. При таких условиях трещиноватая скала подвергалась быстрому распаду, который значительно увеличивался при замерзании воды в трещинах обнаженной скалы.

6. Модельное исследование протекания через барраж расхода воды 2000 м³/сек показало увеличение удельных расходов и скоростей от левого к пониженному правому его концу. Соединение потоков, сходящих с возвышенной плиты правого берега и правого конца барража, создает мощное винтовое движение, для избежания которого требуется срезка конца этой плиты. Строители вовремя и успешно провели омоноличивание скального дна заливкой бетоном всех неровностей и углублений скалы. Такое же омоноличивание скалы произвели вдоль возвышенной бетонной плиты правого берега и против «ложки» 7-го пролета вместо рекомендованной плиты с гасителями.

Заглубление галечного дна против левого конца барража предотвратили укладкой связанных арматурой железобетонных кубов с ребром 0,8 м и рекомендовали поддержание этого крепления в надлежащем состоянии.

КУРШАБСКАЯ ПЛОТИНА (КиргССР)

Плотина на р. Куршаб (приток Карадарьи) построена в 1955 г. для обеспечения питанием правобережного канала Отузадыр (6,5 м³/сек) и левобережного Кочкарата (13,5 м³/сек).

До постройки плотины захватные шпоры старого водозабора постоянно разрушались, в каналы попадало много донных наносов. Центральный лобовой водозабор вновь сооруженной плотины осуществлен по принципу послойности потока с использованием местных условий поперечной циркуляции, улучшенных струенаправляющими дамбами.

Водный узел расположен в корытообразном каньоне, сложенном песчаниками, на расстоянии 1 км до выхода его в Куршабскую долину. Русло реки проходит в гравийно-булыжных отложениях крупностью до 15 см и более. Основание плотины заложено на слабосцементированных галечниках диаметром до 35 см.

Бытовой уклон дна реки изменяется от 0,003 до 0,008. Максималь-

ный наблюдаемый расход 197, минимальный — 10 м³/сек. Скорости течения изменяются от 1,5 до 5 м/сек. Паводки, проходящие в мае—июне, отличаются внезапностью, бурностью, большим количеством доинных и взвешенных наносов.

Плотина состоит из трехъярусной конструкции центрального лобового водозабора, сброса для шуги и наносов и левобережного автоматического водослива.

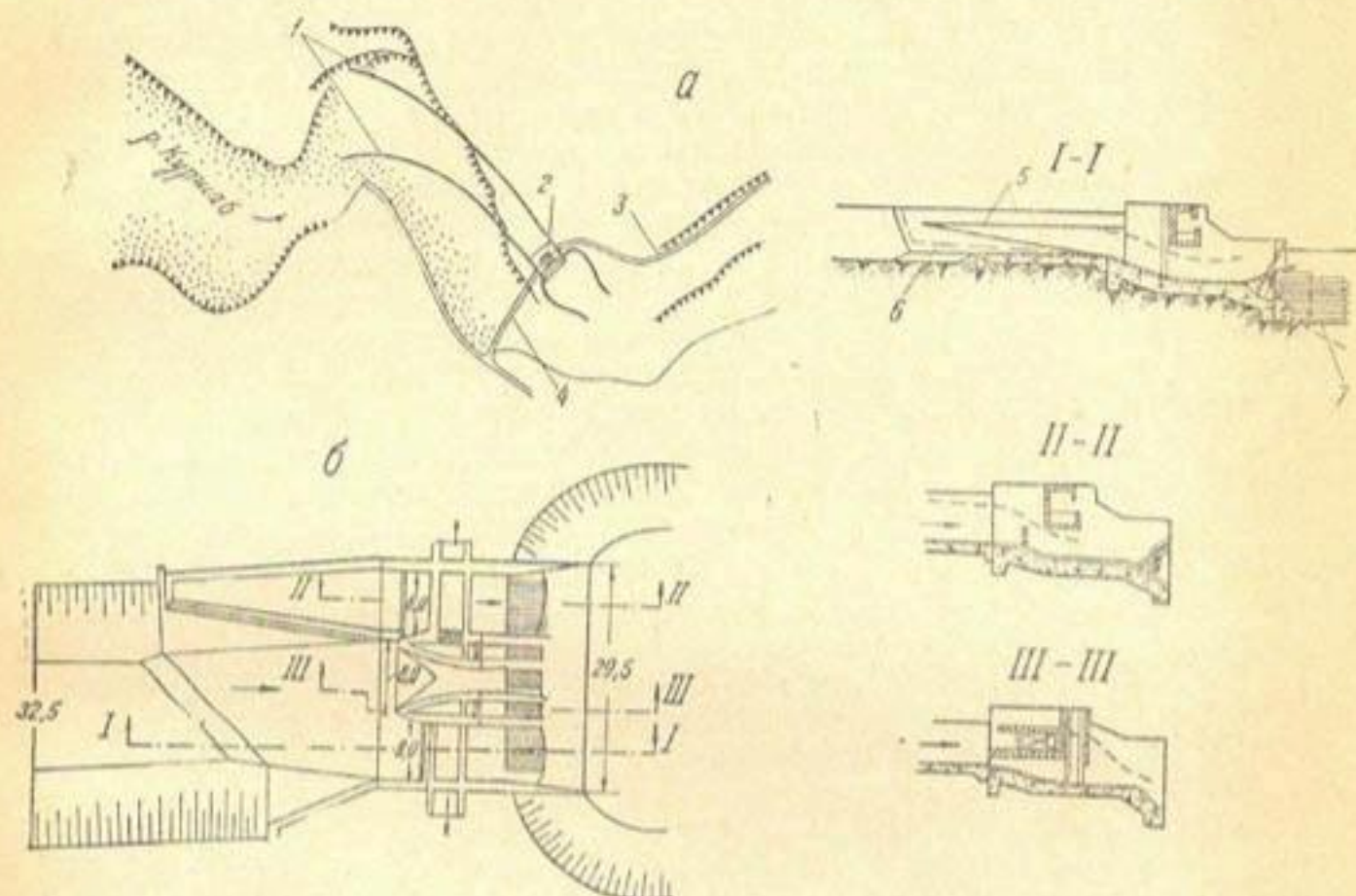


Рис. 39. Схема Куршабской плотины на р. Куршаб:

а—план участка реки и плотины; *б*—горизонтальный разрез конструкции плотины; I—I—по оси шлюзового сброса; II—II—по траншейному сбросу; III—III—по оси донных галерей; 1—струенная направляющая дамбы; 2—плотина; 3—левобережный канал Кочкарата; 4—правобережный канал Отуздыр; 5—гребень катастрофического водослива; 6—дно траншейного сброса; 7—гребенчатый расщепитель (размеры в метрах).

Аванкамера забирает воду из средних слоев, свободных от наносов и шуги. Из нее вода проходит в каналы открытыми поперечными лотками-акведуками (рис. 39). Под аванкамерой расположены две промывные галереи сечением по 1 × 3,5 м для пропуска расхода до 60 м³/сек. Плоские металлические щиты с подъемниками находятся на выходе из галерей.

Над аванкамерой по оси сооружения помещается шугосбросной лоток глубиной наполнения 0,8 м, переменной шириной от 7,5 до 3 м, рассчитанный на пропуск расхода 3 м³/сек.

Щитовой водосброс имеет 8-метровый пролет, перекрытый плоским металлическим затвором, предназначенный для пропуска части паводка в 120 м³/сек, регулирования расходов и промывки верхнего бьефа.

Катастрофический водослив длиной 30 м служит для автоматического пропуска внезапных паводков, которые через его траншейный сброс поступают в отводящее русло.

Рисбермы нет. Короткий водобой заканчивается наклонным гребенчатым расщепителем, разбивающим поток на мелкие струи и отбрасывающим его от низового зуба. Исследования показали, что в придонных слоях возникают обратные токи, удерживающие частицы грунта за

низовым зубом. Понур устроен с обратным уклоном в сторону верхнего бьефа, короткий водобой наклонен в сторону нижнего бьефа.

Слабая криволинейность подводящего русла в плане и большие скорости течения создают поперечную циркуляцию потока с отвлечением в паводок части наносов к расположенному на выпуклом правом берегу щитовому сбросу. Пропуск излишних расходов из-под щита также способствует созданию поперечных донных токов перед водоприемником [22, 23]. Сочетание водослива и щитового сброса дает возможность без специальных промывок вести непрерывную борьбу с донными наносами. Поднятие горизонта воды перед плотиной на 0,5 м создает спокойный режим входа и гарантирует водозабор в межень.

Борьба с наносами в паводок ведется главным образом путем сброса их из-под щита и частично через промывные галереи. В межень, когда количество воды минимальное, промывка наносов проводится только через галереи с использованием «гидравлического экранирования». При поступлении сравнительно малого расхода воды в водоприемник наблюдается внезапное торможение движения поверхностного слоя, увеличение глубины и повышение давления на величину потерянной скорости, причем часть кинетической энергии преобразуется в потенциальную. В то же время перед входом в нижерасположенные промывные галереи создается область пониженного давления. При движении воды из области повышенного давления в область пониженного в вертикальных плоскостях развиваются явления поперечной циркуляции, перед водоприемником создается зона чистой воды, а перед донными галереями — зона с наносами.

Вода из водоприемников отводится в каналы через открытые железобетонные лотки. Это снижает потерю напора, наблюдающуюся при отводе воды дюкером или потерной, и облегчает борьбу с плавающими наносами.

Сравнительно большие подходные скорости не могут обеспечить спокойный забор воды в поперечные лотки, поэтому на их входах сделаны забральные стенки обтекаемой формы, которые также направляют в шугосброс донные наносы.

Перед промывными галереями на уровне их потолка устроены небольшие горизонтальные полки, отодвигающие взмучивающие вальцы, образующиеся перед порогом водоприемника.

С постройкой плотины надобность в прежних трудоемких регулировочных работах отпала, донные наносы в каналы не поступают.

К недостаткам сооружения относится сложность строительства трехэтажной железобетонной конструкции, интенсивный износ облицовки бетона водобоя, необходимость производства ремонтных работ.

В результате осмотра гидроузла в декабре 1963 г. после 10-летней его эксплуатации комиссия отметила следующее:

- 1) общий износ чугунной облицовки с образованием местами каверн под плитами глубиной до 35 см, происшедшей частично вследствие плохого качества отбетки;

- 2) хорошую работу образованного чугунными плитами опорного бруса в главном речном пролете и вместе с тем полное истирание обычного швеллера в промывной галерее;

- 3) заклинивание затвора речного пролета, возникшее в результате отсутствия боковых упорных катков;

- 4) неплавное очертание правобережной струенаправляющей дамбы, допущенное при производстве ремонтных работ и строительстве головного регулятора обводного русла, увеличивающее попадание в каналы наносов;

5) исправную работу выносных полок в пролетах донных галерей, а также зубьев гребенчатой консоли при глубине размыва у низового зуба водобоя, не превышающей проектную.

Комиссией даны рекомендации по улучшению эксплуатации водозаборных узлов Киргизии:

1) устанавливать на головных участках каналов гравиепесколовки конструкции Г. В. Соболина (Киргизгипроводхоз), а несколько ниже — отстойные бассейны для механической очистки более мелких фракций;

2) производить периодический смыв наносов через плотину при максимальных расходах реки;

3) не применять на водобоях пластобетон из фурфурола, пока не будут изучены его свойства и улучшено качество;

4) изготавливать более долговечную чугунную или же гранитную облицовку с использованием нового метода резки газовой струей.

КЗЫЛ-ОрДИНСКАЯ ПЛОТИНА НА СЫРДАРЬЕ (КазССР)

Весенняя и осенняя нехватка воды в Сырдарье мешала дальнейшему развитию в ее бассейне орошаемого земледелия. Для разрешения этого вопроса в среднем течении реки, у г. Ленинабада ТаджССР, в 1951 г. было начато сооружение Кайраккумской ГЭС с водохранилищем емкостью 4,16 км³, которое является самым большим в Средней Азии. В 1956 г. работы были закончены и в водохранилище стали собирать воду с целью использования ее на орошение в маловодные периоды.

Однако это мероприятие решало не полностью задачи обеспечения водой низовьев Сырдарьи, где имеется около 140 мелких оросительных систем и более 100 каналов, водозабор в которые затруднен, а при осенних снижениях горизонтов воды в реке иногда и невозможен.

Осенью 1956—1957 гг. из водохранилища было сброшено свыше 1 км³ воды для орошения посевов риса. Но большая часть воды уходила без использования на ирригацию в Аральское море. Так повторялось в последующие годы и эффект от сооружения Кайраккумского водохранилища терялся.

В проекте Кайраккумской ГЭС предусматривалось также строительство четырех низких водоподъемных плотин, которые должны были повышать по мере надобности горизонт воды реки и тем самым обеспечивать необходимый водозабор.

Первая из этих плотин — Кзыл-Ординская — сооружалась около г. Кзыл-Орды одновременно с Кайраккумской ГЭС и введена в эксплуатацию в 1957 г., вторая — около г. Казалинска в 1964 г. В настоящее время заканчивается строительство Чардаринской плотины с водохранилищем емкостью 5,7 км³. Надо полагать, что затруднения с водозабором в низовьях Сырдарьи в результате этих мероприятий будут ликвидированы.

Кзыл-Ординская плотина должна также обеспечить новое орошение 120 тыс. га земель, предназначенных под посевы риса, и обводнить 2 млн. га пастбищ.

Русло Сырдарьи на участке расположения этого узла чрезвычайно извилисто. Ширина водного зеркала в межень составляет 120—300 м, в паводки образуются разливы, достигающие нескольких километров. Средние скорости течения воды колеблются от 0,5 до 1,7 м/сек.

Расходы реки в створе плотины: максимальный 0,1 %-ной обеспеченности 2150 м³/сек, максимальный наблюдаемый 1700 м³/сек, меженный около 400 м³/сек. Средний уклон на участке плотины 0,00009. Максимальная мутность 6,4 кг/м³.

Сооружение расположено на мелкозернистых пылеватых песках,

приобретающих в воде свойства плавучих с незначительными линзовидными прослойками суглинков, супесей и глин.

Кзыл-Ординская плотина — первая крупная плотина Средней Азии, построенная по принципу отсоса наносов под порог (рис. 40 и 41). Состоит она из средней щитовой железобетонной части, фронтально расположен-

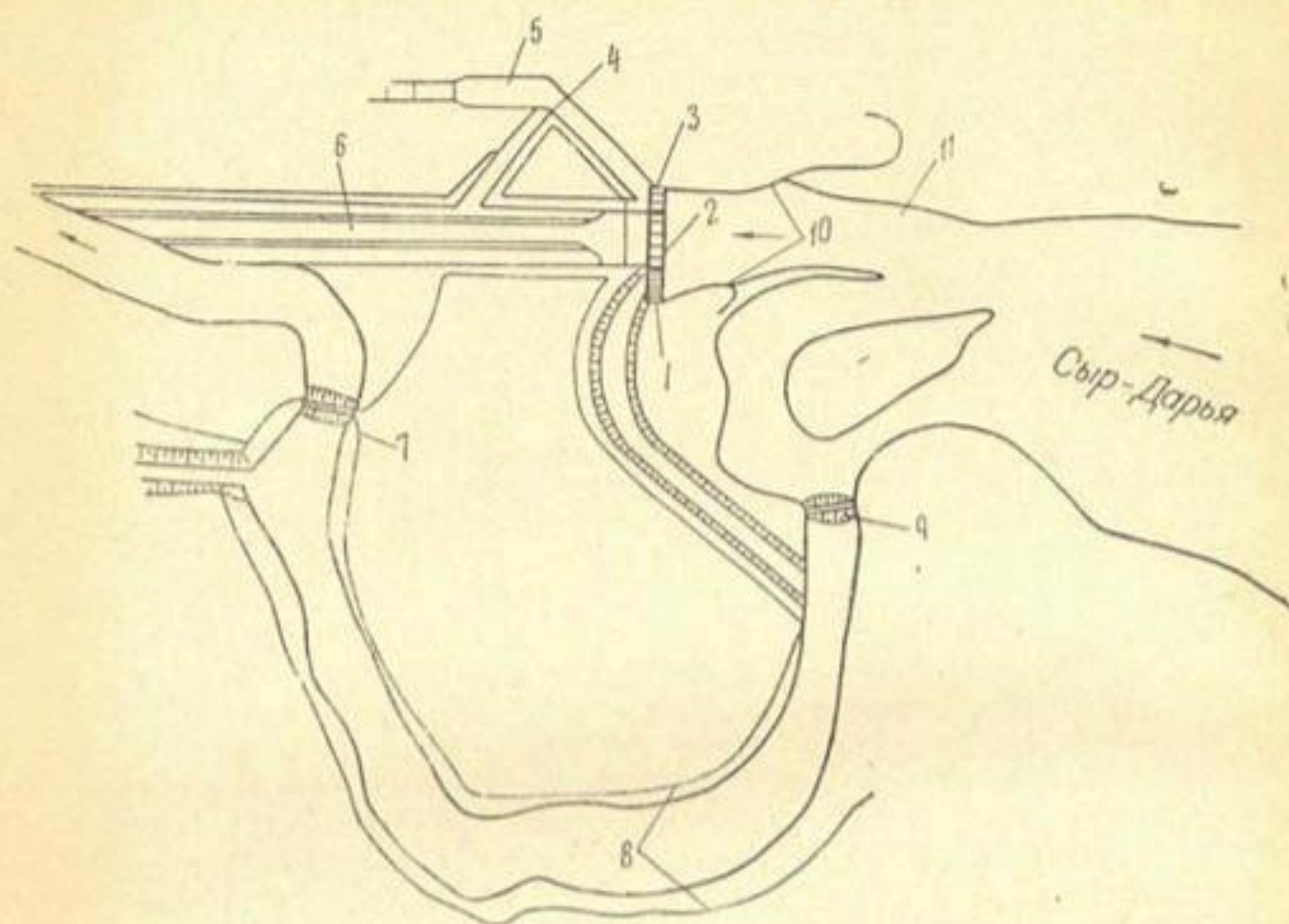


Рис. 40. План расположения Кзыл-Ординского гидроузла на Сырдарье:

1—регулятор левобережного канала; 2—щитовая плотина; 3—регулятор правобережного канала; 4—обходное сооружение; 5—отстойник; 6—спрямленное отводящее русло Сырдарьи; 7—низовая перемычка; 8—оградительные дамбы; 9—верховая перемычка; 10—струенаправляющие верхние дамбы; 11—подводящее русло Сырдарьи.

ных по ее оси правобережного и левобережного регуляторов с донными промывными галереями, подводящего и отводящего русел реки и струенаправляющих сооружений. Пропускная способность плотины при НПГ 1510 м³/сек, левобережного регулятора 208 м³/сек, правобережного регулятора 110 м³/сек. Плотина занимает среднюю часть ширины реки.

По рекомендациям САНИИРИ, подводящее русло реки криволинейно в плане с левым подходом потока к сооружению.

В целях предохранения берегов от подмыва и создания плавного криволинейного подхода потока к плотине на участках верхних дамб сооружены струенаправляющие дамбы.

Перекрытие реки

Плотина сооружена в искусственном отводящем русле [19]. После пропуска через старое русло 60% расхода реки его необходимо было закрыть.

Сырдарья ранее дважды перекрывалась методом отсыпки камня с понтоного моста в воду: на Фархадстрое в 1943 г. и на Кайраккумстрое в 1956 г. В третий раз ее перекрыли пионерным способом—надвижкой грунта и других материалов с обоих берегов в реку — в 1956 г. у Кзыл-Орды,

что при наличии легко размываемого ложа реки явилось большим достижением строителей, так как проектная стоимость работ в 573 тыс. руб. при этом методе была снижена более чем на 200 тыс. руб. кроме того, отпала необходимость монтажа понтонного моста и четырех понтонов стоимостью 300 тыс. руб.

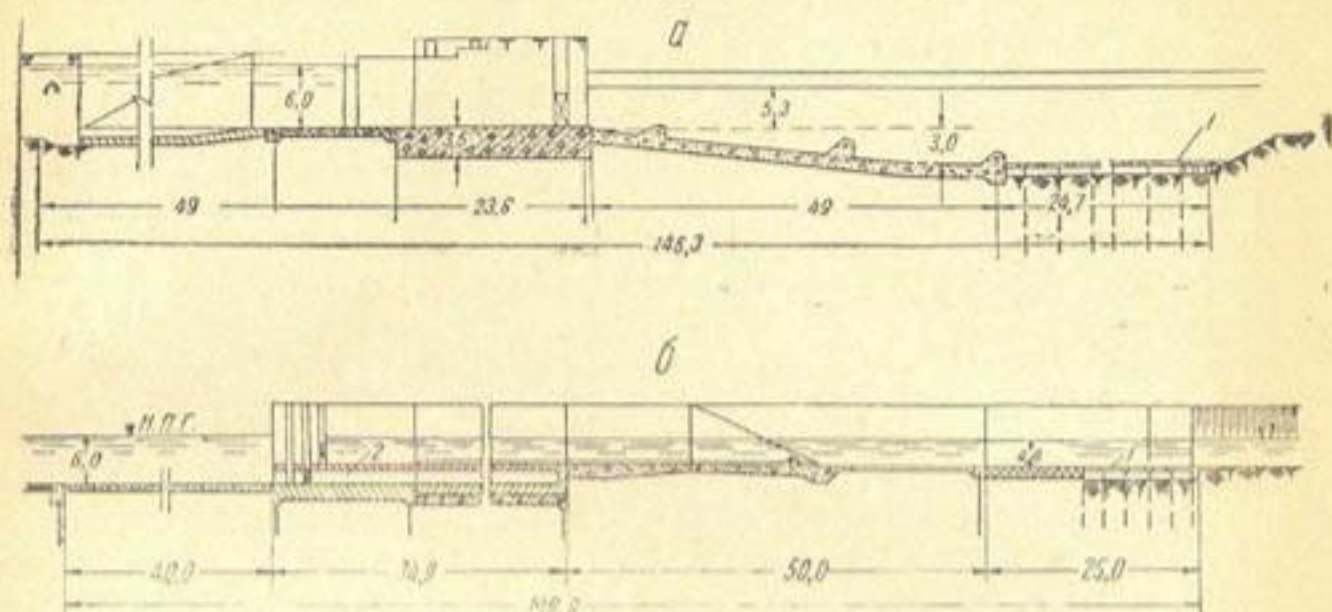


Рис. 41. Продольные разрезы Кызыл-Ординской плотины:

а—разрез по оси шлюзовой плотины; б—разрез по оси головного регулятора; 1—пола уральского типа; 2—промывные галереи (размеры в метрах).

Разница проектных и фактических объемов работ следующая:

	По проекту	Фактически
Грунтотермалы	—	117,5 тыс. м ³
Песчано-гравийный материал	12 тыс. м ³	—
Камень и щебень	20 "	5,2 "
Хворостяные тюфяки	—	11,4 тыс. м ³

Перекрытие русла (см. рис. 40) предполагали произвести весной 1956 г., пропуская воду через новые головы каналов. При величине створа перекрытия 260 м середину дна на длине 140 м в январе—марте закрепили хворостяными тюфяками с пригрузкой их камнем через майны, проделанные во льду. Полоса крепления имела ширину от 30 до 60 м. На обоих берегах заготовили около 60 тыс. м³ грунта.

С середины апреля начался внезапный паводок, и перекрытие пришлось перенести на осень. За это время произошел размыв незакрепленного берега, он отошел вправо на 40 м, заглубление дна достигло 4 м, над тюфяками отлагались наносы, общая ширина незакрепленного дна у правого берега составила 110 м.

В июне были открыты перемычки в подводящем и отводящем руслах. Перекрытие створа начали одновременно от обоих берегов при расходе реки 600 м³/сек. За сутки семь бульдозеров отсыпали лишь 5 тыс. м³ грунта вместо расчетных 8 тыс. м³. Трудности отсыпки возрастали с удлинением перемычки и увеличением количества грунта, смываемого вниз. На третий день работ по перекрытию пришлось продвигаться вперед укладкой хворостяно-каменных карабур. Но часть тюфяков из-за размыва дна осела на глубину от 1,5 до 5,5 м и перекрытие было приостановлено на три дня. Решено было заготовить сетки объемом по 1 м³, наполненные камнем, которые сбрасывали с барж по всему фронту прорана. Однако при перепаде воды 0,83 м и скорости течения 4 м/сек сетки сноси-

лись потоком вниз. Тогда начали заполнять проран цепочками из 3—4 сеток с камнем, передвигая их в воду бульдозерами.

На 14-й день позади туюфяков образовались воронки размыва глубиной до 16 м, куда сползал нижний откос перемычки. Все усилия в течение нескольких часов были направлены на его укрепление каменными цепочками.

К концу 15-го дня проран удалось закрыть. Расход реки в это время составлял $425 \text{ м}^3/\text{сек}$ при перепаде 1,15 м вместо расчетного 0,91 м.

Несмотря на то, что был упущен весенний период, не хватало механизмов и транспортных средств, перекрытие Сырдарьи пионерным способом было успешно завершено при значительном снижении стоимости работ.

Эксплуатация и исследования узла

Затруднения с водозабором на плотинах Средней Азии в большинстве случаев происходили от того, что руслообразующие факторы в верхнем и нижнем бьефах были недостаточно изучены. Поэтому большой интерес представляют полевые исследования САНИИРИ и ИВПиГ, проведенные в первые годы эксплуатации Кзыл-Ординского узла (рис. 42).

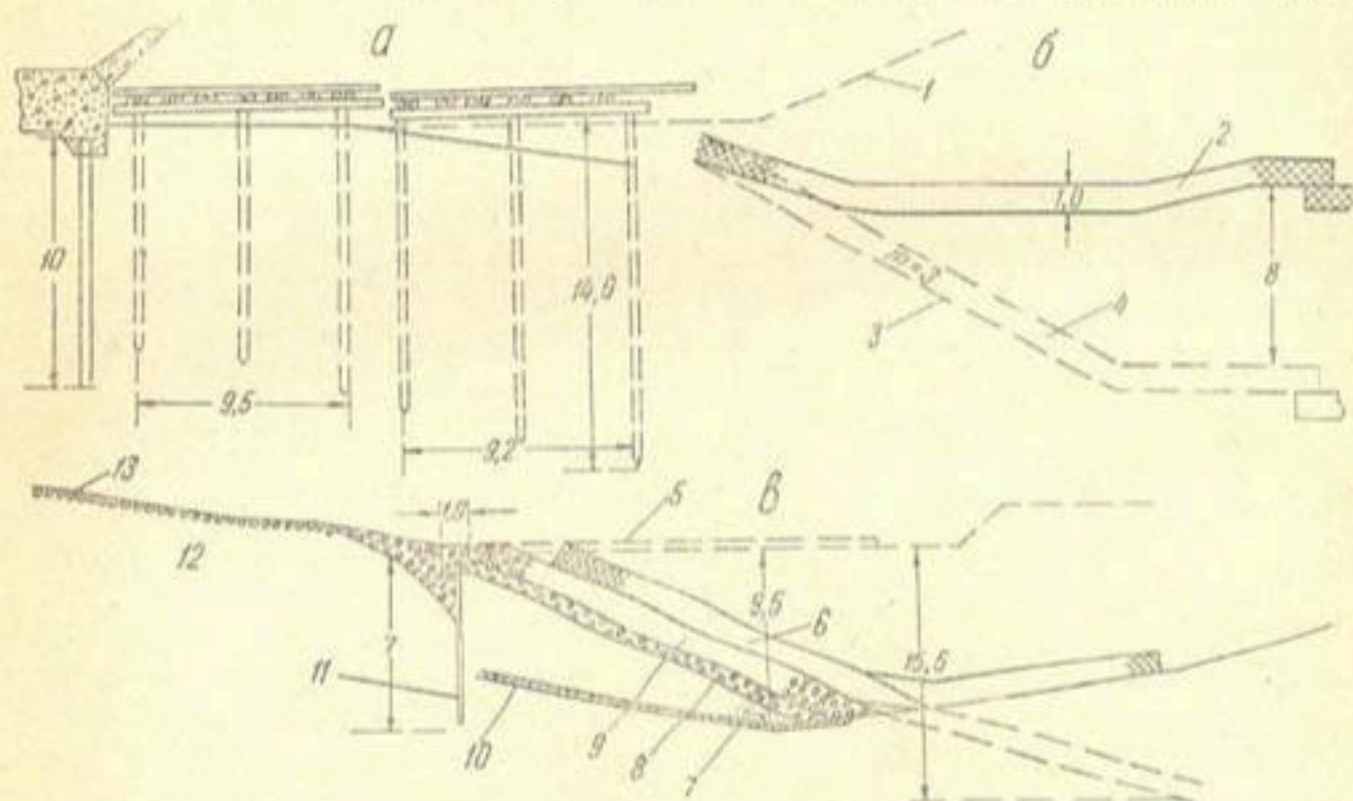


Рис. 42. Крепление нижнего бьефа Кзыл-Ординской плотины;

а — под уральского типа; *б* — каменно-хворостяные туюфяки, заменившие разрушенный под уральского типа; *в* — укрепления береговой дамбы: 1 — начальная линия дна реки; 2 — каменно-хворостяные туюфяки размером 32×15 м; 3 — линии намыва грунта под туюфяки; 4 — предполагаемое положение туюфяков; 5 — начальное положение железобетонного туюфяка; 6 — каменно-хворостяные туюфяки размером 55×15 м; 7 — шаггал; 8 — гравий; 9 — камень; 10 — положение железобетонного туюфяка в октябре 1957 г.; 11 — деревянная свая; 12 — дамба; 13 — отмостка (размеры в метрах).

В результате многочисленных наблюдений в натуре выявлено три стадии формирования русел у плотин:

- 1) заиление верхнего и общее понижение нижнего бьефов;
- 2) начало поступления наносов в нижний бьеф;
- 3) полное занесение верхнего бьефа и восстановление в реке такой транспортирующей способности, какая была до постройки плотины.

В первые годы работы Кзыл-Ординской плотины эти явления происходили иначе. Подпор в верхнем бьефе вызвал повышение горизонта воды до отметок паводков с образованием по сильно блуждающей пойме небольших спрямляющих протоков, которые при больших уклонах и ско-

ростях течения быстро разрабатывались. Произошло спрямление двух больших излучин выше плотины. Длина реки сократилась на 6 км и образовалось два перепада в 0,5 и 1,2 м, передвигавшихся вверх. Условия подхода реки к плотине после спрямления также изменились: усилился навал воды на оголовки верховой груши левобережной струенаправляющей дамбы перед плотинной с размывом дна до 9 м, после чего река отклонилась вправо, подмыла расположенную перед плотинной правобережную дамбу на глубину 7 м.

Результаты опытов, проведенных ИВПиГ на модели Кзыл-Ординского узла, показали, что при прямолинейном очертании подводящего русла с фронтальным расположением плотины и регуляторов и при неравномерном водозаборе на оба берега река разбивается на два рукава, создается возможность образования поперечных токов вдоль плотины, что приводит к винтовому движению воды, взмучиванию и увеличению попадания наносов в каналы.

Значительная мутность забираемой воды подтверждает необходимость устройства на головных частях каналов в низовьях Сырдарьи отстойников периодического действия.

КАЗАЛИНСКАЯ ПЛОТИНА НА СЫРДАРЬЕ (КазССР)

При составлении проекта Казалинской плотины в Средазгипроводхлопкоме в 1959 г. учтен предыдущий опыт проектирования, строительства и эксплуатации в Средней Азии плотин с послойным водозабором, а также использованы результаты опытов, проведенных в САНИИРИ на моделях.

Строительство плотины начато в 1963 г. на Сырдарье в 32 км выше г. Казалинска. Назначение узла — подача в каналы обоих берегов воды для орошения прилегающих земель, обводнение озерных систем с рыбохозяйственной целью.

Расходы каналов при рабочем напоре 4,8 м составляют: левобережный ирригационный 100 м³/сек, левобережный рыбохозяйственный 30 м³/сек, правобережный ирригационный 85 м³/сек.

Расходы реки с учетом заканчивающегося строительства Чардаринского водохранилища приняты: расчетный 0,5%-ной обеспеченности 810 м³/сек, летний от 185 до 545 м³/сек, максимальный зимний 200 м³/сек.

Амплитуда колебаний уровня воды в реке достигает 4 м, причем при тяжелых условиях шуго-ледового режима зимний горизонт примерно на 1 м превышает максимальный летний.

Такие же явления наблюдались иногда на Сырдарье у г. Ленинабада до образования Кайраккумского водохранилища.

Русло реки в районе плотины имеет устойчивые берега, подвижное песчаное наносное дно, подстилаемое прослойками зеленой глины и песчаника, средний уклон его 0,000136.

По измерениям Казалинской гидрометрической станции, в многоводном 1954 г. в створе реки прошло 53,2 млн. т взвешенных наносов. При расходе 810 м³/сек максимальное содержание их, по материалам обработки, достигает 2,9 г/л. Движение донных наносов невелико, степень насыщенности пока не установлена.

Состав наносов по фракциям:

Размер фракций, мм	Взвешенные, %	Донные, %
1—0,25	0,20	20,5
0,25—0,10	16,9	75,3
0,10—0,00,5	18,9	2,5
0,05—0,01	39,8	1,4
0,01	24,2	0,3

Средняя длительность ледостава составляет 116 суток, подвижных ледообразований до ледостава — 13 суток; последние наиболее опасны, так как вызывают внезапные поднятия воды. Ярким примером этого служит катастрофическое положение, создавшееся у г. Ленинабада в 1956 г., когда уровень воды в реке внезапно повысился на 4 м [38].

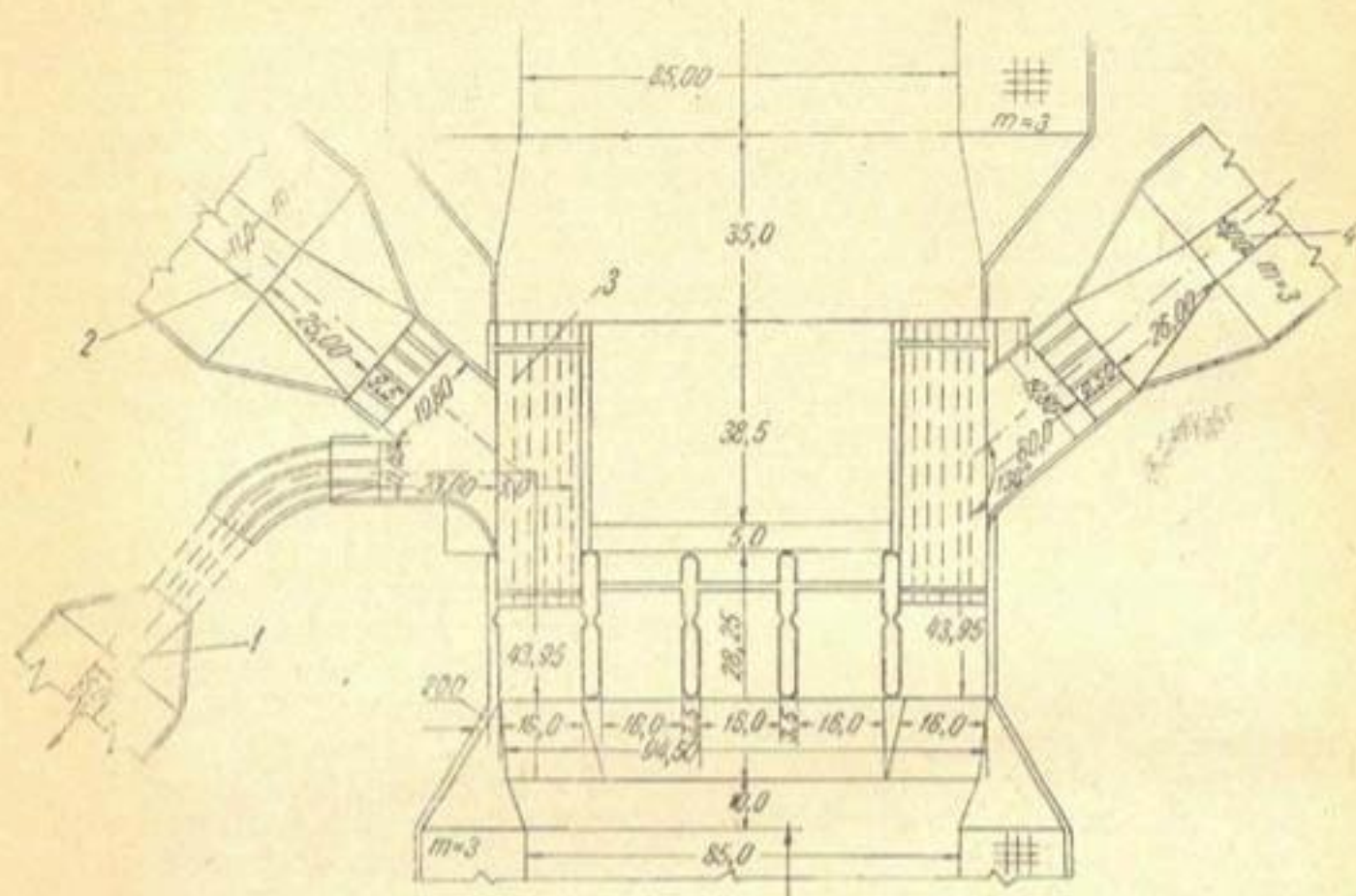


Рис. 43. План Казалинской плотины на Сырдарье по первому варианту 1959 г.:

1—рыбохозяйственный канал; 2—ирригационный канал; 3—промывные галереи; 4—правобережный ирригационно-рыбохозяйственный канал (размеры в метрах).

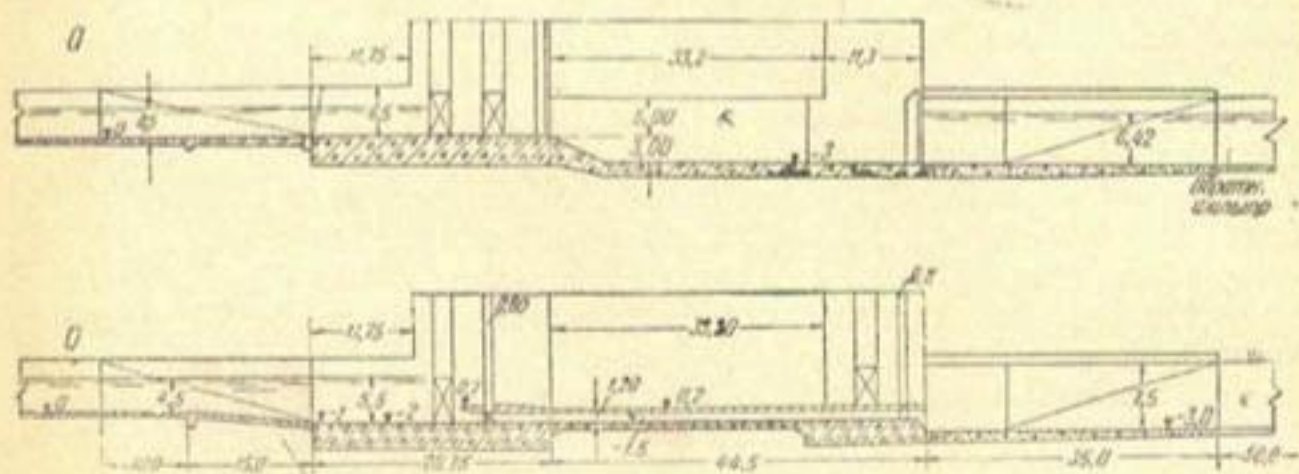


Рис. 44. Продольные разрезы Казалинской плотины на Сырдарье:

а—разрез по шлюзовому отверстию плотины; б—разрез по промывному отверстию (размеры в метрах).

Первоначальная конструкция гидроузла видна на рис. 43 и 44. Плотина разборчатого типа с тремя пролетами по 16 м расположена в прокопе между двумя излучинами реки нормально к оси прямолинейного подводящего русла длиной около 1,5 км. Прокоп имеет трапециевидное сечение, откосы 3 : 1, зеркало воды 112 м. У отводящего русла длиной

3 км сечение такое же. Порог плотины заложен на средней отметке дна русла, а промывных галерей на 1,5 м ниже. Напор на пороге плотины составляет 4,5 м, что на 0,5 м превышает бытовой горизонт реки. Протяжение дамб обвалования перед плотиной около 40 км. В обход плотины предусмотрено устройство рыбохода и судоходного шлюза. Промывные карманы обоих берегов расположены фронтально на двух крайних пролетах по 16 м. Верхние ярусы карманов входят в аванкамеры двух косо отходящих от них регуляторов, а нижние имеют по шесть прямолинейно выходящих в нижний бьеф плотины облицованных железобетонных галерей сечением по $2,25 \times 1,20$ м. Верхние, передние по течению, затворы карманов снабжены откидными козырьками для пропуска из верхнего бьефа в нижний льда и шуги. В конце каждой галереи размещено по одному промывному затвору, в начале — по одному для каждого кармана передвижному ремонтному затвору.

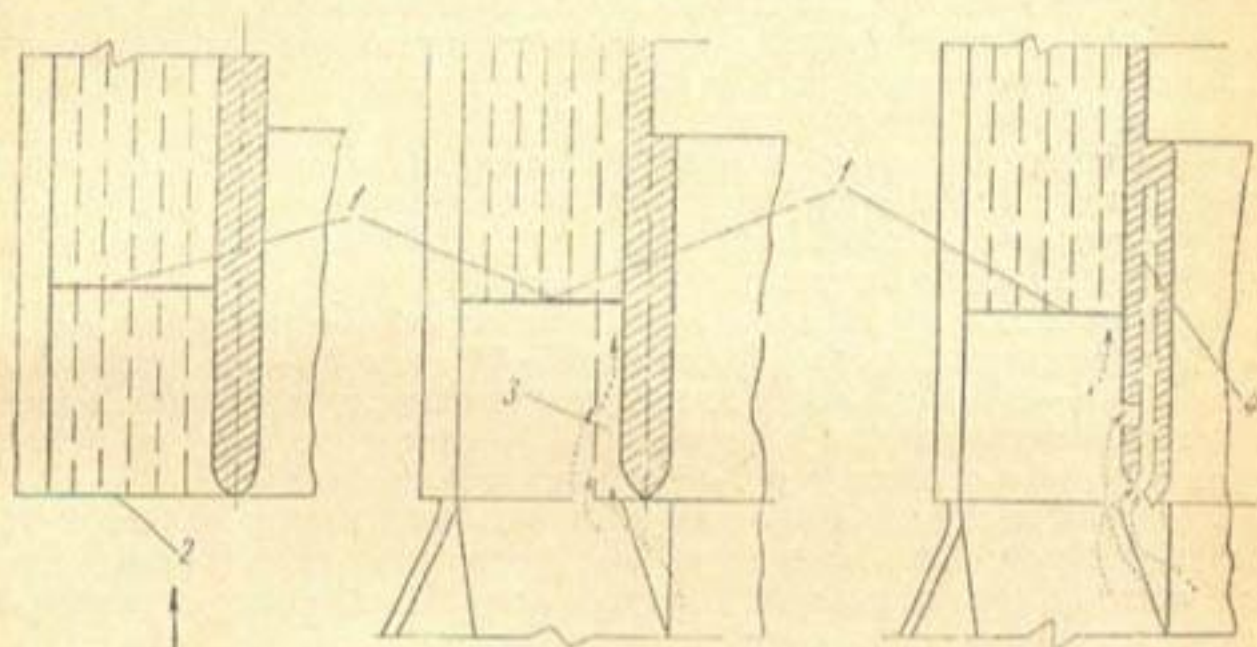


Рис. 45. Схемы конструкций по борьбе с завихрениями на Казаинской плотине, предложенные САНИИРИ:

1 — вход в промывные галереи по проекту; 2 — вход в галереи, выдвинутый на фасадную линию быков плотины; 3 — удлинение одной галереи; 4 — галереи в теле быка.

Через плотину проходит мост для автотранспорта и служебные мосты, необходимые для операций с затворами. Рабочие затворы пролетов плотины имеют отдельные электролебедки, приводимые в действие передвижным порталным краном.

В 1959 г. в САНИИРИ было произведено моделирование проекта этой плотины, которое показало следующее:

1. Размеры подводящего русла и очертания его в плане отвечают требованиям двухстороннего водозабора послойного типа. Длина русла достаточна для ликвидации сбойности течения.

2. Пропускная способность плотины и галерей соответствует расчетной.

3. Истечение потока из-под щитов пролетов плотины сопровождается образованием косых восходящих струй, что может затруднить эксплуатацию. Появление их связано с большими размерами рабочих пазов — длина 2,8 м, глубина 0,8 м.

4. Поток при обтекании крайних быков вызывает значительные односторонние боковые сжатия с завихрениями и взмучиванием наносов на подходе в карманы, увеличивая тем самым поступление наносов в каналы, пропускная способность отдельных промывных галерей становится

ся неравномерной, появляется сбойность течения в нижнем бьефе. Следовательно, необходимо улучшить гидравлику входа.

Предложенные и испытанные на модели мероприятия САНИИРИ по уменьшению отрицательного влияния одностороннего бокового сжатия показаны на рис. 45. Вынос входа в галереи на линию оголовков быков, а также расположение в теле крайнего быка плотины небольшой отсасывающей галереи могут уменьшить попадание наносов в каналы в 1,5—2 раза.

Без этих мероприятий в зависимости от характера подхода потока и увеличения водозабора в каналы попадает от 0,7 до 15,4% наносов, большая же часть их проносится через пролеты плотины и через галереи.

5. Проектная пропускная способность регуляторов плотины завышена. Объясняется это неточностью определения величины действующего перепада. Количество пролетов можно уменьшить.

6. Нижний бьеф плотины исследовали на модели без специальных устройств по гашению энергии и формированию потока, а также без проектного крепления тюфяками.

При открытых галереях и закрытых пролетах плотины поток сваливался к берегам отводящего русла. Берега размывались, а в середине русла образовывались отмели. При открытых пролетах размыв постепенно перемещался на середину русла.

7. Глубина размыва непосредственно за водобоем менялась от 0,6 до 4,7 м, увеличиваясь на расстоянии 25—30 м до 2,0—7,5 м при общей длине его 44—144 м и выходя за пределы проектного крепления. Размыв может угрожать целостности сооружения, поэтому необходимо усилить крепление дна и откосов, предусмотренных проектом.

Проект Казалинской плотины в 1961 г. был изменен с учетом этих указаний. Промывные галереи по новому проекту должны быть устроены в четырех пролетах, а не в двух, центральный пролет оставлен без галереи.

Горизонтальный козырек перед входом в галереи, а также вынос входа на линию оголовков быков не предусмотрены [15, 16]. Входные пролеты каждого регулятора уменьшены с пяти до четырех. Крепление гибкими железобетонными тюфяками нижнего бьефа против галерей удлинено вдоль откосов до 185 м. Тюфяки состоят из плит $1 \times 1 \times 0,15$ м по дну и $2 \times 2 \times 0,15$ м по откосам, расположены на слое бризола (отходы резиновой промышленности) или же на хворостяно-каменных тюфяках. Плоские рабочие затворы плотины с пролетами по 16 м снабжены откидными козырьками, благодаря чему возможен сброс шуги и льда всем фронтом подводящего русла.

Объемы основных работ сооружаемого гидроузла следующие: выемка — 4,085 тыс. м³; насыпь — 787; бетон — 15,7; железобетон — 26,7; сборный железобетон — 20,2 тыс. м³.

Более подробно лабораторные исследования Казалинского гидроузла описаны в работе [35].

ТЕШИКТАШСКАЯ ПЛОТИНА НА КАРАДАРЬЕ

Местоположение, геология и гидрология

Тешикташская плотина расположена на Карадарье, в 46 км ниже плотины Кампыррават в Пахтаабадском районе Андижанской области УзССР. Она сооружена в 1956—1960 гг., по компоновке и конструкции относится к лучшим сооружениям послойного типа водозабора (рис. 46).

До сооружения плотины водозабор в правобережный канал Пахтабад производился с помощью водозахватной сипайной дамбы длиной 500 м, расположенной вдоль возвышенного обрыва правого берега поймы, сложенного конгломератом. Ежегодно здесь на работы затрачивалось около 5000 трудодней, расходовалось 150 м³ лесоматериалов и 5000 м³ хвороста, однако водозабор не был обеспечен и воды для орошения хлопка не хватало.

Левобережный канал Улугнар брал начало на 8-м км выше створа будущей плотины. Проектом предусматривалось объединение 14 каналов обоих берегов Карадарьи от Куйганьяра до Тешикташа и головы канала Улугнар в створ плотины. Орошаемые площади увеличивались с 26,6 до 28,3 тыс. га. После постройки Кампырраватского водохранилища возможно подпитывание БФК расходом 25 м³/сек через канал.

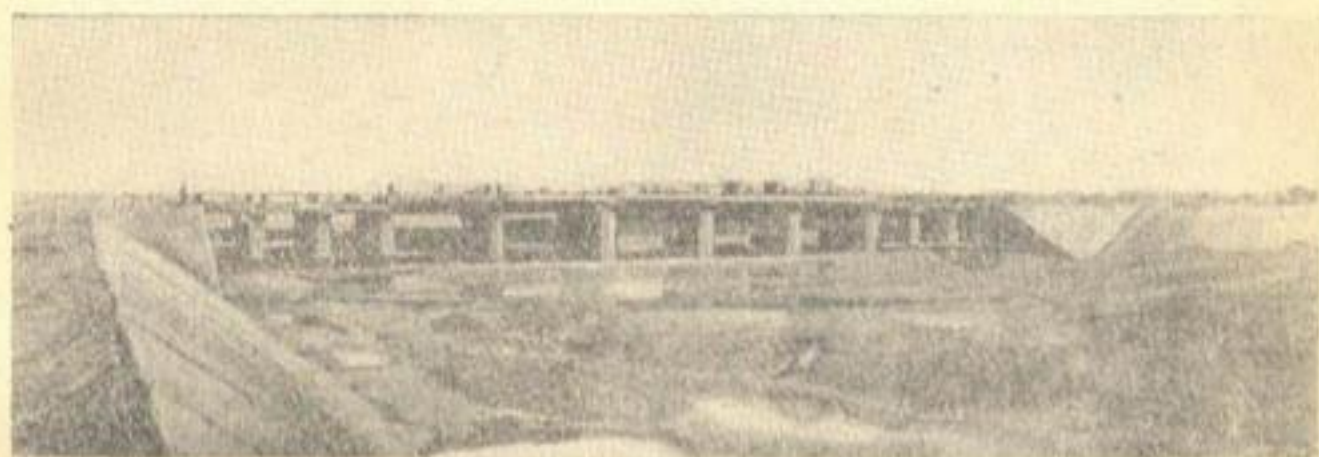


Рис. 46. Тешикташская плотина на Карадарье до монтажа затворов.

Улугнар. Поэтому расчетные расходы обоих отходящих от плотины каналов приняты по 45 м³/сек.

На правом берегу у плотины сделан небольшой вывод для канала Асранкульбек с расходом 1 м³/сек.

Пойма реки в створе сооружения имеет ширину около 600 м, а выше и ниже створа — до 1000 м и более. Она ограничена по сторонам крутыми и местами отвесными берегами, сложенными сильно выветрелыми конгломератами.

Дно долины заполнено галечниками мощностью 1,5—5,0, а в створе сооружения — 1,8 м. Под ними залегают конгломераты толщиной до 10 м. Допускаемая нагрузка для галечников и конгломератов принята 3 кг/см². Коэффициент фильтрации галечников определен по Фархгаймеру 20 м/сутки.

Расчетный расход сооружения принят 1243 м³/сек при напоре 4,3 м и проверен на пропуск катастрофического паводка 1450 м³/сек. Средне-многолетний расход реки составляет 119 м³/сек. Нормальный расход вегетационного периода равен 187 м³/сек. Расход невегетационного периода — 21 м³/сек. При среднем уклоне дна Карадарьи 0,0043 максимальные поверхностные скорости достигают 4 м/сек, средние скорости — 2,5 м/сек.

Средние диаметры донных наносов — 54 мм и взвешенных — 0,05 мм.

Конструкция гидроузла

На Тешикташе при сравнительно небольшом водозаборе в оба канала принят послойный тип плотины с зарегулированным прямолинейным подходным участком реки, струенаправляющими дамбами и водозабором через быки (рис. 47).

Перед проектировщиками стояли задачи — использовать преимущества двухстороннего послойного водозабора и исключить недостатки, допущенные при проектировании плотин подобного типа.

В первый год эксплуатации плотины при расходе реки $700 \text{ м}^3/\text{сек}$ наносы в каналы практически не поступали. В маловодные годы (1961—

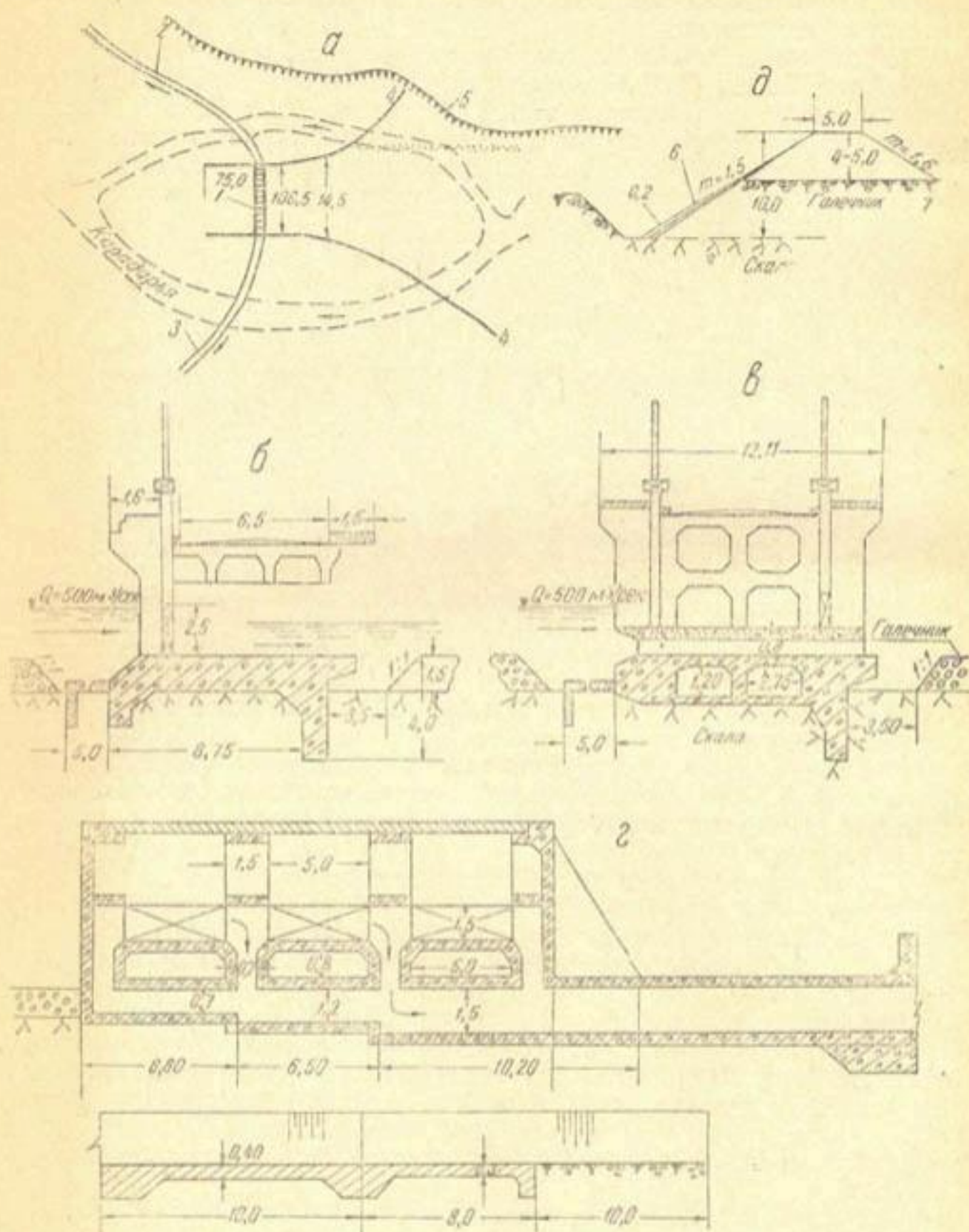


Рис. 47. План и разрезы Тешикташской плотины на Карадарье:

a — план расположения гидроузла; *b* — разрез по шлюзовому пролету плотины; *v* — разрез по промывному пролету плотины; *z* — разрез по водоприемнику и отводящему дюкеру; *d* — разрез по левобережной верховой дамбе; *1* — плотина; *2* — правобережный канал Пахтабад; *3* — левобережный канал Улугнар; *4* — верховые струенаправляющие дамбы; *5* — обрыв конгломерата; *6* — железобетонная облицовка; *7* — галечник; *8* — скала (размеры в метрах).

1962) расходы реки не превышали $17 \text{ м}^3/\text{сек}$. Поэтому окончательный вывод о преимуществах принятого типа плотины может быть сделан, очевидно, в ближайшем будущем.

Гидроузел состоит из разборчатой бетонной плотины длиной 56 м, двух железобетонных регуляторов общей длиной 39 м с фронтальным водозабором по обеим сторонам плотины, береговых струенаправляющих дамб общей длиной 2615 м, пересекающих в верхнем бьефе всю широкую пойму реки, проезжего моста, подъездных путей к мосту.

Особенно нужно обратить внимание на выбор высоты порога сооружения. В 1939 г. у головы канала Пахтаабат через реку был построен ряжевый барраж с заниженной отметкой порога. Его даже не успели включить в работу: при первом паводке он был занесен донными наносами.

При выборе отметки порога плотины Тешикташ учтены следующие основные положения:

1) заниженная отметка порога приводит к заносу нижнего бьефа, сокращая срок службы сооружения;

2) повышенная отметка порога удорожает стоимость сооружения;

3) поддержание рабочего горизонта перед плотиной на уровне горизонта максимального паводка ведет к отложению наносов в верхнем бьефе и усиленному размыву нижнего бьефа, особенно в первые годы эксплуатации;

4) сведение к минимуму (не более 1 м) подпора перед плотиной при максимальных паводках.

Исходя из этого отметка порога плотины при максимальной расчетной величине паводка была принята на уровне среднего дна.

В проекте плотины Тешикташ устойчивая ширина русла определена 96 м. После этого были рассчитаны шесть средних пролетов плотины, перекрытых плоскими колесными затворами $10 \times 2,5 \text{ м}$, и шесть боковых шугосбросных пролетов (по три с каждой стороны), перекрытых плоскими затворами $5 \times 1,5 \text{ м}$.

При толщине быков 1,5 м общая длина сооружения между устоями получилась равной 106,5 м, т. е. немного больше ширины устойчивого русла.

Большое значение придавалось сооружению перед плотиной струенаправляющих дамб. При рекомендуемой длине регулируемого русла 4—5 В и прямолинейного участка его 1—1,5 В левобережная дамба длиной 1800 м пересекает всю пойму. Правобережная дамба длиной 450 м также пересекает основное русло реки и доходит до конгломератов правого берега поймы. Прямолинейные участки этих дамб длиной по 200 м перед плотиной постепенно расширяются от 106 до 145 м вверх по течению.

Низовые дамбы длиной по 75 м образуют за плотиной короткий прямолинейный участок, предотвращающий свал потока в стороны.

Все дамбы выполнены с откосами 1,5:1 из галечника и облицованы со стороны воды железобетонной плитой толщиной 10—20 см с одиночной арматурной сеткой, уложенной сплошными секциями по 60 м, с рабочими швами через 5 м. Плита заглублена с упором в конгломерат, оказавшийся местами слабым. Средняя высота дамб сооружения изменяется над поверхностью от 4 до 5 м, доходя до отметок проезжего полотна моста.

В проекте Тешикташского гидроузла предусмотрено создание русла реки перед плотиной, ширина которого не превышает устойчивой, и минимальное сжатие потока по вертикали с недопущением больших подпоров.

Порядок расчета принят следующий:

- 1) определяется устойчивая ширина русла реки для расхода $100 \text{ м}^3/\text{сек}$;
- 2) приближенно определяется ширина всех отверстий;
- 3) по трем поперечникам русла нижнего бьефа вычисляется горизонт воды за плотиной при разных расходах;
- 4) по обычным формулам гидравлики рассчитываются расходы:

	$Q \text{ м}^3/\text{сек}$
Для шести пролетов плотины	980
Для шести боковых сбросных про- летов	352
Для шести промывных донных гале- рей	118
Для двух водозаборов в каналы	60
Всего	1510

Максимальный рабочий напор перед плотиной при среднем расходе реки $500 \text{ м}^3/\text{сек}$ получился равным лишь 2,3 м, а напор при пропуске катастрофического паводка $1450 \text{ м}^3/\text{сек}$ доходит до 4,5 м. Гидротехнический расчет произведен по методу Бляя, уточненному Н. Н. Павловским, как для сооружений III класса, расположенных на галечнике, с учетом врезанного в конгломерат низового зуба глубиной 4 м, так и бетонной понурной плиты длиной 5 м с зубом глубиной 1,5 м.

Разность напоров 2,5 м взята как разность уровней между верхом опущенного затвора и поверхностью флютбета.

Длина фильтрации по Бляю при коэффициенте фильтрации 9,7 получилась равной 24 м. Толщина флютбета в различных его точках определена по формулам Павловского.

Конструкция Тешикташского гидроузла отличается компактностью, простотой и удобством в эксплуатации. Регуляторы каналов Пахтаабад и Улугнар одинаковы. Каждый из них совмещен с крайними пятиметровыми пролетами сооружения, пороги которых приподняты над отметкой среднего дна реки и порога плотины на 1,1 м.

Промывка донных наносов производится в регуляторе через три промывные галереи сечением по $5 \times 0,8 \text{ м}$, расположенные под пролетами. Дно и боковые стенки галерей облицованы стальными плитами $1 \times 0,8 \text{ м}$ толщиной 16 мм и имеют выдвинутые вперед железобетонные входные полки. В начале галерей размещены три плоских колесных затвора $5 \times 0,7 \text{ м}$. Под ними заложены две железобетонные отводные трубы шириной 2,75 и высотой от 0,8 до 1,5 м, которые пересекают внизу фундаменты береговых устоев и выходят в головы каналов. Здесь расположены два колесных затвора $2,75 \times 1,5 \text{ м}$, которые регулируют расходы воды. Пропускная способность каждой трубы при скорости течения в ней $3,7 \text{ м}/\text{сек}$ равна $15 \text{ м}^3/\text{сек}$. Вода поступает в них сверху через боковые отверстия и вертикальные шахты трех быков и четвертого берегового устоя (см. рис. 47).

Над шахтами горизонтально расположены съемные металлические решетки, допускающие нахождение на них рабочих, удаляющих плавающие наносы перед входами в водоприемники.

Отдельный водяной фронт регуляторов фактически отсутствует; его заменяют водосливы, расположенные по бокам быков между основными железобетонными колоннами, поддерживающими мост. В соответствии с этим резко сокращается и общий водяной фронт сооружения, что имеет особое значение, так как при этом ширина речного русла остается устойчивой.

Все шесть сбросных отверстий по обоим концам плотины могут:

принимать на себя часть расхода реки, особенно в большой паводок; в опущенном состоянии служить как автоматические водосливы; обеспечивать регулировку горизонта воды на входах в вертикальные шахты быков, особенно в межень; промывать донные наносы через промывные галереи; пропускать сверху щитов плавающие наносы и шугу.

Отверстия самой плотины перекрыты плоскими колесными затворами высотой 2,5 и длиной 10 м. Верхние ригели их на случай перелива обделаны деревянными брусками. Донные уплотнения затворов сделаны из деревянных брусков, боковые — из резиновых армированных листов толщиной 16—20 мм.

Фактическая фильтрация через один большой затвор плотины доходит до 100 л/сек, а через затвор входа в канал — до 2—3 л/сек, что близко к допускаемым нормам.

Все затворы компактны и снабжены электромоторами мощностью до 2,2 кВт и грузоподъемностью до 20 т. Они расположены на служебных мостиках. Их вращение через редукторы передается горизонтальным валам с коническими шестернями по концам, а отсюда — вертикальным винтовым тягам с муфтами, размещенными в пазовых конструкциях затворов. Диаметры тяг затворов пролетов плотины равны 60, а затворов сбросных отверстий — 80 мм. Все винтовые тяги заключены в металлические защитные трубы. В качестве резерва затворы снабжены ручными подъемниками.

Применение плоских затворов дало экономию места и увеличило компактность сооружения.

Вес всех колесных затворов с подъемниками складывается из следующих величин:

<i>Затворы</i>	<i>Количество комплектов</i>	<i>Вес, т</i>
Отверстий плотины	6	72,3
Сбросных отверстий	6	20,6
Промывных галерей	6	25,5
Голов каналов	4	12,8
Итого	—	131,2

Подготовительные работы по сооружению плотины продолжались два года, а основные — в течение трех лет (1955, 1957—1959 гг.). При надлежащей организации работ эти сроки можно было бы, очевидно, значительно сократить.

Объемы, стоимость и производство работ

Стоимость всех работ в ценах 1955 г. определена в 12 740,4 тыс. руб., в том числе:

	<i>тыс. руб.</i>	<i>%</i>
Основные работы	9408,8	73
Строительство постоянного поселка	1046,2	8
Строительство временного поселка	525,8	4
Стоимость оборудования	379,9	3
Прочие затраты	1380,5	12

Производство основных работ предусмотрено в таком объеме:

Выемка	661,1 тыс. м ³	
Бетонные работы	8,63	.
Железобетонные работы	3,62	.

сборный железобетон	0,26 .
металлоконструкции	350 т

Основные механизмы и транспорт на строительстве:

	По проекту	Фактически
Экскаваторы Э-1004	2	2
Экскаватор Э-508	1	1
Бульдозеры Д-157	10	—
Бульдозеры С-80	—	4
Тракторы С-80	5	—
Скреперы С-80	—	2
Автомашинны		
ЗИЛ-585	13	—
ЗИЛ-51	3	3
ЗИЛ-150	7	10
Тракторы ДТ-54	5	—
Бетономешалки		
250 л	2	—
150 л	—	1
Самовсасывающие насосы с двигателями „Андижанец“	11	11
Передвижные электростанции на тракторах	—	2
Ленточные транспортеры Т-46	3	3

Выемка грунта почти полностью была механизирована. Котлован гидроузла, расположенный на сухом левом берегу реки, разрабатывался под защитой сипайных дамб и хворостяно-каменной кладки, что значительно упростило производство работ. Перемещение грунта производили автомашинами, бульдозерами и скреперами.

Бетон готовили на бетонном заводе, расположенном под откосом на правом берегу реки, в бетономешалках емкостью 425 л. Завод был снабжен весовыми дозаторами, это позволило получить бетон высокого качества. Промывка гравия и песка производилась цилиндрической гравиемойкой. Трамбовка бетона выполнялась вибраторами, а подача его — автосамосвалами и передвижными транспортерами с хоботами.

Выполнение работ задержалось из-за неукomплектованности строительства строймеханизмами и транспортом.

Среднее количество рабочих, занятых ежедневно на строительстве, в два подготовительных года составляло 50, а в третий, основной, — 200 человек.

Эксплуатация сооружения

Гидроузел введен в эксплуатацию в 1960 г.

Фактические расходы воды в головах каналов до их постройки составляли: Улугнара 6,75 и Пахтаабада 23,11 м³/сек.

В маловодные 1961 и 1962 гг. весь расход Карадарьи забирался на плотине Кампыррават в каналы Шаарихан и Андижан, а вниз по реке вода не поступала. Поэтому водозабор через плотину Тешикташ в каналы Улугнар и Пахтаабад составил за счет грунтовых вод и сбросов заурной сети лишь 16—17 м³/сек, или 45—50% от потребности. Песчаные наносы, отлагавшиеся перед порогами промывных галерей сбросных

отверстий плотины, периодически пропускались через галереи в нижний бьеф и в каналы не попадали.

В паводок 1960 г. доходивший до $700 \text{ м}^3/\text{сек}$, весь расход реки сбрасывался в нижний бьеф и занимал все русло прямолинейного подходного участка плотины и такого же участка за плотинной; верхний бьеф оказался заполненным галечниковыми наносами примерно до отметок порога плотины, т. е. до средней отметки дна русла, а в нижнем бьефе верхний слой галечника был смыт до конгломерата с образованием за низовым бетонным зубом вертикального уступа примерно в 1,5 м.

При прямолинейном и параллельноструйном подходе потока к фронту плотины и сбросным отверстиям все наносы промывались через галереи в нижний бьеф. Безнаносный водозабор возможен, очевидно, лишь при отсутствии движения наносов через верхние пороги сбросных отверстий плотины.

Забор воды через грани быков представляет собой вариант бокового водозабора, при котором развиваются центробежные силы инерции и местная поперечная циркуляция потока, вызывающая движение донных наносов к водоприемнику. Поэтому необходимо организовать работу так, чтобы донные наносы проходили через промывные галереи и не поступали на пороги водоприемников; от этого, видимо, и будет зависеть процент безнаосного водозабора.

Обширные низменные участки русла, отгороженные мощными струенаправляющими дамбами обоих берегов, предназначены для калматжа через специальные отверстия из труб диаметром 1 м. Калматж успешно осуществляется на правом берегу и не выполняется на левом из-за неудачного расположения входной трубы. К сожалению, эти важные мероприятия не осуществляются на некоторых других плотинах, например Кампырраватской, а на Первомайской плотине создалась угроза прорыва правобережной дамбы в обход всей плотины.

Непосредственно за входными трубами выполнено бетонное крепление дна и откосов начальных участков обоих каналов на длине лишь 8 м, поэтому они размывались. Потребовалось продолжить крепление еще на 10 м.

Штат гидроузла состоит из начальника, техника-гидрометра, инженера-электрика, четырех техников-механиков, двух телефонисток. Сейчас ежегодно отрабатывается при эксплуатации плотины в среднем 4,5 тыс. чел.-дней, в то время как до постройки плотины рабочими-регулирующими отработывалось от 3 до 5 тыс. чел.-дней. Это свидетельствует о необходимости большей автоматизации эксплуатационных операций.

ПРОЕКТ КАРАУНГУРСКОЙ ПЛОТИНЫ КиргССР

Недостатки послонного водозабора возникают обычно из-за непараллельноструйности подходящего потока и еще более увеличиваются при двухстороннем водозаборе. В 1957 г. К. Ф. Артамонов предложил новый способ водозабора (рис. 48). Водоприемники обоих берегов сближены до ширины $B = 0,9 B_0$, где B_0 соответствует расходу, при котором рекой не транспортируются донные наносы. Водоприемники выдвинуты в русло реки перед плотинной, состоящей из трех средних щитовидных и двух крайних водосливных пролетов.

Свободная деформация русла, сжатого двумя массивными бетонными береговыми устоями, происходит за счет изменения глубин, а не-

обходимые напоры получаются в результате соответствующих открытий или закрытий пролетов щитовой плотины. Перед фронтом водозабора образуется интенсивная вертикальная циркуляция, усиливающаяся козырьками на регуляторах, наклонными в сторону потока. Эта конструкция отклоняет струи к дну и середине русла, что улучшает условия водозабора. Моделирование показало, что при 85%-ном водозаборе в оба канала попадает не более 2—3% мельчайших речных наносов.

Водяной фронт самой плотины, расположенной за водоприемниками, может быть развит до необходимых пределов, что очень важно для уменьшения удельных расходов и размывов за плотиной. Перед

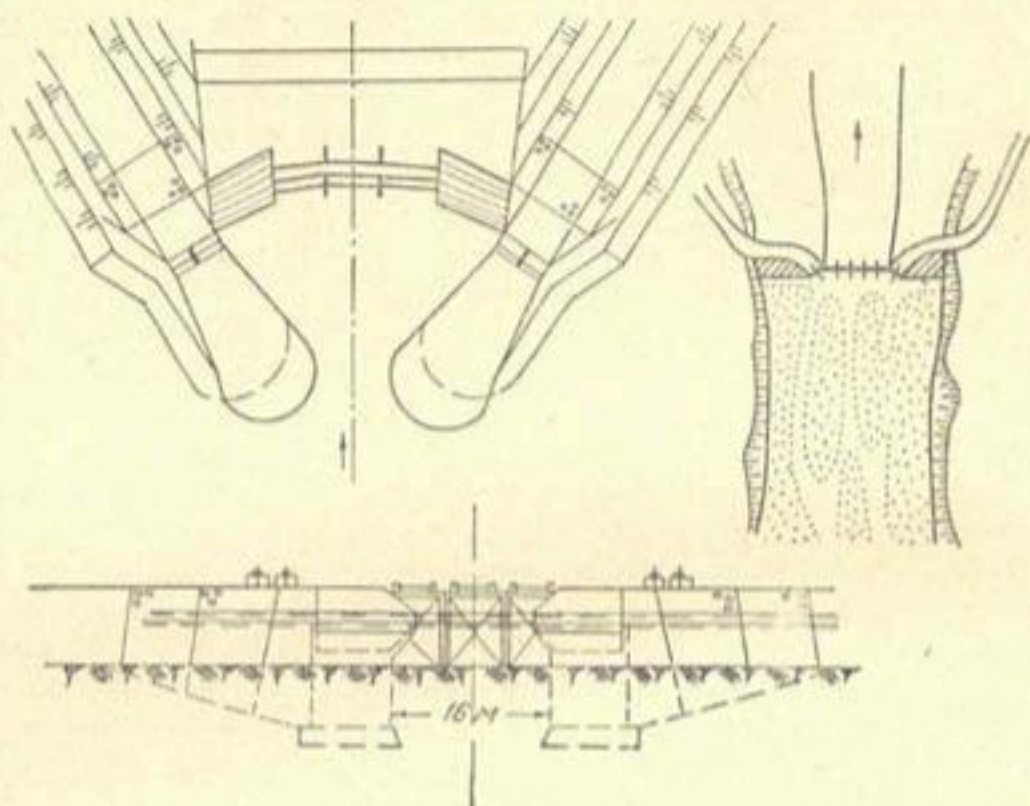


Рис. 48. Схема Караунгурской плотины Артамонова (КиргССР).

обоими устоями образуются водяные подушки, предохраняющие береговые дамбы и головные участки каналов от размыва. Отпадает необходимость или же уменьшаются объемы выправительных сооружений в подводящем русле. Этот тип гидроузла особенно применим к участкам рек с неразмываемым или трудно размываемым дном, так как при его эксплуатации исключается возможность подмыва устоев водоприемников. Отсутствие донных промывных галерей перед регуляторами является большим преимуществом по сравнению с общепринятыми конструкциями послойного водозабора.

Для проверки преимуществ конструкции Караунгурской плотины требуется ее сооружение, опробование в натуре и испытание временем.

Глава IV

ПЛОТИНЫ С РЕШЕТЧАТЫМ ВОДОЗАБОРОМ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Русла горных рек по режиму течения, уклонам дна и крупности донных наносов могут быть разделены на участки: горные — верхние и средние — и предгорные — нижние.

Характеристика участков следующая:

Участок	Уклон дна реки	Диаметр наносов, м	Наносы
Горные: верхние	0,1—0,3	1—2	Крупные валуны
средние	0,05—0,10	0,5—1,0	Галька и валуны
Предгорные	0,01—0,05	0,5	Песчано-галечные отложения с при- месью валунов

Верхние участки русел имеют узкую пойму, малую ширину, высокие и крутые берега, на которых скопления крупных валунов через короткие расстояния образуют перепады до 1 м.

На средних участках при небольшой ширине русла и невысоких берегах реки несут валуны размером до 1 м.

Предгорные участки русел рек располагаются за выходом из ущелья в пределах конуса выноса и имеют ширину, в несколько раз превышающую ширину верхних и средних участков, что объясняется интенсивным отложением наносов и блужданием потока.

Течение потока при малой глубине быстрое, со значительными изменениями величины расхода в течение года, лета и суток. При больших расходах он несет донные наносы крупных фракций. Возможны частые кратковременные сели, обладающие разрушительной силой. Ледостава здесь не бывает, но по условиям термического режима наблюдаются длительные шуговые явления с промерзанием воды иногда до дна.

На малых горных реках Средней Азии и Кавказа за последние 15—20 лет построено много плотин решетчатого типа, на которых водозабор производится в галерею, расположенную поперек потока во флютбете и перекрываемую сверху наклонной металлической решеткой. Крупные донные наносы свободно перекатываются через решетку, а нижние слои воды с более мелкими фракциями наносов поступают в галерею, затем в гравиепесколовку, снабженную промывными устройствами.

Преимущество плотин с решетчатым водозабором состоит в том, что заглубленная в дно реки галерея не является препятствием для быстро движущихся крупных донных наносов и разрушительных селей; кроме того, имеется возможность водозабора при любых горизонтах воды. Однако область распространения таких плотин ограничена, так как мелкие гравийно-песчаные наносы, насыщающие поток, попадают в галерею и забивают ее. По рекомендации Министерства сельского хозяйства СССР, фракции наносов крупностью 6 мм и менее не должны превышать 25% всего объема донных наносов.

Потеря напора в галереях плотин решетчатого типа доходит до 0,5—1,0 м, а иногда и более, что является также их недостатком, поскольку в водозаборах открытого типа она равна 0,2—0,5 м.

Успешная промывка берегового отстойника этих плотин возможна либо при напоре 2,5—3,0 м с соответствующим увеличением их высоты, либо при 1,5—2,0 м, что достигается расположением плотин в начале участка реки, имеющего значительное падение дна.

Конструкция, повышающая горизонт воды перед плотиной, удорожает ее стоимость. Поэтому для получения дополнительного напора за счет разности уклонов дна реки и канала выгоднее располагать отстойник ниже по каналу. В последние годы отстойники и гравиепесколовки делаются за береговым устоем плотины (вдоль него), тем самым значительно уменьшаются объемы выемки скального и мягкого грунта.

У большинства построенных в Средней Азии плотин решетчатого типа величина водозабора изменяется от 0,5 до 5 м³/сек, в отдельных случаях доходит до 10 м³/сек. Современные конструкции с улучшенной компоновкой частей сооружения позволили довести водозабор до 20 м³/сек.

В работах Е. А. Замарина, В. В. Фандеева и других всесторонне исследован водозабор плотин решетчатого типа. Вопросы расчета и конструирования их в течение ряда лет изучались в Московском институте инженеров водного хозяйства (МИИВХ) и в Грузинском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации (ГрузНИИГиМ).

В Тбилисском филиале Всесоюзного научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства в 1951 г. разработаны рекомендации по проектированию плотин с донной решеткой. В работе В. В. Фандеева [47] имеются ценные замечания о недостатках плотин решетчатого типа и указания по их проектированию и конструированию. П. Стратоберда [44] и Ф. С. Салахов [41] выдвинули новые предложения по принципам работы водозахватных галерей, проверенных на моделях.

В Институте энергетики АН КазССР в период 1947—1957 гг. проведено теоретическое и экспериментальное изучение гидравлики и процессов движения донных наносов в водозаборах решетчатого типа, результаты которого обобщены в работе А. И. Арыковой и Р. Ж. Жулаева [6].

В последние годы в САНИИРИ и ИВПиГ АН УзССР по предложению А. П. Ушакова разработаны варианты решетчатого водозабора на плотинах ферганского типа с использованием центробежных сил инерции течения воды в паводок, а работы решеток — в межень. Это коренным образом изменяет систему таких водозаборов. Однако необходима проверка в натуре, так как могут возникнуть затруднения при прохождении потока на криволинейных участках.

Ниже дается краткий обзор компоновки и конструкции плотин решетчатого типа.

Для успешной работы сооружения русло реки должно быть устойчивым против размывов, не иметь свойств, способствующих отложению

наносов. Это исключит возможность образования новых протоков или изменения основного направления течения. Если русло не отвечает этим требованиям, необходимо предварительно произвести надежные выправительные и берегоукрепительные работы.

Расположение плотины, помимо обычных условий топографии, геологии и командования местностью, определяется наносным режимом потока: 1) в случае движения в паводки крупных валунов или селевых потоков выбирается прямолинейный участок реки, чтобы избежать возможных завалов и заторов; 2) при наносах крупностью не более 0,5 м створ следует располагать на слабокриволинейном участке неселенной реки, устраивая водозаборную галерею в зоне вогнутого берега.

Выбор отдельных частей сооружения и их компоновка определяют успех борьбы с донными наносами.

Профессор Н. Е. Жуковский установил, что при обтекании потоком быков у лицевых их граней уровень воды и давление повышаются, вызывая появление вертикальных токов сверху вниз, которые, складываясь с общим поступательным течением, образуют винтовое движение, отжимающее донные наносы от граней быков.

Н. Ф. Данелия в ГрузНИИГиМе провел экспериментальные исследования и дал рекомендации по конструкции водозабора, основанного на этих свойствах (рис. 49). При таком водозаборе вода в межень поступает через отдельные решетки, располагаемые в пролетах водосливной плотины у граней быков, где содержание донных наносов минимальное. Середины пролетов не имеют решеток, галереи перекрыты железобетонной или стальной плитой. Длина решеток соответствует примерно толщине быков. Расстояние между осями быков делается в 2—3 раза больше их толщины, что, однако, неприменимо для потока, несущего деревья.

Забор воды в паводок производится через горизонтальные решетки, находящиеся на верху низких затопляемых быков, имеющих внутри вертикальные шахты, и через решетки нижних зон боковых граней быков.

Недостатки такого сооружения заключаются в сложности пустотелой конструкции, в подверженности заторам при частом расположении быков, в затруднениях, возникающих при очистке шахт и галерей, закрытых в серединах пролетов.

УЛУЧШЕННЫЕ ТИПЫ РЕШЕТЧАТОГО ВОДОЗАБОРА, РАЗРАБОТАННЫЕ В ИНСТИТУТЕ ЭНЕРГЕТИКИ АН КазССР В 1955—1962 гг.

В упоминавшейся ранее работе А. И. Арыковой и Р. Ж. Жулаева [6] на основе всестороннего и глубокого изучения даются ценные указания по расчетам и конструированию водозаборов решетчатого типа. Основное внимание авторы уделяют вопросам борьбы с донными наносами, которая, по их мнению, должна производиться комплексно следующими методами:

1) местной поперечной циркуляции потока, развиваемой на самом сооружении путем соответствующего расположения сбросных пролетов плотины;

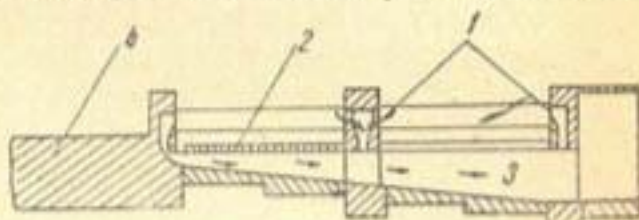


Рис. 49. Решетчатый водозабор ГрузНИИГиМа через донную галерею и быки:

1 — вход через быки; 2 — решетка; 3 — донная галерея; 4 — водосливная плотина.

2) захвата донных наносов наносоперехватывающими траншеями, располагаемыми перед водозахватными траншеями водослива плотины;

3) промывки оставшихся наносов через водоприемную часть канала, располагаемую за береговым устоем плотины (вдоль него), снабженную гравиепесколовкой с промывной галереей;

4) поперечной циркуляции всего потока в подводящем русле реки.

Первая ступень борьбы с донными наносами осуществляется регулированием их движения путем соответствующего перераспределения расходов реки через пролеты плотины, при этом донные токи, обладающие меньшей скоростью течения, чем поверхностные, отклоняются в сторону наибольшего удельного расхода. Как показывают экспериментальные исследования, проведенные в Институте энергетики АН КазССР, при правильном выборе параметров в нижний бьеф можно отвести до 90—95% всех наносов. На рис. 50 показаны направления

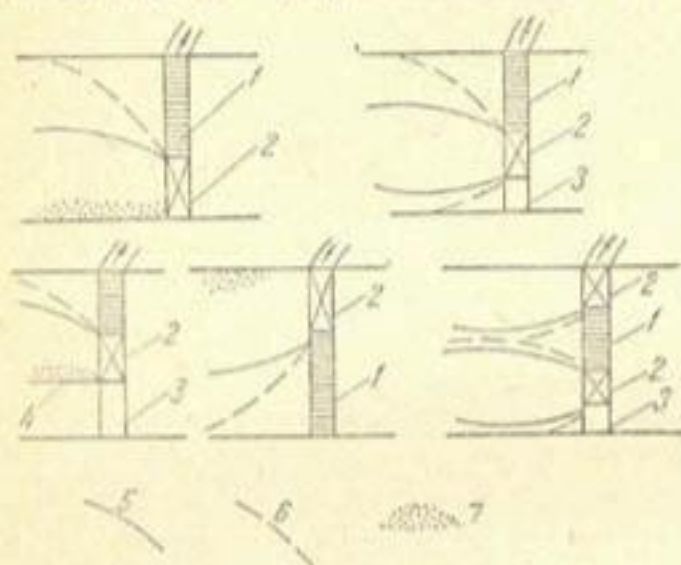


Рис. 50. Направление поверхностных и донных токов при решетчатом водозаборе по исследованиям Института энергетики АН КазССР.

1—водозаборные части плотин с решетками; 2—щитовые части; 3—главное водосливное части; 4—разделительная направляющая стенка; 5—раздельные линии поверхностных токов; 6—раздельные линии донных токов; 7—зоны осаждения наносов.

поверхностных и донных токов для различных вариантов расположения щитового отверстия решетчатой плотины, предназначенного для сброса наносов. Схемы компоновки элементов таких плотин показаны на рис. 51.

Для водозаборов на верхних участках горных рек с уклоном дна более 0,1 и периодическим выносом селевых потоков сооружение должно состоять из плотины с водосливной и водозаборной решетчатой частями, береговой гравиепесколовки и бокового отверстия зимнего водозабора. Гребень водослива должен располагаться на 0,5 м ниже порога водозабора. Сооружение рассчитано на возможно

более свободный пропуск речного потока с наносами (рис. 51, схема а).

Плотины, намеченные к строительству на средних горных и предгорных участках рек, дополнительно должны иметь промывной шлюз шириной не менее 4—5 м для пропуска крупных донных наносов и плавника, а также разделительную стенку, длина которой равна примерно десятикратной глубине потока. Ширина шлюза должна обеспечивать зону захвата донных наносов и быть не уже водозаборной части, перед которой следует устроить криволинейный порог, в 2 раза превосходящий длину захватной решетки. Гравиепесколовка и зимний водозабор строятся на берегу канала за устоем и примыкают к водозаборной части (рис. 51, схема б).

Вторая ступень борьбы с донными наносами состоит в том, что перед водозахватной галереей располагается наносоперехватывающая траншея. Явления, происходящие в этих галереях, исследовались в течение ряда лет. На рис. 52 и 53 в хронологической последовательности изображены применявшиеся схемы и очертания галерей.

Первоначально выполнялась одна прямоугольная водозахватная галерея, переменная глубина которой доходила в конце ее до 2,5 м

и более; галерея перекрывалась металлической решеткой с уклоном 0,1 (рис. 52 а).

Позднее на плотинах с большими пролетами, где невозможно ставить шандоры, улучшение водозабора в межень достигалось иногда устройством решетки с обратным уклоном (рис. 52 б).

Под влиянием сил тяжести и инерции вода поступает в галерею косо и несимметрично. Накладывание такого течения на продольное вызывает продольно-винтовое движение, уменьшающее пропускную способность галерей и в то же время увеличивающее транспортирующую способность потока в ней.

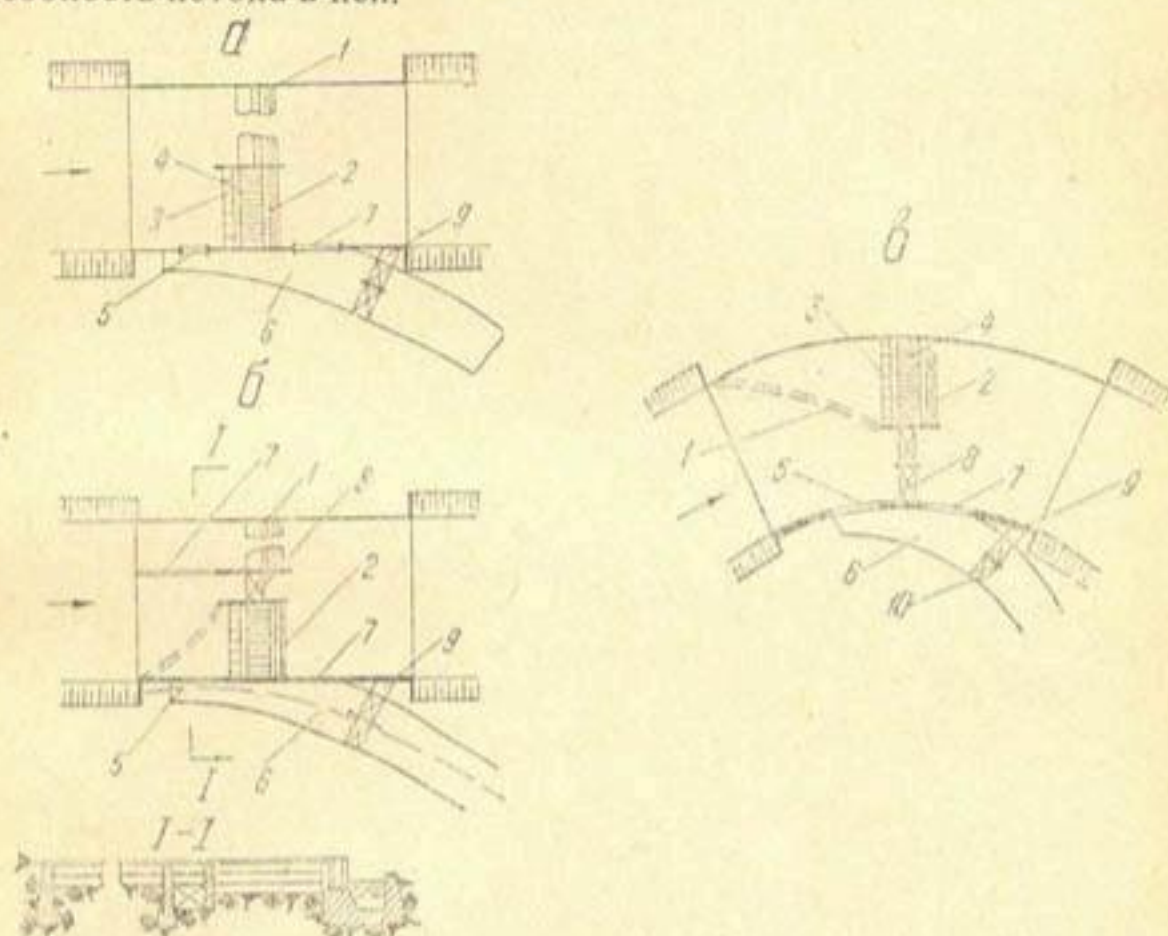


Рис. 51. Компонировка плотин решетчатого водозабора:

а—схема водослива и водопропускной части с решеткой; б—схема водослива, водопропускной и шитовой части; в—схема решетчатого водозабора на криволинейном участке горной реки; г—схема водозабора на криволинейном участке горной реки; 1—водослив; 2—водопропускная часть с решетками; 3—грубая решетка; 4—мелкая решетка; 5—затопленный водозабор; 6—береговая гравелесколловка; 7—береговой водослив; 8—шитовая часть; 9—донные промывные галереи.

В случае необходимости перехвата грунтового потока, подходящего к плотине, особенно в межень, вдоль передней грани ее устраивается обратный фильтр с пропуском в галерею чистой воды по трубкам диаметром 1,5—2 см (рис. 52в).

В 1928 г. в Азербайджане под руководством С. В. Избаш запроектирована и построена плотина с двумя галереями для забора поверхностных и грунтовых вод (рис. 52г). Чтобы увеличить приток, нижняя галерея закладывается иногда поперек всей поймы реки с отводом воды непосредственно в водопроводную систему.

Винтовое движение создает некоторые препятствия для поступления воды через решетку, которые по предложению проф. Е. А. Замарина можно устранить, соорудив вдоль бортов галереи свесы, одновременно уменьшающие длину решетки (рис. 52д).

Остроугольное или же полукруговое очертание галерей применять не следует, так как оно приводит к чрезмерному усилению винтового движения с выплескиванием части воды из галерей (рис. 53е).

Чтобы уменьшить поступление наносов в водозахватную галерею, Т. Г. Гегеля предложил ставить перед ней наносоперехватывающий коллектор, перекрытый грубой решеткой. Первые попытки не увенчались успехом — решетка быстро забивалась наносами. На плотине, построенной на реке Большой Алматинке, такой коллектор забетонирован как неработающий.

И. Т. Колесников рекомендовал для создания винтового движения и увеличения его скорости подавать воду через щель траншеи (рис. 53ж). После изучения этого вопроса в Институте энергетики

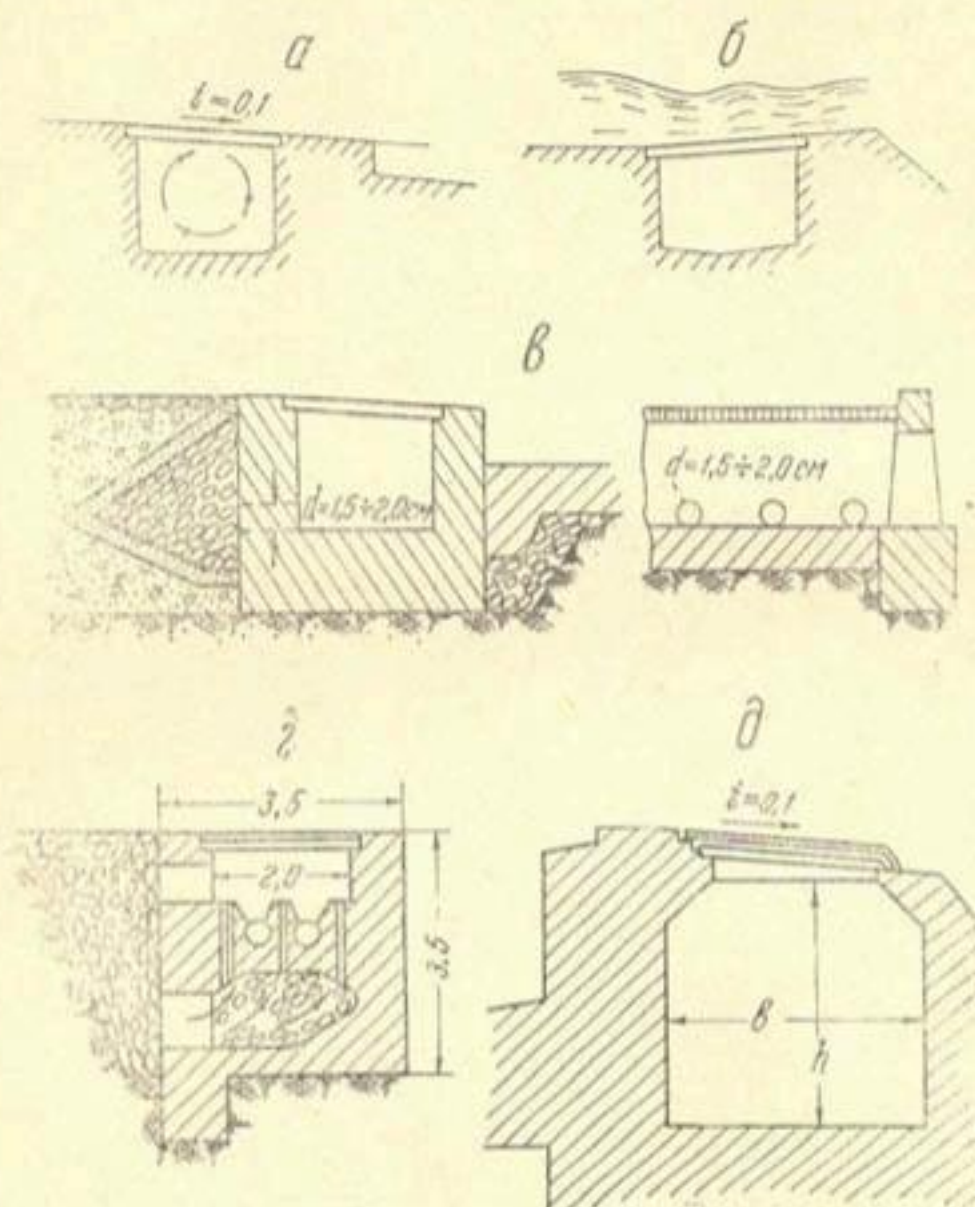


Рис. 52. Различные конструкции водозахватных и наносоперехватывающих галерей плотины решетчатого типа; варианты а, б, в, г, д (размеры в метрах).

АН КазССР начали проектировать эффективные конструкции щелевых и траншейных гравиепесколовок, располагаемых перед водозахватными галереями на уровне дна подводящего русла.

Щелевая гравиепесколовка делается в виде траншеи с уклоном 0,1, перекрываемой крупной решеткой (рис. 53з). В конце траншеи устанавливается затвор. Вода и наносы отводятся в нижний бьеф через отдельный бик или водослив, а при наличии водосливного шлюза — в камеру шлюза. Безнапорное движение, необходимое для увеличения транспортирующей способности потока, создается частичным перекрытием траншеи сверху.

Траншейная гравиепесколовка имеет траншею, на дне которой нано-

сы осаждаются, а затем сбрасываются системой труб в нижний бьеф или же в специальную галерею меньших размеров, располагаемую во флютбете выше по течению (рис. 53*а*). Для более интенсивной промывки наносов в паводок в конце траншеи делается специальное отверстие, закрываемое в межень шитом. Поступление наносов, проходящих через решетки, доходит в такой конструкции до 90—95% при промывном расходе 5—6%; концентрация наносов может составить в этой системе примерно 200 г/л. Для большего забора воды в межень водозахватные галереи делаются иногда в два или три ряда.

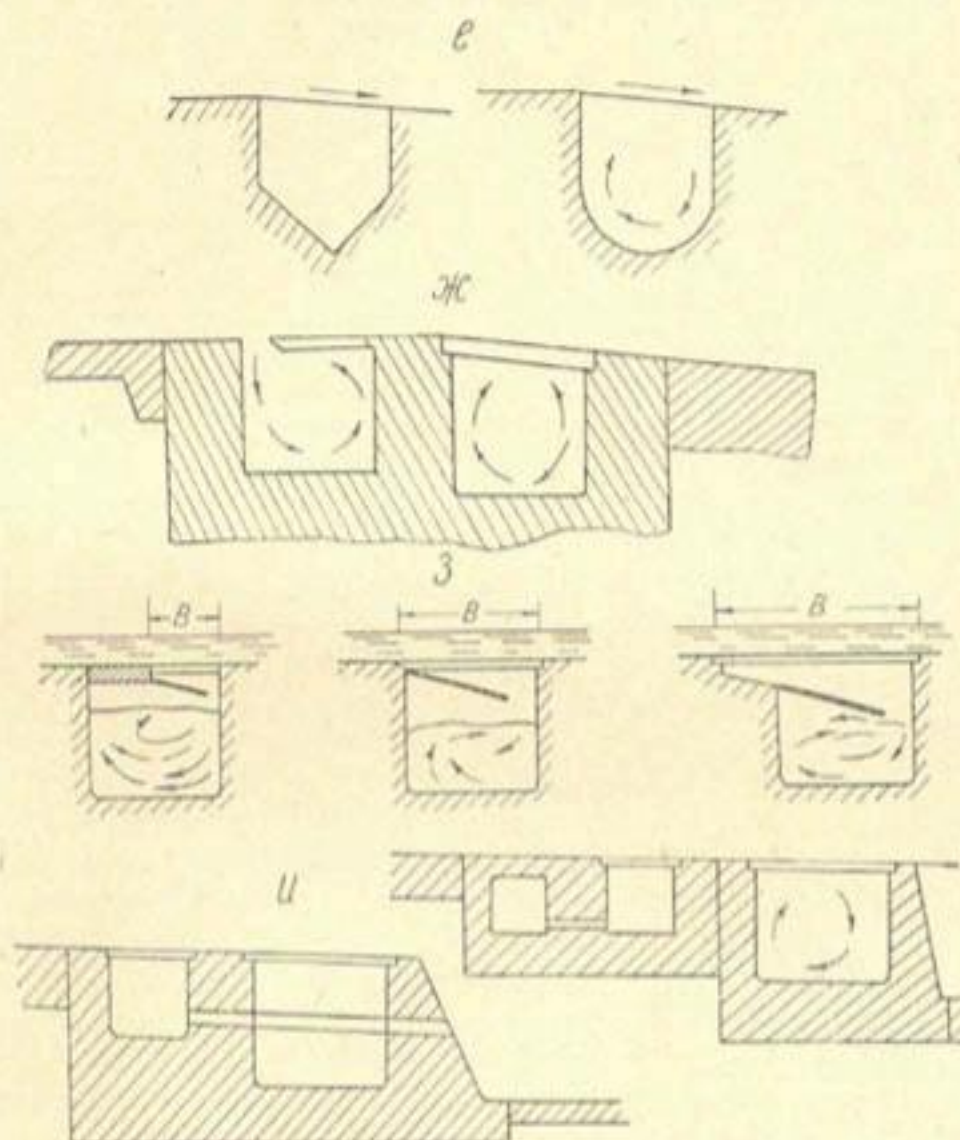


Рис. 53. Развитие конструкций водозахватных и наносоперехватывающих галерей плотин решетчатого типа; варианты а, ж, з, и.

Стержни решеток для уменьшения засорения и забивки рекомендуются трапециевидного сечения.

Третья ступень борьбы с донными наносами выполняется сооружением гравиепесколовки в начале водоприемной части канала за береговым устоем (вдоль него).

Зимний водозабор проводится через боковое отверстие в устье, закрываемое решеткой с горизонтальными стержнями. Ниже по течению в этом же устье устраивается водослив для сброса излишков воды. При таком расположении отверстий облегчается устройство траншейной гравиепесколовки, снабженной в конце затворами и галереями для сброса наносов в реку.

Устраивать фронтальный шлюз-регулятор не целесообразно, так как он стесняет русло, способствует скоплению наносов в паводок, мо-

жет вызвать заторы зимой и приводит к большим объемам земляных или скальных работ в начале канала.

Четвертая ступень борьбы с донными наносами производится методом поперечной циркуляции в подводящем русле при криволинейном расположении устойчивого русла реки, не несущей селей (рис. 51, схема *в*). Максимальный эффект при этом достигается наличием двух поперечных циркуляций, создающихся подводящим руслом перед плотиной и отверстием сброса на плотине. Щитовая плотина для сброса части наносов в паводок через затворы располагается на выпуклом берегу, водосливная с наносоперехватывающими и водозахватными траншеями — на вогнутом, где количество наносов минимальное. Шлюз-регулятор канала размещается за береговым устоем и снабжается боковым отверстием зимнего водозабора, водосливным порогом и промывной галереей с затворами. Серьезным недостатком этой конструкции является необходимость пропуска водозахватной галереи через щитовую часть плотины при помощи лотка.

РЕШЕТЧАТЫЕ ВОДОЗАБОРЫ ПАНФИЛОВСКОЙ И ВЕРХНЕ-ТАЛГАРСКОЙ ГЭС

Эти водозаборы запроектированы и построены по рекомендации Института энергетики АН КазССР в 1959 г.

Решетчатая плотина Панфиловской ГЭС построена на протоке р. Усек, берущей начало в горах Джунгарского Алатау, протекающей в песчано-галечниковых отложениях с примесью валунов до 0,6 м; уклон русла 0,2, ширина 110 м.

Расход 1%-ной обеспеченности 396 м³/сек, среднегодовой 17,4 м³/сек, меженный 4,5 м³/сек.

Примыкающая к левому берегу открытая водозаборная часть плотины имеет водозахватную галерею длиной 9 м, состоящую из двух секций шириной по 2 м с уклоном дна 0,14, глубиной на выходе 1,96 м. Галереи с уклоном 0,1 перекрыты решетками из стальных круглых стержней диаметром 30 мм с просветом между ними 20 мм.

Перед галереей устроена наносоперехватывающая траншея с уклоном дна 0,1, шириной 0,6 м, глубиной на выходе 1,1 м. Она перекрыта решеткой с просветами 30 мм, в конце снабжена металлическим щитом. Наносы попадают в колодец щитового сброса.

К водозаборной части справа примыкает щитовой сбросной шлюз шириной 4,5 м, составляющий среднюю часть плотины. Он ограничен с обеих сторон направляющими бетонными стенками, между которыми во входе и ниже створа водозабора последовательно смонтированы металлические щиты. Назначение шлюза — пропуск паводка, создание поперечной циркуляции на самом сооружении, прием в паводок наносов и зимний водозабор через щитовые отверстия раздельной стенки. Справа к шлюзу примыкает водосливная плотина длиной 100 м, высотой 1,1 м. Порог водозабора находится на 1 м ниже порога водослива и на 0,5 м выше порога сбросного шлюза.

В результате эксплуатации плотины выявлены следующие недостатки:

1) снижение отметки порога промывного шлюза на 0,5 м против водозахватной части и ширина его 4,5 м недостаточны, вследствие этого наносы промываются неполностью;

2) просветы наносоперехватывающей решетки в 30 мм малы;

3) прутья водозахватной решетки длиной 200 мм, диаметром 30 мм при отсутствии поперечных связей деформируются, что приводит к попаданию в галерею крупных фракций наносов, превышающих про-

светы решетки, в результате чего бетонные поверхности флютбета истираются наносами.

Решетчатая плотина Верхне-Талгарской ГЭС сооружена на р. Талгар, берущей начало на северном склоне Заилийского Алатау на высоте около 4000 м (рис. 54). Средний участок реки имеет русло шириной 16—20 м, сложенное валунами размером до 1 м, составляющими примерно половину объема наносов, а также крупными галечниками с песчано-гравийным заполнением. Уклон дна русла доходит до 0,08. Расход 2%-ной обеспеченности 98 м³/сек, среднегодовой 10,4 м³/сек. По реке часто проходят селевые потоки водокаменного типа.

Водозаборная часть плотины длиной 8 м примыкает к правому берегу, имеет водозахватную галерею на расход 8,25 м³/сек, состоящую из двух секций, ширина которых от 1,6 м в начале до 1,75 м в конце. Перед галереей имеется наносоперехватывающая траншея шириной 0,8 м с уклоном к промывному шлюзу 0,1. Просветы прутьев решетки водозабора равны 20 мм, а наносоперехватывающей траншеи—50 мм. Пролет промывного шлюза, расположенного в середине сооружения, составляет 4 м. Рядом со шлюзом размещается водосливная плотина длиной 12 м. Порог водозабора находится ниже порога водослива на 0,65, выше порога шлюза на 1,25 м. Зимний водозабор производится через щитовое отверстие правобережной береговой стенки.

Для лучшего пропуска наносов входная часть берегового шлюза-регулятора выдвинута в сторону реки на 6 м; перед водозаборной частью плотины для направления в паводок наносов к промывному шлюзу устроен криволинейный порог высотой 0,8 м.

Поверхности водослива, дна, стенок галерей и траншей покрыты сталебетоном.

РЕШЕТЧАТЫЙ ВОДОЗАБОР НА ПЛОТИНАХ ФЕРГАНСКОГО ТИПА

Опыт эксплуатации, обследования в натурных условиях и на моделях в Институтах водного хозяйства и энергетики КиргССР, КазССР и САНИИРИ показал, что существенным недостатком решетчатого водозабора являются: засоряемость решеток, проваливание через решетки наносов большего диаметра, чем их просветы, трудности эксплуатации в зимний период.

В 1959 г. в САНИИРИ Р. В. Тимирова [45] разработала и испыта-

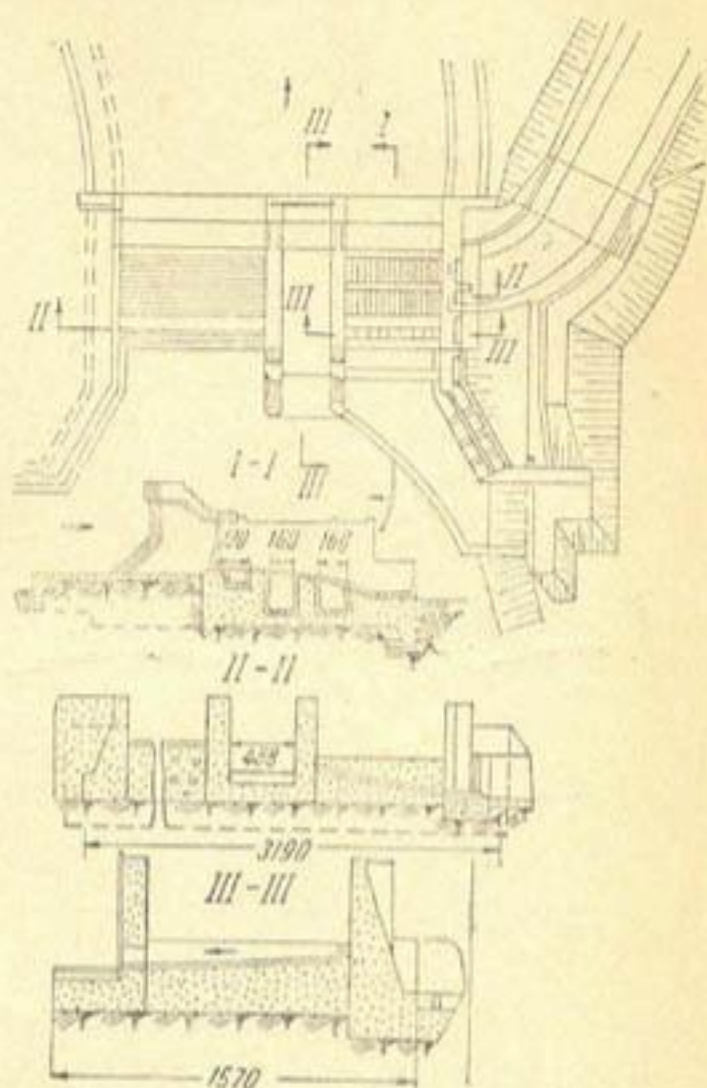


Рис. 54. Верхне-Талгарская плотина решетчатого типа (размеры в сантиметрах).

ла на модели комбинированную схему водозабора ферганского типа с донной решеткой, изображенную на рис. 55. В криволинейном зарегулированном подводящем русле шириной 20 м, рассчитанном на расход $239 \text{ м}^3/\text{сек}$, создается поперечная циркуляция потока, которая обеспечивает сброс донных наносов в нижний бьеф и подачу поверхностных осветленных слоев воды в регулятор, расположенный на вогнутом берегу.

Для усиления поперечной циркуляции от правой струенаправляющей дамбы в поток под углом 30° выдвинута наносоотбойная вертикальная стенка. При действии на нее избыточного давления воды происходит

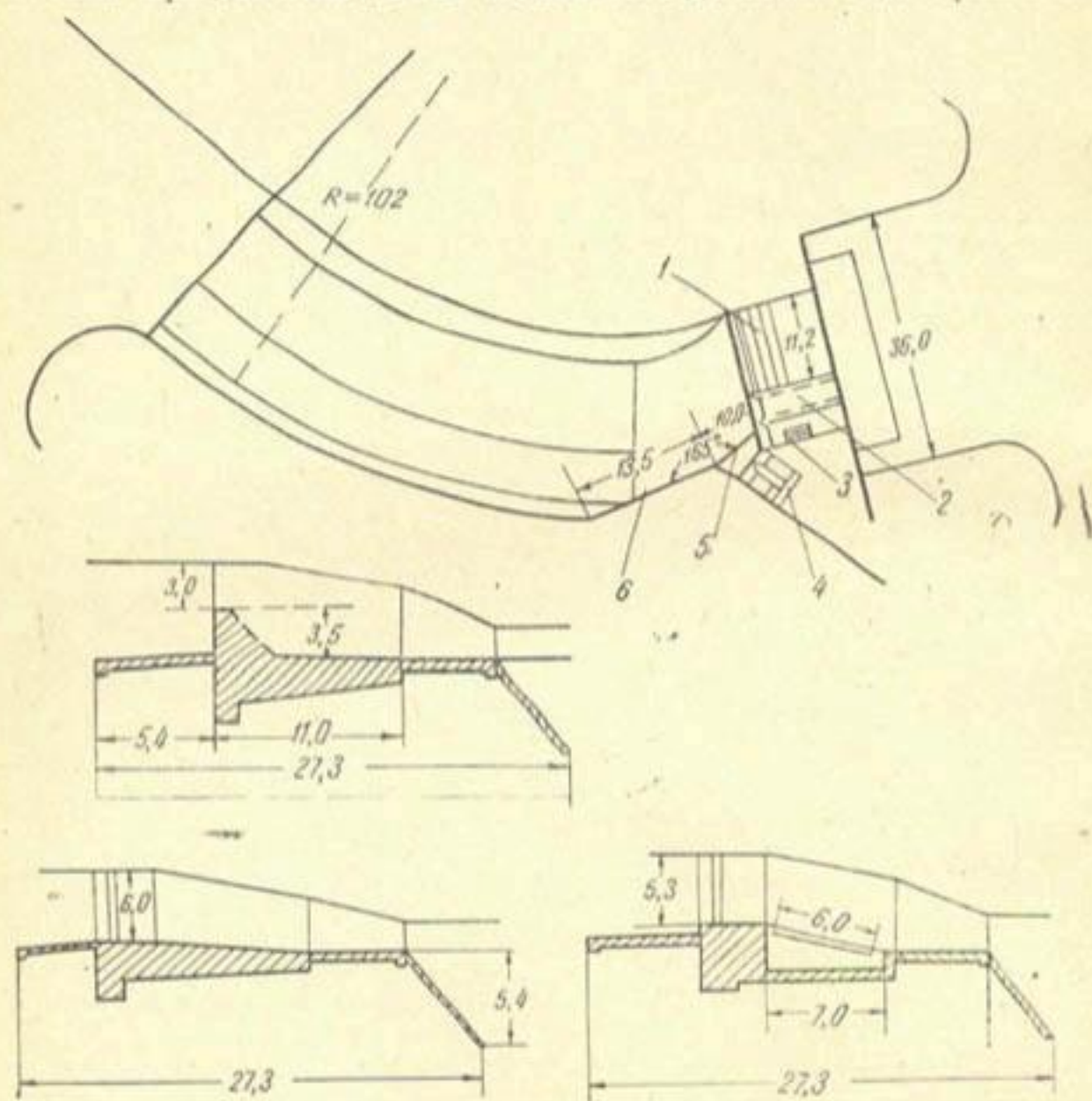


Рис. 55. Водозабор ферганского типа с донной решеткой:

1—автоматический водослив; 2—щитовая часть; 3—донная решетка; 4—водоприемник; 5—порог водоприемника; 6—наносоотбойная стенка (размеры в метрах).

образование вертикальных токов по направлению к дну, переходящих в винтовое движение одинакового знака с винтовым движением всего потока криволинейного русла, что увеличивает эффект поперечной циркуляции и вызывает перемещение донных наносов в сторону от водозабора.

Водоприемный порог, повернутый по течению от наносоотбойной стенки еще на 25° , также усиливает поперечную циркуляцию на подходе к сбросному отверстию плотины; высота его 1,5 м, а над средним дном реки — 0,7 м.

Разборчато-щитовая часть плотины состоит из двух пролетов по 4,5 м. В правом пролете с повышенным на 0,7 м порогом находится решетка 6×3 м, рассчитанная на пропуск расхода воды в канал $23,8 \text{ м}^3/\text{сек}$.

При больших расходах реки и действии поперечной циркуляции потока водозабор производится через регулятор, состоящий из двух пролетов по 3 м, расположенный на вогнутом берегу.

В межень при незначительном сбросе воды в нижний бьеф регулятор и левое отверстие сброса закрываются, водозабор осуществляется через правое отверстие, имеющее решетку.

Автоматический водослив размещен на одной оси с щитовой частью и предназначен для сброса внезапных паводков. Гребень его соответствует отметке НПГ.

Результаты опытов на модели показывают, что поперечная циркуляция в ферганском типе водозабора обеспечивает безнаосный водозабор порядка 50—60%, выдвинутые в сторону потока наносоотбойная стенка и несколько повышенный донный порог усиливают поперечную циркуляцию и обеспечивают безнаосный водозабор порядка 85%.

Предложенная схема двухголового водозабора с решеткой рекомендуется для горно-предгорных участков рек с уклоном 0,1—0,05 при расходах потока 100—200 $\text{м}^3/\text{сек}$.

Горные водозаборы за последние годы получили широкое распространение в Киргизии. Институтом энергетики и водного хозяйства КиргССР с 1956 г. производится детальное изучение движения донных наносов на горных реках и ручьях, которых в республике насчитывается более 2000. К ним относятся реки с уклоном от 0,1 до 0,01. Донные наносы составляют около 60% от взвешенных. Руслоформирующими расходами, при которых начинается движение донных наносов, принимаются расходы 10—20%-ной обеспеченности.

Институтом проведены также исследования по улучшению конструкций решеток, рабочая площадь которых забивается наносами на 60—80%, что приводит к необходимости производить чистку 2—3 раза в сутки. Изменение поперечного сечения отдельных стержней решетки полностью эти затруднения не устраняет. Значительно больший эффект получается при оставлении концов прутьев свободными, вследствие чего появляется вибрация стержней, а забивка снижается, как показали опыты, с 60 до 20%. Установлено, кроме того, что выгоднее удлинять стержни, а не увеличивать просветы между ними. Удлиненные стержни рекомендуется изготовлять составными на промежуточных опорах. Желательно ставить такие самоочищающиеся решетки не только на строящихся, но и на работающих сооружениях.

НОВЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

При движении потока в реке или канале на него и находящиеся в нем наносы действуют объемные силы тяжести и инерционные центробежные силы течения. Инж. Панди Стратоберда задался целью использовать те и другие для отделения наносов, предложив схему водозабора, которую назвал «гидродинамической» (рис. 56).

Водозаборная часть плотины, согласно схеме, выполняется в виде невысокого бетонного порога с бычками, между которыми находится расположенный поперек течения цилиндрический лоток, принимающий воду через горизонтальную щель дна в отводящий канал.

Подходящий к лотку поток с наносами направляется под него по криволинейному каналу, очерченному по радиусу. Здесь развиваются

центробежные силы инерции, отжимающие частицы наносов как более тяжелые книзу. Значительное гидродинамическое давление, возникающее перед щелью, способствует необходимому распределению наносов в потоке. Осветленная таким образом вода попадает в верхнюю щель лотка, а часть ее с наносами — в нижнюю, откуда она поступает в реку. Просвет нижней щели должен быть больше размеров самых крупных наносов. Для уменьшения расхода сбрасываемой воды ширина щели сужается в плане установкой регулирующего затвора.

Исследования схемы на модели были проведены в гидравлической лаборатории Новочеркасского инженерно-мелиоративного института и показали положительные результаты: траектории движения наносов отклоняются книзу и попадают в нижнюю щель.

Удаление плавающих наносов и шуги рекомендуется производить

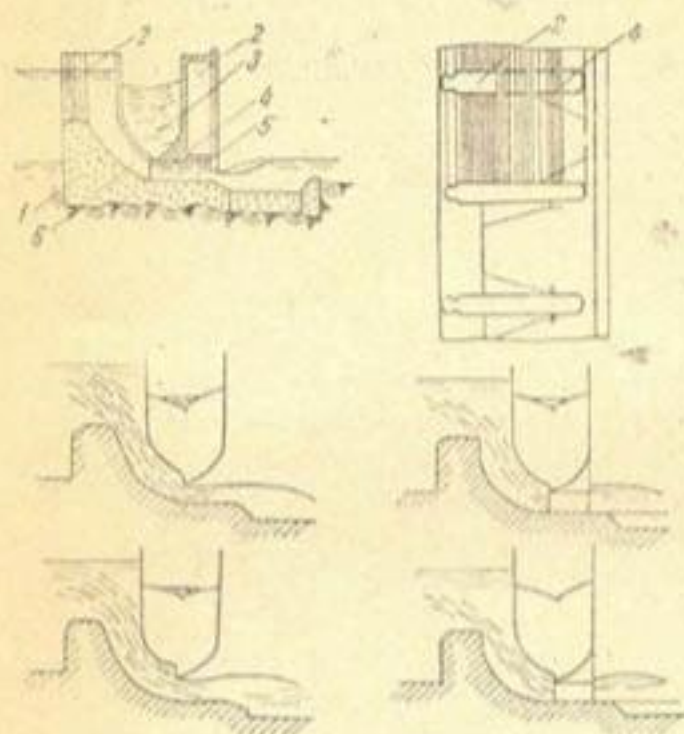


Рис. 56. Гидродинамическая схема водозабора П. Стратоберда:

1—плотина; 2—бычки; 3—лоток водозабора; 4—галерея; 5—шлюз; 6—труба.

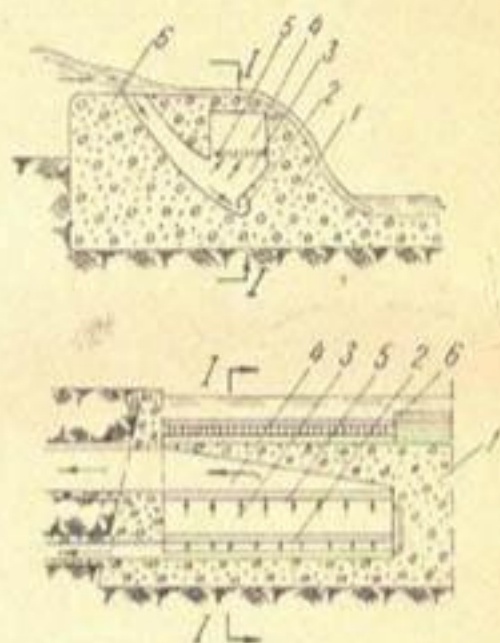


Рис. 57. Схема гидравлического сепаратора Ф. С. Салахова:

1—плотина; 2—промывная галерея; 3—сепаратор; 4—водоприемник; 5—решетка водоприемника; 6—решетка на гребне плотины.

запанию или же водозахватными воронками с поверхности воды в нижний бьеф.

Достоинства схемы следующие: хорошая очистка воды от наносов и бесперебойная подача ее в канал; отсутствие траншей и решеток, требующих очисток, сбросного шлюза и берегового шлюза-регулятора с отстойником, удешевляющих сооружение.

Предложенную И. Т. Колесниковым в 1965 г. схему «гидравлической сепарации наносов» изучил и испытал Ф. С. Салахов в гидротехнической лаборатории АзНИИГиМ (рис. 57). По схеме водосливная плотина распластанного профиля имеет по своей ширине водозахватную щель, перекрытую решеткой, не допускающей в нее крупных донных наносов. Поток с мелкими наносами под напором воды поступает в камеру гидравлического сепаратора с решеткой сверху, над которой расположена закрытая водоприемная галерея, отводящая осветленную воду в канал. В нижней части камеры размещается вторая щель, через которую насыщенная наносами вода устремляется в промывную галерею.

рею круглого сечения и далее в нижний бьеф сооружения. Вода и наносы входят в галерею по касательной, что вызывает в ней винтовое движение потока, увеличивающее его транспортирующую способность, повышение которой достигается устройством в торцевой части промывной галереи отверстия для подачи дополнительной воды.

Регулирование расхода воды, поступающей в канал и в сброс, производится щитами водозаборной и промывной галерей, устанавливаемыми в их концах. Промывной расход на модели доходил до 15% от всего пропускаемого расхода.

На модели осветленная вода через решетку плавно поступала в водоприемную галерею. Однородные донные наносы, превосходившие по гидравлической крупности величину восходящих скоростей в сепараторе, в водоприемник не поступали. При неоднородных наносах (гравий и мелкий песок) песок частично поднимался вверх и попадал в водоприемник, т. е. происходило сепарирование наносов по крупности.

Транспортирующая способность потока в промывной галерее была разной, в конце ее она увеличивалась. Промывной расход был насыщен наносами в пределах 30—40% от общего их веса.

Схема Ф. С. Салахова и И. Т. Колесникова обладает теми же преимуществами, что и схема П. Стратоберда. Однако закрытая конструкция водозабора является ее недостатком, который необходимо устранить при проектировании.

Схему Стратоберда, очевидно, не следует применять при строительстве плотины на потоке, несущем сели и деревья: решетки внутри замкнутой со всех сторон полости требуют специальных устройств для входа в них работников эксплуатации с целью производства ремонта, что удорожает сооружение.

Обе схемы являются новыми в области водозаборов решетчатого типа, нуждаются в доработках, моделировании и испытаниях в натуре.

Глава V

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОНСТРУКЦИЯМ ВОДОЗАБОРНЫХ ПЛОТИН СРЕДНЕЙ АЗИИ

Многолетний опыт сооружения водозаборных плотин и гидроузлов на реках Средней Азии показывает, что первые водозаборы местного типа, построенные на вогнутом берегу реки, были наиболее эффективны, с наименьшим завлечением наносов в каналы.

В 1925—1935 гг. началось строительство водозаборных узлов инженерного типа на многих реках Средней Азии. В то время в нашей стране отсутствовал достаточный опыт проектирования водозаборных плотин, а подражание зарубежным инженерным конструкциям без использования накопленного местного опыта водозабора оказалось неудачным. Детальное ознакомление в 1926 г. Н. Н. Павловского с иностранной технической литературой показало, что и за рубежом проектирование было не на высоте, рекомендации по выбору типа плотины отсутствовали.

Первая большая водозаборная плотина индийского типа — Первомайская, построенная в 1926—1929 гг. на р. Зарафшан, из-за недоучета в проекте огромного значения руслообразующих процессов верхнего бьефа необходимого водозабора не обеспечила.

Чумышская плотина на р. Чу (1934 г.) с послойным лобовым водозабором через боковые регуляторы системы Эльсдена также работала неудовлетворительно, так как ширина водяного фронта узла сооружений оказалась больше бытовой и устойчивой ширины русла. Длина струенаправляющих дамб верхнего бьефа оказалась недостаточной.

Араванская плотина (Аравансай, 1919 г.) с порогом, заложенным значительно ниже отметки среднего бытового дна, была занесена донными наносами и обойдена рекой из-за несвоевременного открытия затворов. В дальнейшем пороги плотины стали выполнять на отметках среднего бытового дна или выше, как например, на Сарыкурганской плотине — на 1,3 м. Это объяснялось стремлением избежать занесения наносами нижнего бьефа после окончания формирования верхнего.

В последние годы в проекте плотины Тешикташ для естественного и свободного пропуска донных наносов из верхнего бьефа в нижний наметилась тенденция минимального стеснения речного русла по вертикали.

Кугартская плотина (1931 г.) при значительных уклонах дна Кугартская с чрезмерной шириной водяного фронта и при отсутствии достаточного сжатия русла верхнего бьефа струенаправляющими дамбами в паводки оказалась подверженной неоднократным сосредоточенным ударам всего потока, что привело к крупным авариям, а затем и разрушению гидроузла. Для улучшения подхода воды струенаправ-

ляющие дамбы за 30 лет эксплуатации трижды сооружались заново с последовательным сжатием потока в плане.

Первые плотины индийского и других типов из-за отсутствия научно обоснованных принципов их расчета оказались в большинстве случаев неприемлемыми. В процессе упорной научно-теоретической и экспериментальной работы накоплен большой опыт по проектированию плотин послонного, а позднее — ферганского и решетчатого типов.

Переломным моментом в истории строительства водозаборных узлов Средней Азии явилось сооружение в 1939 г. на Карадарье Кампырраватской плотины ферганского типа с использованием мощных центробежных сил поперечной циркуляции всего потока. Бесперебойная двадцатитрехлетняя эксплуатация этого гидроузла при фактическом водозаборе до $210 \text{ м}^3/\text{сек}$ не требовала по существу производства крупных ремонтных или регулировочных работ и до настоящего времени обеспечивает почти безнасосный водозабор. Плотины ферганского типа быстро получили самое широкое распространение; непрерывно улучшались их компоновка и конструкции.

Тешикташская плотина (1960 г.) относится к лучшим образцам водозаборов послонного типа, где учтен опыт проектирования последних лет, что, однако, требует подтверждения эксплуатацией ее при больших расходах реки.

Построенная в 1961 г. Кызыл-Ординская и строящаяся с 1964 г. Казалинская плотины на р. Сырдарье являются примерами водозаборов послонного типа для низовых участков рек, несущих большое количество мелкопесчаных и илистых наносов.

Опубликованные в 1961 г. работы А. И. Арыковой и Р. Ж. Жулаева [6] по решетчатым плотинам, а также в 1962 г. А. П. Ушакова, В. Н. Шолохова и И. Я. Якштас [46] по плотинам ферганского типа обобщают многолетний опыт экспериментирования и дают конкретные рекомендации по компоновке и расчету этих сооружений.

До сих пор отсутствуют специальные работы подобного рода по водозабору послонного типа. Однако ценные указания имеются в последних проектах Средазгипроводхлопка и в исследованиях ИВПиГ АН УзССР [17, 45].

Ознакомление с построенными на реках Средней Азии плотинами различных типов и работами, опубликованными по ним, позволяет сделать следующие выводы.

КОМПОНОВКА ГИДРОУЗЛА

Плотины Ферганского и послонного типов облегчили борьбу с наносами при водозаборе, не допуская или уменьшая попадание их в каналы за счет сброса в нижний бьеф. Однако двадцатипятилетний опыт эксплуатации показал, что при проектировании необходимо представлять работу водозаборных плотин в комплексе всех мероприятий по использованию реки. Особое внимание при этом на отдельных участках реки и в различные периоды времени следует уделять изменениям режимов расходов воды, движения донных наносов, транспортирующей способности потока и продольного профиля дна вследствие строительства водохранилищ, водозаборных плотин и отбора воды на ирригацию.

Создание устойчивой ширины русла перед плотинной является первой задачей, подлежащей разрешению. После правильного определения ширины русла предгорного участка реки можно приступить к вопросам

компоновки гидроузла, а также к гидравлическим и гидротехническим расчетам по формулам гидравлики.

Надежные струенаправляющие дамбы верхнего бьефа, как показывают примеры последних лет, обязательны, очевидно, для всех типов плотин. Расчет их не отделим от вопроса об устойчивой ширине русла.

На Кампырраватской плотине ферганского типа длина струенаправляющих дамб равна 850 м. Они обеспечивают криволинейный изгиб всего потока и развивают центробежные силы инерции с необходимым отклонением наносов к одному берегу. На Тешикташской плотине полойного типа длина дамб составляет 2250 м. С их помощью происходит соединение отдельных русел обширной поймы в один параллельноструйный поток, нормально и спокойно подходящий ко всему фронту сооружения, что облегчает гравитационное отделение наносов в нижние слои и поступление их в промывные галереи.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ БЕЗНАНОСНОГО ВОДОЗАБОРА

После определения основных положений правильной компоновки водозаборных узлов увеличение процента безнаносного водозабора стало очередной проблемой. В настоящее время разработаны следующие мероприятия и конструкции, с помощью которых на плотинах ферганского и решетчатого типов безнаносный водозабор может быть повышен с 60 до 95 %.

1. Устройство местной поперечной циркуляции потока, отвлекающей наносы от регулятора путем соответствующего расположения пониженных сбросных отверстий щитовой плотины. Этот прием получил распространение в водозаборах решетчатого типа, а также рекомендован и выполняется при реконструкции Первомайской плотины, в которой предусматривается при двухстороннем водозаборе формирование двух береговых русел верхнего бьефа с боковыми сбросами при паводках в реку излишних расходов воды и наносов перед промывными карманами.

2. Вертикальные донные пороги на входах в промывные карманы или головные регуляторы, успешно применяемые на многих построенных гидроузлах для отклонения части донных наносов в реку. На Первомайской плотине они направляют наносы к боковым сбросным пролетам плотины. Работами ВМИГиМ установлено, что из косых или криволинейных порогов лучшими являются пороги выпуклой в плане кривизны перед входом в промывные карманы (рис. 58).

3. В 1964 г. старший научный сотрудник лаборатории водозаборов САНИИВПиГ З. И. Рядова изучила на моделях и предложила водозабор с «реактивным противонаносным порогом», который сооружается для обеспечения отвода наносов от водоприемника как дополнительный элемент плотины ферганского типа вместо Г-образного криволинейного порога. Предложенный порог состоит из системы поперечных донных стенок, примыкающих под некоторым углом к фронту регулятора. Реакция каждой последовательно стоящей стенки обуславливает появление перед ней зоны повышенного давления, в которую наносы не проникают. Эффективность борьбы с наносами определяется высотой, длиной, расстоянием между стенками и углом наклона их в плане к фронту регулятора. Стенки должны устанавливаться так, чтобы любая сторона каждой последующей устраняла зону пониженного давления за предшествующей. В этой конструкции обязательны также забральная стенка регулятора и определенная форма сопряжения

входного берегового устоя водопремника с откосом подводящего русла (ныряющая стенка). «Реактивный порог» позволил довести на модели коэффициент водозабора без захвата донных наносов до 0,90—0,95. Простота конструкции и отсутствие опасных в эксплуатационном отношении закрытых деталей для сброса наносов являются преимуществом «реактивного порога».

4. Горизонтальные выносные полки, впервые примененные в 1934 г. на Кугартской плотине. Они давали положительные результаты и в последующем. С 1961 г. на Первомайской плотине в тяжелых условиях заноса нижнего бьефа донными наносами и резкого ухудшения всего водозабора такие полки работают успешно совместно с повышенными порогами регуляторов. Вынос их в стороны карманов достиг здесь 4 м.

Разновидностью этих полок являются выносные козырьки потолка промывных галерей на многих плотинах послойного типа. Сущность происходящих на полках процессов подробно описана в научных работах С. И. Зинопьева и Н. А. Цветковой [14, 15, 48].

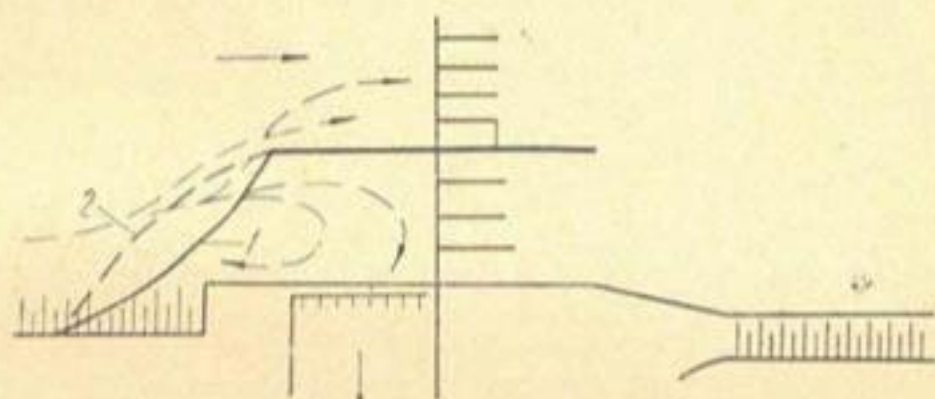


Рис. 58. Два варианта наносоотбойного порога промывного кармана головного регулятора:

1—вогнутой кривизны; 2—выпуклой кривизны.

5. Пороги-галереи и траншейные грависпесколовки, повышающие процент безнаносного водозабора с 60 до 95% и оказавшиеся особенно ценными при резком снижении расходов реки после паводков, когда наносы начинают поступать на пороги регуляторов. Траншейные песколовки хорошо работали на моделях Арысь-Туркестанской, Исфаринской, Куйлюкской плотин ферганского типа, на плотинах решетчатого типа: Панфиловской, Меркентской, Верхне-Талгарской ГЭС [6] и на головном участке Южного Ферганского канала.

6. Гидравлическое экранирование потока с внезапным его торможением на суженном входе в водоприемник, создающем область повышенного давления вверху и пониженного давления внизу перед промывными галереями. Оно успешно применено на построенной в 1956 г. Куршабской плотине, относящейся по существу к послойному типу водозабора [23, 24].

Все эти и некоторые другие мероприятия во многих случаях вводились в процессе эксплуатации для уменьшения неблагоприятных, возникающих в борьбе с донными наносами. Дальнейшая задача заключается, очевидно, в возможно расширенном и комплексном введении их в проекты до постройки гидроузлов, что может дать максимальный эффект при минимуме затрат.

7. Отстойники, являющиеся последней ступенью борьбы с донными наносами там, где не могут быть применены или же не дают надлежащего эффекта методы поперечной циркуляции послойного или решетча-

того водозаборов. Такие отстойники обязательны, по-видимому, на водозаборах в низовьях Амударьи и Сырдарьи.

Н. Н. Сурова и И. А. Якштас в ИВПиГ рекомендовали три способа борьбы с наносами в низовьях Амударьи:

- 1) удаление крупных фракций наносов на водозаборном узле;
- 2) устройство при малом проценте водозабора отстойников-песколовков в головах магистральных каналов с использованием для промывок напора на плотине;
- 3) установка дополнительных щелевых песколовков на сети каналов, где это необходимо.

В разрабатываемом варианте Тахиаташской плотины на Амударье наряду с расширением существующего последовательного водозабора обоих берегов предусматривается устройство на головных участках каналов отстойников и очистка наносов землесосами.

Донные промывные галереи Кзыл-Ординской плотины послойного типа обеспечивают борьбу с мелкими фракциями донных наносов лишь частично. Поэтому здесь необходимо устроить отстойники на каналах.

На Куйганьярском узле борьба с донными наносами сбросом их через левые пролеты плотины и песколовку перед регулятором оказывается недостаточной, особенно при спаде паводка или же в маловодные годы, когда вся вода забирается в БФК. В 1962 г. в головной части канала закончено сооружение двухсекционного отстойника длиной 3,5 км со сбросом в Карадарью, и осенью было приступлено к промывке наносов, что является наилучшим решением вопроса в данном случае.

ФЛЮТБЕТЫ ВОДОЗАБОРНЫХ ПЛОТИН

К настоящему времени разработаны проекты и опубликованы исследовательские работы, в которых имеются подробные ценные указания о конструкции отдельных частей водозаборных плотин. Цель этих рекомендаций — обеспечение надежности и долговечности сооружения. Отметим общие тенденции развития таких конструкций.

В первые годы перед плотинами происходит усиленное отложение наносов, повышение дна и горизонтов воды с одновременным понижением их в нижнем бьефе. Увеличивается действующий напор, что приводит к явлениям отогнанного прыжка, размывам и разрушениям концевых частей сооружений. После занесения верхнего бьефа количество проходящих через плотину донных наносов резко возрастает.

На некоторых плотинах со стороны верхнего бьефа при блужданиях и сосредоточенных ударах незарегулированного потока были случаи подмыва понура и флютбета, возможность чего в проектах обычно недоучитывалась.

Невысокое качество работ и несвоевременное проведение профилактических ремонтов в отдельных случаях приводили к тяжелым последствиям.

Условия работы первых водозаборных плотин Средней Азии отражены в табл. 6. На рис. 59 приведены схематические разрезы флютбетов этих плотин, из которых видно, что обязательное устройство расчетного водобойного колодца и длинной железобетонной рисбермы уступает место короткому водобою и массивной наклонной рисберме из бетона или железобетона, переходящей в заглубленный низовой зуб. Этим достигается большая независимость меняющихся по годам отметок дна и горизонтов воды нижнего бьефа и уменьшается разрушающее действие донных наносов. Развитие же необходимых путей фильтра-

ции частично обеспечивается удлиненным и наклоненным в сторону верхнего бьефа железобетонным понуром.

Проектная длина флютбета плотины Кампыррават при отсутствии понура и рисбермы составляла лишь 5 м. Слабые хлоритовые сланцы в процессе строительства были укреплены бетонной плитой толщиной 0,5 м, уложенной перед и за флютбетом на дне котлована с крупногабаритной каменной наброской поверху. Из-за легкости выполнения, гибкости и долговечности каменная наброска получила самое широкое распространение и на других гидросооружениях Андиганской области. Иногда она с успехом заменяет устройство сложных водобойных колодцев и барражей.

Т а б л и ц а 6

Эксплуатационные показатели некоторых плотин Средней Азии

Отметка порога и состояние дна	Первомай- ская, 1929 г.	Кугартская, 1931 г.	Чуммаш- ская, 1934 г.	Кампыр- раватская, 1939 г.	Саргокру- ганская, 1947 г.
Высота порога относи- тельно отметки сред- него дна русла, м	0	-0,5	+0,5	-1	+1,3
Продолжительность пе- реформирования верх- него бьефа, лет	10		5	2	3
Максимальный наблю- денный размыв ниж- него бьефа, м	-6	-3,5	-1,5	-1,5	-2
Максимальный занос нижнего бьефа, м	+2,5	+0,5	+2,5	+1	-
Сток донных наносов в год, тыс. м ³	208	250	190	120	200

Борьба с разрушающим действием донных наносов, в огромном количестве и в сравнительно короткие сроки проходящих через плотину, производится облицовкой бетона тесаным гранитом, повышением марки бетона, приготовляемого на гранитной или диоритовой щебенке, покрытием бетона чугунными плитами, а в последнее время — плитами из нержавеющей стали толщиной до 20 мм. Проводятся опыты с пластобетоном из смеси песчано-галечного грунта с пластификатом или фурфуролом на химических агентах. Стоимость пластобетона в 4 раза выше обычного, но долговечность его еще не выяснена.

Через несколько лет эксплуатации на флютбете начинает сказываться разрушающее действие наносов, при отсутствии своевременных профилактических ремонтов приводящее к авариям. После 12 лет эксплуатации плотины Кампыррават в местах завихрений потока с наносами чугунная облицовка и бетон оказались протертыми на глубину более 1 м, а открывшийся доступ в дюкер флютбета занесен гравием и песком. Это случилось, несмотря на отличное качество выполненных работ, из-за невыполнения своевременных профилактических ремонтов.

На Первомайской плотине облицовка из тесаного гранита площадью 4900 м² и толщиной 0,4 м прослужила частично свыше 33 лет. В проекте реконструкции учитывается замена половины ее площади литым камнем. Из-за высокой стоимости и трудоемкости работ применение гранитной облицовки на вновь строящихся плотинах вряд ли целесообразно.

Наряду с поисками новых способов остаются существующие методы крепления с комплексным применением чугунной облицовки и бетона высоких марок на гранитной или диоритовой щебенке. При этом необходимы своевременные высококачественные ремонты и усиленная армировка бетона.

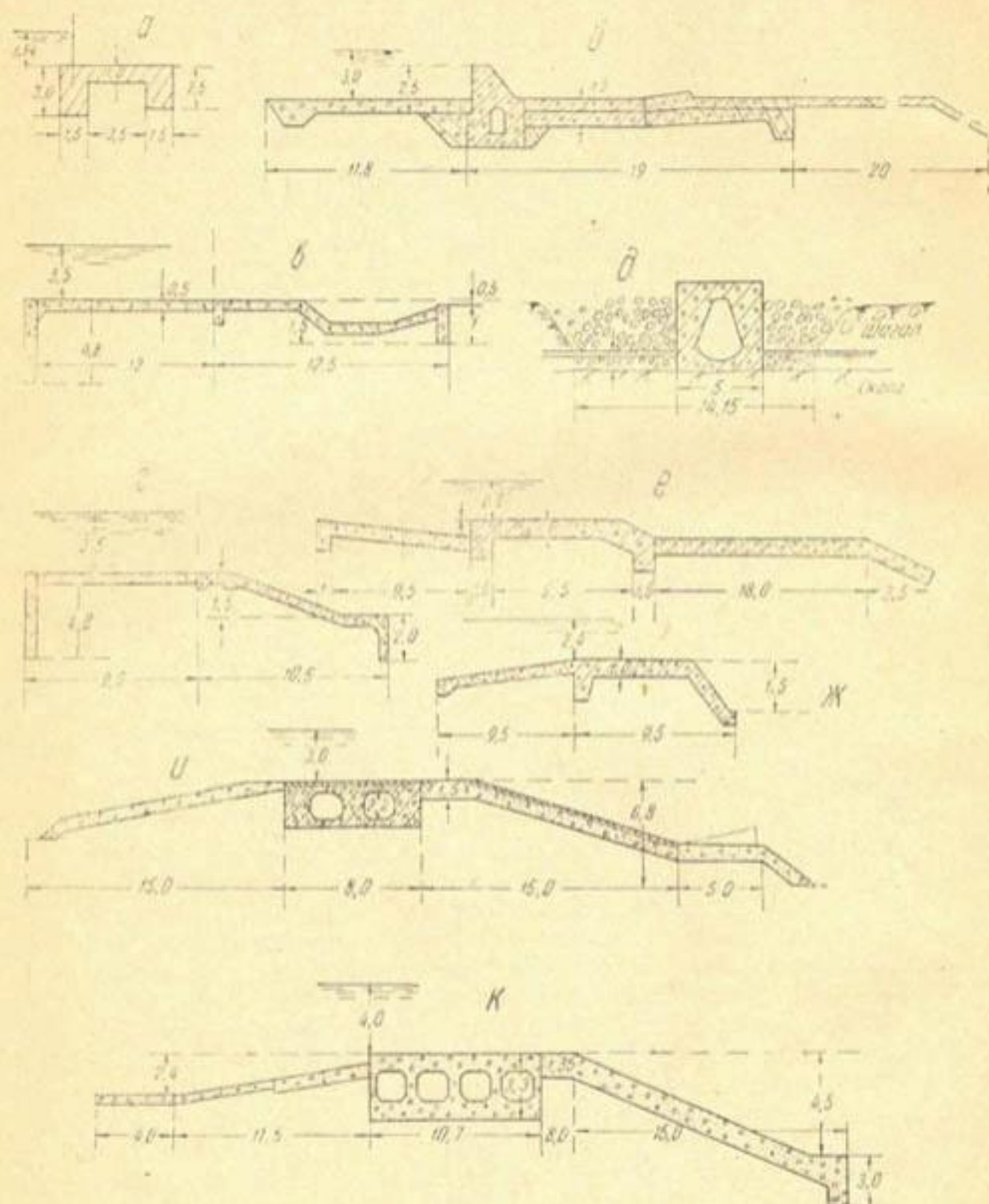


Рис. 59. Флютбеты водсборных плотин:

а — рододелителя у Разватожди; б — Первомайской; в — Кутартсайской; г — реконструированной Кутартсайской; д — Кампырватской; е — Ханака; ж — реконструированной Ханака; з — Сарыкурганской; к — Дамходжинской (размеры в метрах).

СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩИЕ ДАМБЫ

В настоящее время струенаправляющие дамбы стали обязательными для плотин ферганского, послойного и решетчатого типов, так как они обеспечивают сохранность берегов, статическую устойчивость сооружения при равномерном или криволинейном подходе потока, а также борьбу с донными наносами.

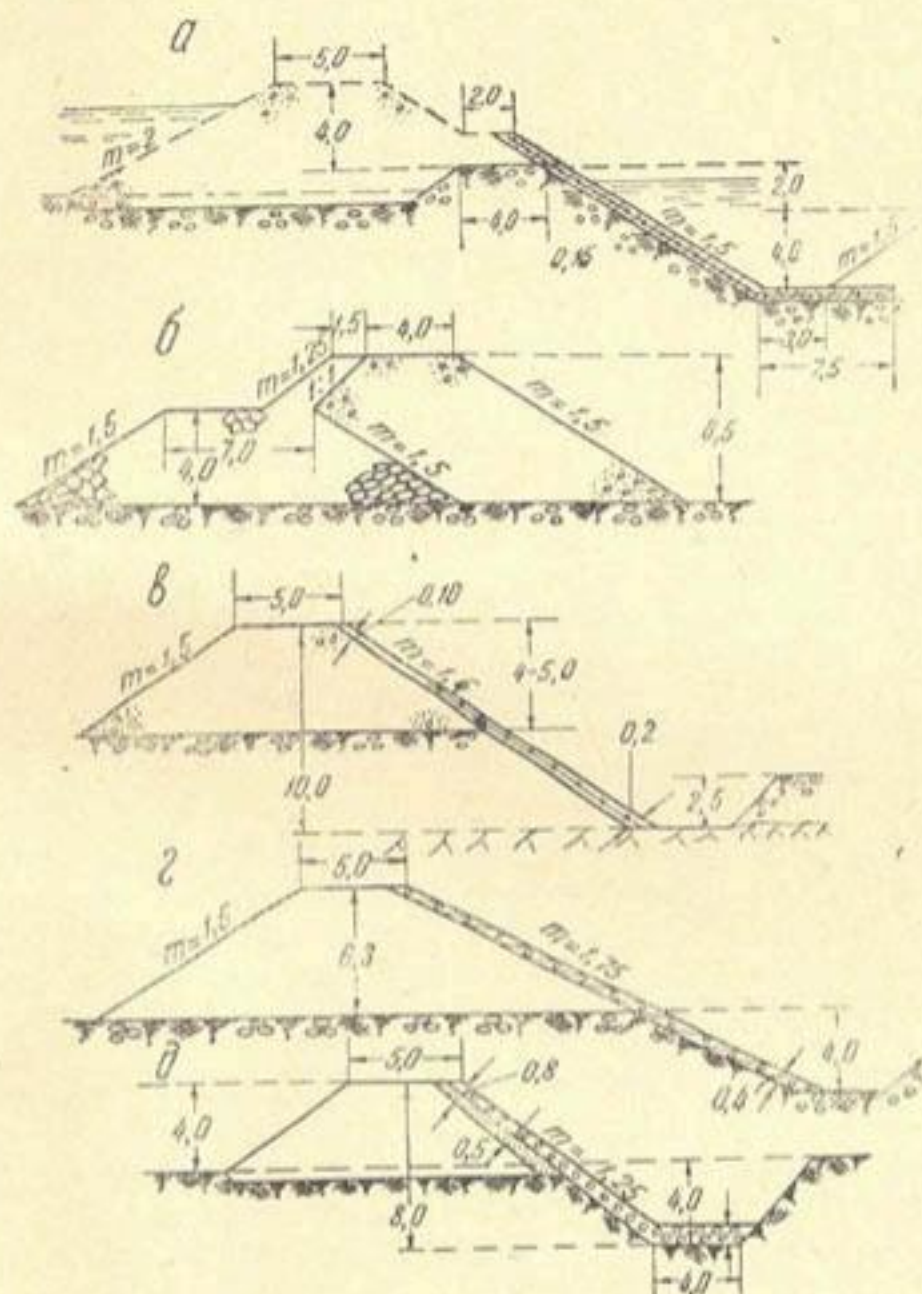


Рис. 60. Поперечные сечения береговых дамб водозаборных плотин:

а—Первомайской; б—Кампырратской; в—Тешикташской; г—Сарыкурганской; д—Араванской (размеры в метрах).

На построенных в Средней Азии плотинах издавна сооружались дамбы из разных материалов. На рис. 60 схематически изображены типовые поперечные профили дамб Первомайской, Кампырратской, Сарыкурганской и Тешикташской плотин.

Сипайно-таштуганские дамбы на головном участке подводящего канала Шаарихан—Андижан показали полную свою ненадежность, приведшую в 1936 г. к крупнейшей аварии. Они оказались также экономически невыгодными, так как требовали ежегодных ремонтов. Они были заменены каменной наброской.

Бутобетонное крепление низовых дамб Сарыкурганской плотины на р. Сох оказалось под угрозой повреждения при заглублинии дна русла, но удовлетворительно работает до настоящего времени в верхнем бьефе, где такого заглублинии нет.

Железобетонное крепление верховой дамбы Первомайской плотины, несмотря на наличие развитого гибкого тьюфяка, при сосредоточенном ударе потока в паводок оказалось частично разрушенным наносами. Здесь пострадала также и габионная дамба вследствие перетирания металлической сетки галькой и валунами.

Большие дамбы Тешикташской плотины возведены из песчано-галечного грунта и покрыты железобетонной облицовкой, доведенной по откосу до скалы на высоту 15 м. Сплошная арматура из 6 мм металлической сетки укладывалась здесь секциями длиной по 60 м с рабочими швами через каждые 4 м*. Толщина плиты изменяется от 10 см наверху до 20 см внизу.

Укрепление дамб неармированной бетонной облицовкой при отрицательных зимних температурах в Средней Азии рекомендовано быть не может, тем более в руслах рек, несущих донные наносы. К сожалению, работы без арматуры нередко производятся и до настоящего времени.

Песчано-галечные дамбы плотины Кампыррават, укрепленные по откосам и у подошвы основания крупногабаритной каменной наброской весом от 0,25 до 7 т, до сих пор не требовали ремонта и после 23 лет эксплуатации находятся в отличном состоянии.

Крепление мокрых откосов земляных плотин Фархадской и Кайраккумской ГЭС состоит из нижнего песчано-галечного слоя подготовки толщиной 0,8 м и верхнего слоя камня толщиной 1 м. Как показывает опыт эксплуатации, уменьшение этой толщины для подобных водохранилищ из-за разрушительного действия волны рекомендовано быть не может.

Верхняя половина откосов деривационного канала Фархадской ГЭС облицована постелистым известняком и песчаником на слое каменной мелочи общей толщиной 0,5 м и объемом 236 тыс. м³. С течением времени это крепление закальматировалось и стало еще более устойчивым. Незначительные ремонты производились лишь в местах просадок грунта.

В результате долголетнего опыта эксплуатации лучшим видом крепления берегов рек следует признать надлежащим образом запроектированную и выполненную каменную наброску, обладающую необходимой гибкостью и большой долговечностью. При отсутствии камня может быть применена высококачественная железобетонная облицовка с гибким тьюфяком внизу.

Технико-экономическое сравнение защитных дамб первых плотин Средней Азии дано в табл. 7.

ОСАДОЧНЫЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШВЫ

Практика строительства и эксплуатации водозаборных плотин в Средней Азии показала, что конструкции осадочных и температурных швов во многих случаях оказывались неудачными и трудновыполнимыми. В значительной степени это объяснялось несогласованностью действия проектировщиков и строителей [11, 50, 52, 53].

* Нормами Мелиоративного бюро США по условиям коррозии разрешается применение арматуры диаметром не менее 10 мм.

Назначение швов заключается в недопущении образования трещин в бетоне при его осадках и вследствие температурных изменений, а также в возможности бетонирования сооружения отдельными блоками*.

Опыт эксплуатации говорит о необходимости учета следующих основных положений производственного порядка:

1. Поверхность осадочного шва должна быть строго вертикальной и гладкой, что обеспечивает свободу вертикальных осадок и препятствует раскрытию шва. Опалубка требует высокого качества изготовления и установки. При повторном использовании поверхность ее необходимо тщательно очищать от остатков бетона. Случайные раковины

Т а б л и ц а

Объемы и стоимости (в ценах 1964 г.) 1 пог. м длины защитных дамб водозаборных плотин Средней Азии

Плотина	Выемка	Насыль	Каменная наброска	Бутобетон	Железобетон	Общая стоимость	
						руб.	%
Араванская	40 4,8	45 13,5	20 43	—	—	66,3	35
Первомайская	40 4,8	15 4,5	—	—	5 180	189,3	100
Первомайская (реконструкция)	—	70 21	—	—	1 36	57	30
Кампырватская	—	50 65	50 120	—	—	185	97
Сарыкурганская	41 5,3	100 30	—	12 57,7	—	93	50
Тешикташская	25 3	65 19,5	—	—	3 108	130,5	70

П р и м е ч а н и я. 1. Стоимость Первомайской плотины принята за 100%.
2. В числителе показан объем в кубометрах, в знаменателе—стоимость в рублях.

в бетоне следует затирать песчано-цементным раствором тотчас после снятия опалубки. В плотинах средних и высоких напоров лицевая поверхность шва для повышения его водонепроницаемости делается гребенчатого очертания в горизонтальном разрезе.

2. Устаревшие методы прокладки просмоленных канатов, досок, толя или же оклейки просмоленной мешковиной не дают плотного прилегания к бетону, трудно выполнимы и поэтому не рекомендуются. Промазка горячим битумом требует много материалов и времени и в разогретом состоянии опасна.

В результате упорной и многолетней работы лаборатории ВНИИГ, руководимой П. Д. Глебовым, был разработан высокопрогрессивный метод заполнения швов кораствором и холодной битумной мастикой. В производственных масштабах в Советском Союзе этот метод впервые применен в 1956 г. на строительстве Кайраккумской ГЭС, затем в еще больших размерах на Волгоградгэсстрое, а сейчас получил самое широкое распространение во всем советском гидроэнергостроительстве [11]. Сооружение в 1958 г. стадиона в Ленинграде показало, что рассматри-

* В монолитной бетонной подпорно-прочной плотине, сооруженной в 1927 г. выше г. Голливуда (США), образовались сквозные радиальные трещины толщиной до 1 см, что повлекло за собой невозможность полного наполнения водохранилища.

ваемый метод с успехом можно использовать и в промжилстроительстве, заменяя оклеечные гидроизоляции из толя, руберойда и других материалов холодной асфальтовой мастикой, однако должного признания в этой области он еще не получил.

3. Распространенная у нас толщина температурных швов в 2—5 см, по-видимому, завышена. При наличии строго вертикального шва гребенчатого очертания она может быть значительно уменьшена*.

Конструкции применяемых сейчас швов по характеру их работы можно разбить на группы, указанные на рис. 61 и 62. Горизонтальные

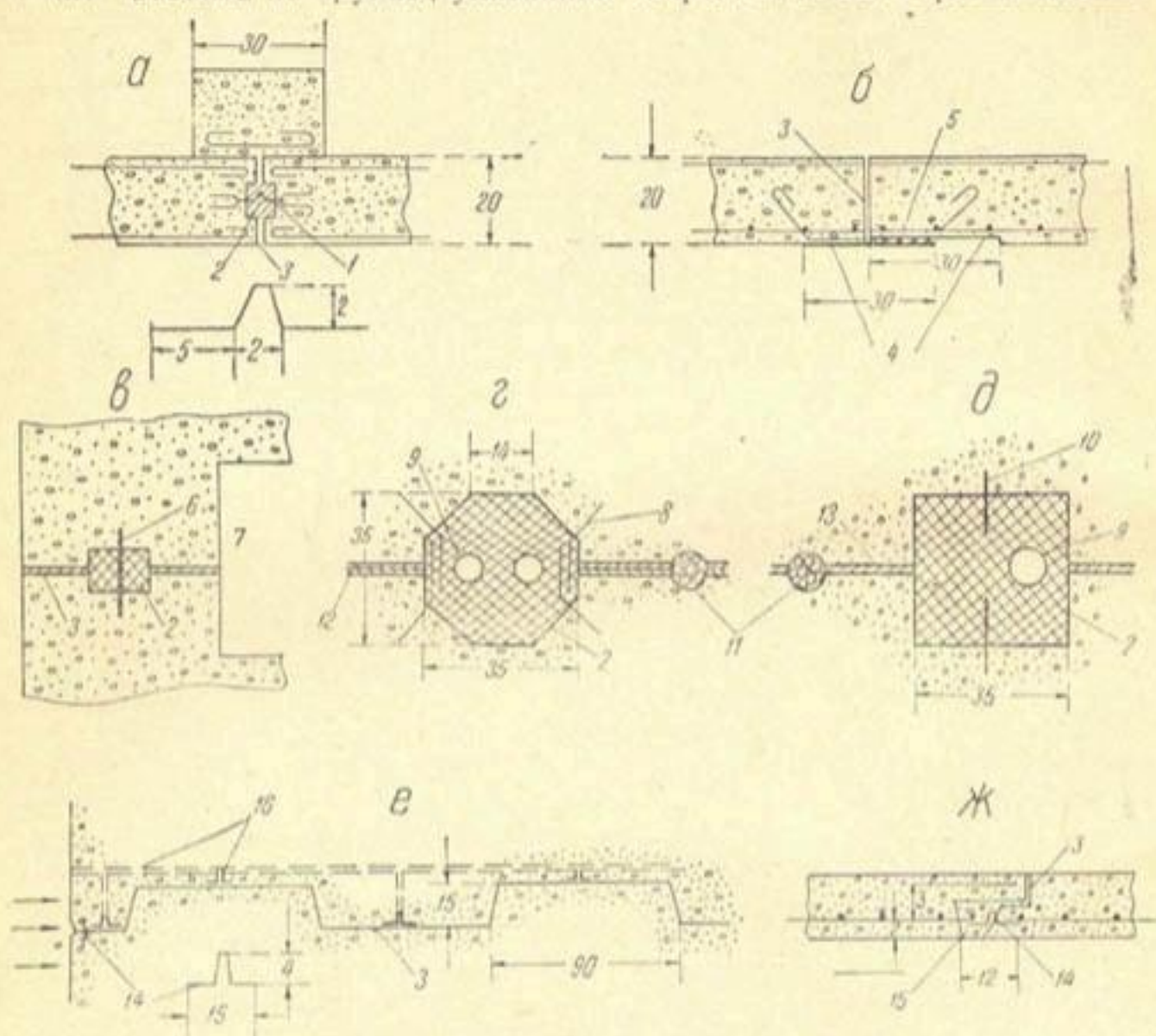


Рис. 61. Осадочные и температурные швы:

а — кольца дюкера Туш; б — железобетонного трубопровода насосной станции Самгар; в — напорного бассейна Фархадской ГЭС; г — плотина Камской ГЭС; д — плотина Кайраккумской ГЭС; е — плотина Оуайи, США; ж — сборного напорного трубопровода Мелиоративного бюро США; з — кольцевая латунная диафрагма; 1 — битумная мастика; 2 — просмоленная мешковина; 3 — стальное кольцо (300×6 мм); 4 — сальниковая набивка; 5 — стальной лист (320×6 мм); 6 — дренажный колодец; 7 — нержавеющая сталь (220×1 мм); 8 — стальные трубы для разогрева мастики (48×41 мм); 9 — нержавеющая сталь (150×2 мм); 10 — просмоленный канат диаметром 67 мм; 11 — два слоя битумных мат толщиной 40 мм; 12 — холодная битумная мастика толщиной 20 мм; 13 — мезная диафрагма; 14 — цементация замка; 15 — цементационные трубы (размеры в сантиметрах).

швы флютбетов при небольших напорах могут выполняться с покрытием гладкой поверхности бетона одним или двумя слоями кораствора из битума Б-3 с керосином в отношении 60:40 для первого и 40:60 — для второго слоя. При увеличении напора и ответственности шва он снаб-

* Температурные швы высоких бетонных плотин США, расположенные вертикально через каждые 15 м, покрываются тонким слоем кораствора.

жается шпонкой с волнистой пластинкой из нержавеющей стали. Шпонка заполняется битумной мастикой. Под таким швом часто прокладывается обратный фильтр.

Круговые температурные швы дюкера и потерн, располагаемых во флютбетах или водосливах плотин, должны иметь водонепроницаемые шпонки с волнистыми пластинками из меди, латуни или нержавеющей стали, соединенные на длине окружности медными заклепками. Впервые такие шпонки были введены на строительстве дюкеров в долине Сурхандарьи в 1931—1935 гг. и хорошо работают до настоящего времени (рис. 61а).

На сооружении в 1960 г. высоконапорных железобетонных трубопроводов Самгарской и Ходжа-Бакирганской оросительных систем ТаджССР хорошо работают при отсутствии меди, латуни и нержавеющей стали телескопические швы (рис. 61б), допускающие свободную

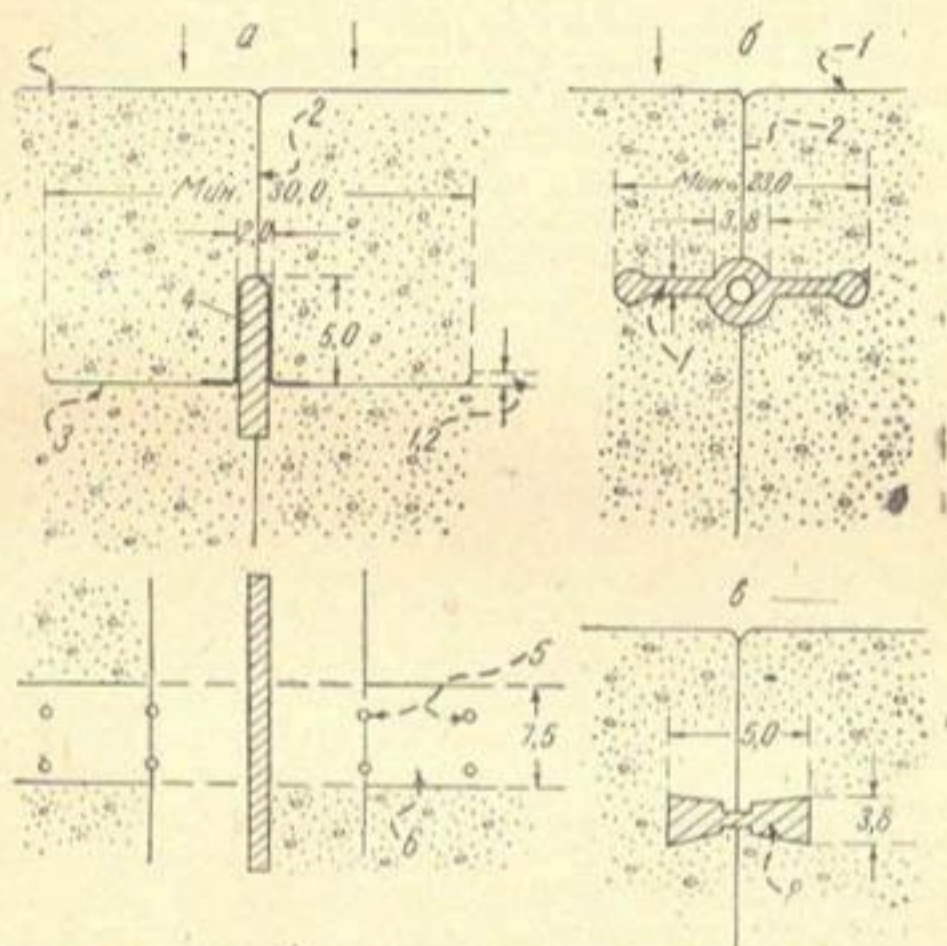


Рис 62. Водонепроницаемые шпонки конструктивных швов, применяемых в США и Англии:

а—шов с медной диафрагмой; б—с резиновой шпонкой для высоких давлений; в—для низких давлений и облицовки каналов; 1—верхняя грань плиты со стороны воды; 2—поверхность шва, покрытая битумной мастикой; 3—медная пластинка толщиной 1,5 мм; 4—кораствор; 5—медные заклепки впопай; 6—пластинка перекрытия; 7—лист антикоррозийной резины; 8—резиновая шпонка (размеры в сантиметрах).

деформацию железобетонных секций длиной до 40 м. Эти швы при профилактических опорожнениях трубопроводов легко уплотняются салниковой набивкой.

Многочисленные попытки применения швов иных конструкций были обычно неудачными или же давали значительно худшие результаты. Сборные железобетонные трубопроводы средних и больших напоров можно оборудовать медными или латунными диафрагмами в швах. На рис. 61 ж показана конструкция такого стандартного шва Мелниоративного бюро США.

Вертикальные осадочные швы плотин средних напоров, располо-

женных на аллювиальных или лессовых грунтах и подверженных значительным осадкам, перекрытые диафрагмами из листовой стали (рис. 61а) с наглухо заделанными в бетон краями, раньше проектировались неудачно. При неравномерных осадках напорного бассейна Фархадской ГЭС в одном из таких швов край диафрагмы был вырван из бетона, что сопровождалось большой фильтрацией в обход.

После подобных случаев широкое распространение получили шпунтовые швы из двух независимых диафрагм, погруженных свободными концами в битумную мастику шпонки. Эти швы водонепроницаемы и допускают разность вертикальных осадок. Такая конструкция успешно действует в ответственных швах быков и устоев Камской (рис. 61б) и Кайраккумской (рис. 61в) ГЭС, защищая машинные залы от напора воды обоих бьефов.

Конструктивные швы высоконапорных, расположенных обычно на скальных основаниях плотин США, где разность осадок минимальна, имеют следующие особенности: гребенчатое в плане очертание, две медные диафрагмы с верхнего и нижнего бьефов, покрытие поверхности шва тонким слоем кораствора, цементацию шва под давлением через сложную систему труб в холодное время года. На рис. 61е приведена схема такого радиально-конструктивного шва на плотине Оуайи (США). Вдоль поверхности шва размещена система цементационных труб. После бетонирования плотины в холодное время года, обычно осенью, производится тщательная цементация шва снизу вверх под давлением не менее 12 кг/см^2 , что не допускает расширения бетона и вызывает напряжение сжатия.

Такие швы успешно работают на всех высоких плотинах Мелиоративного бюро США, например Black Canyon (постройки 1924 г.), American Falls (1927 г.), Deadwood (1930), Stony George (1931 г.), Gibson (1931 г.), Easton (1931 г.), Owhhee (1932 г.) и многих других, сооруженных позднее.

Успех цементации зависит от непроницаемости пустого шва для цементного раствора, достигаемой размещением поперек шва гибких медных или алюминиевых диафрагм (для больших напоров), специальных резиновых антикоррозийных листов или же битумных замков со стороны напорной и низовой граней. Материал замков должен обладать водонепроницаемостью и эластичностью, не теряющимися со временем, а также устойчивостью против воздействия электричества.

В условиях Средней Азии наружный нагрев бетона может доходить до 35° , среднегодовая температура бетона — до 15° и разница температур до 20° . При коэффициенте расширения бетона 0,000012 и расстоянии между швами 15 м удлинение одного блока плотины (или же теоретически возможное сжатие шва) достигнет 3,6 мм. При заполнении такого шва битумом или мастиками исключается возможность выдавливания их наружу со всей поверхности шва.

Перемещение блоков при неодинаковых осадках из-за неровностей бетона и больших сил трения, могущих вызвать в отдельных случаях его скалывание, также затруднительно. Таким образом, швы фактически не работают ни как температурные, ни как осадочные. Такой же эффект получается и при оставлении большей части полости шва незаполненной, так как плотные водонепроницаемые соединения такого шва вдоль верховой и низовой граней затрудняют температурные деформации, что подтверждено опытом эксплуатации.

Следовательно, применение Мелиоративным бюро США нерасширяющихся замкнутых швов целесообразно. При этом желательно подбирать размеры блоков плотины с равным удельным давлением на основании, а

также выдерживать максимум времени после сооружения плотины и до закрытия швов.

Температурные швы монолитной железобетонной облицовки дамб водозаборных плотин, покрытых кораствором или битумной мастикой, могут располагаться через каждые 50—100 м и более. Панели на всю длину должны армироваться стальными прутьями периодического профиля диаметром не менее 10 мм, соединяемыми электросваркой, толщина бетонной плиты может быть сверху 10 и понизу — 20 см.

Приведенные примеры показывают основные принципы конструирования швов для разных условий их работы. Тщательность выполнения и высокое качество работ служит залогом их водонепроницаемости и долговечности.

ЗАТВОРЫ И ПОДЪЕМНИКИ

Важными элементами конструкций водозаборных плотин являются затворы и подъемники, от которых зависит надежность и легкость эксплуатации всего гидроузла.

После аварийных случаев на Аравансайской плотине и Раватходжинском водodelителе гидротехники Средней Азии стали отдавать предпочтение более легким в исполнении водосливным плотинам. В последующие годы выявились значительные преимущества щитовых водозаборных плотин в управлении рекой, обеспечении водозабора и борьбе с наносами.

Сейчас водосливы применяются больше всего как ограниченная часть бодяного фронта плотины для пропуска пика максимального паводка. При этом необходимая устойчивая ширина подводящего русла достигается в некоторых случаях боковым расположением водослива.

Далее наметилась тенденция минимального стеснения потока по вертикали с пропуском всех наносов через плотину. Это устраняет занос верхнего и размыв нижнего бьефов в первые годы работы сооружения. Затем начинается завал нижнего бьефа, затрудняющий эксплуатацию плотины. Щитовые плотины имеют в этом отношении явное преимущество перед глухими водосливами.

Надежность и быстрота маневрирования затворами обеспечивается индивидуальными электрифицированными подъемниками или же передвижными порталными кранами для затворов больших пролетов и напоров. В последнее время для этой цели используются средства автоматики и телемеханики.

Выбор типа затвора зависит от многих обстоятельств и прежде всего от величины пролета и напора.

Восемь пролетов плотины Фархадской ГЭС на Сырдарье шириной и напором по 10 м с плоскими колесными затворами оборудованы одним рабочим и одним резервным передвижными порталными кранами. В процессе эксплуатации кранов выявились крупные дефекты:

1) запас над нормальным подпертым горизонтом при высоте волны в водохранилище до 2,5 м приводит к переливам воды, что вызвало необходимость наращивания затворов;

2) недоучет огромных сосредоточенных усилий, передаваемых затворами на основные опорные или даже боковые вспомогательные пути, приводит иногда к их разрушению. В первые годы эксплуатации Фархадского водохранилища зимой продергивались рабочие затворы плотины во избежание полного вмерзания их в пазы. Часть основных путей, выполненных по условиям военного времени из сварных уголков тяжелого профиля, оказалась разрушенной. В течение двух лет все пути нужно было заменить литыми рельсами специального профиля.

На плотине Кайраккумской ГЭС опорные пути направляющих катков стали разрушаться из-за недостаточно продуманного размещения арматуры в бетоне при перекосе рабочего затвора одного пролета.

Эти случаи свидетельствуют о необходимости учета всех возможных комбинаций нагрузок при применении литых рельс специальных профилей и противообледенительных устройств в пазах.

На этой же плотине впервые в Средней Азии в 1957 г. вместо подвижных катков успешно применены опорно-ходовые части плоских затворов с опорно-ходовыми частями из древесно-волокнутого пластика ДСП. Отдельные марки строганых рельс длиной по 8—9 м, установленные строго по вертикали, обеспечили сплошное прилегание к ним лигнофолевых полозьев, смонтированных на обшивке затворов. Следует чаще применять эту простую конструкцию и на затворах меньших размеров.

Ценные указания по технологическому совершенствованию отдельных частей и узлов плоских затворов дает В. Ф. Донченко [10].

Рабочие пролеты Кызыл-Ординской и строящейся Казалинской плотин на Сырдарье перекрываются плоскими колесными затворами-пролетами по 16 м.

Затворы головных регуляторов водозаборных плотин применяются как сегментные, так и плоские. Плоские затворы более компактны и поэтому более распространены. Попытки использовать только шандоры (без затворов) оканчивались обычно неудачно. Значительная трудоемкость операций с шандорами и добавочное поступление наносов при отсутствии шандор свидетельствуют о необходимости применения шандор и затворов одновременно.

Сегментные затворы используются для перекрытия пролетов низконапорных плотин. В проекте Первомайской плотины (1926 г.) при эскизном сравнении затворов разных типов предпочтение отдано сегментным затворам с пролетами по 10 м, так как они имеют почти одинаковую стоимость с затворами Стоinea, в них отсутствуют засоряющиеся пазы и для них требуются меньшие подъемные усилия, а также высота быков при креплении концов подъемных тяг к низовым частям затворов.

В 1931 г. инж. Э. Э. Пеплов составил руководство по расчету сегментных затворов. При косом расположении опорных ферм в плане ригели обшивки работают как двухконсольные балки, что дает экономию металла. Такие затворы получили широкое распространение на водозаборных плотинах и ирригационных узлах Средней Азии, но затем предпочтение было отдано плоским затворам¹.

Сегментные затворы плотины Кампыррзват с пролетами по 15 м и напором в 3,5 м являются самыми большими в Средней Азии. Индивидуальные электролебедки с редукторами, расположенными посередине служебных мостиков пролетов этой плотины, дают возможность одновременно открыть их за 7 мин. При перерывах в энергоснабжении в ответственные моменты нарастания паводка наличие резервных лебедок ручного подъема полностью себя оправдало. Подъем одного затвора производится четырьмя рабочими с большим трудом. Это следует отнести к недостаткам конструкции ручных лебедок. Затворы эксплуатируются нормально свыше 25 лет, нижние части затворов сильно истерты булыжником.

Пролеты будущей плотины Тахиаташ на Амударье также предполагается перекрывать сегментными затворами 16×5 м.

¹ В США сегментные затворы широко распространены под названием радиальных. В 20-х годах Мелиоративное бюро США ввело стандарт размеров для 50 затворов габаритами от 1,8×1,2 до 6×3,3 м с комплектами готовых чертежей, что устранило надобность в проектировании. Затворы крупных размеров проектируются индивидуально и снабжаются обычно противовесами на продолжениях опорных ферм.

Низконапорные плоские колесные затворы средних и малых размеров получили большое распространение. Они проектируются сейчас с электрифицированными подъемниками, это устраняет надобность в увеличении высоты быков и служебных мостиков. Винтовые тяги размещаются в пазах быков. Преимущества таких затворов по сравнению с сегментными состоят в компактности расположения, обусловленной уменьшением размеров всего сооружения.

В осуществляемом проекте реконструкции Первомайской плотины глухой водослив шириной 139 м заменяется щитовой плотиной, перекрываемой плоскими восьмиметровыми колесными затворами. Из них четыре затвора в пролетах сбросов при напоре 4,8 м делаются сдвоенными.

Автоматические затворы М. Ф. Финке принадлежат к числу новых конструкций. Они смонтированы на некоторых небольших гидроузлах Средней Азии, хорошо саморегулируются для заданного горизонта воды и удобны на деривациях ГЭС. Однако при сильных изменениях уровня воды в реке регулирование этими затворами осложняется, поэтому в проекте реконструкции Первомайской плотины приняты плоские колесные затворы с подъемниками.

В описанных плотинах смонтировано 226 плоских и лишь 28 сегментных затворов.

В последние 20 лет сегментные затворы на плотинах не применялись. Однако большие пролеты плотины Тахиаташ предполагается перекрыть сегментными затворами 16×5 м.

Мелиоративное бюро США, сначала отдавшее предпочтение некоторым западноевропейским конструкциям затворов больших пролетов, например вальцовым, теперь остановилось на плоских и сегментных затворах. При этом сегментные затворы малых пролетов часто автоматизируются при помощи металлических поплавков, размещаемых в колодцах устоев или быков. При больших пролетах они снабжаются противовесами на концах опорных ферм.

Огромное распространение в США при средних и малых напорах получили «барабанные» сегментные затворы гидравлического действия «drum gates» с переливом воды поверху и опусканием затворов в ниши бетонных порогов водосливов. Почти все водосливы водохранилищных плотин США снабжены такими затворами. Максимальные габариты их достигают $41 \times 8,5$ м.

АРХИТЕКТУРА

При сооружении на реках Средней Азии водозаборных узлов вопросам архитектурного оформления во многих случаях уделялось недостаточное внимание. После осмотра отечественных и зарубежных плотин и ознакомления с литературой [53] мы сделали некоторые выводы.

В результате сооружения крупного гидротехнического узла, особенно высокой плотины с водохранилищем, неизбежно изменяется окружающий ландшафт. Эти изменения могут усилить природную красоту или же обеднить ее (рис. 63, 64).

В равнинных условиях более естествен повышенный силуэт сооружения, а в горных — наоборот. В обоих случаях архитектурно-планировочное решение должно способствовать образованию видовых перспектив, гармонично сливающихся с местностью. Все сооружение должно как бы вписываться в природу, а отдельные части его гармонизировать друг с другом. При сооружении плотины Кампырват непреодолимые, казалось, трудности архитектурного решения при криволинейности ее в плане и при наличии высокого служебного моста для подъемников затворов успешно

разрешены группой архитекторов в содружестве со строителями (рис. 65). Сейчас эта плотина является одной из наиболее удачных в Средней Азии в архитектурном отношении. Криволинейный проезжий мост хорошо оформлен железобетонными перилами (рис. 63 а). После размещения на

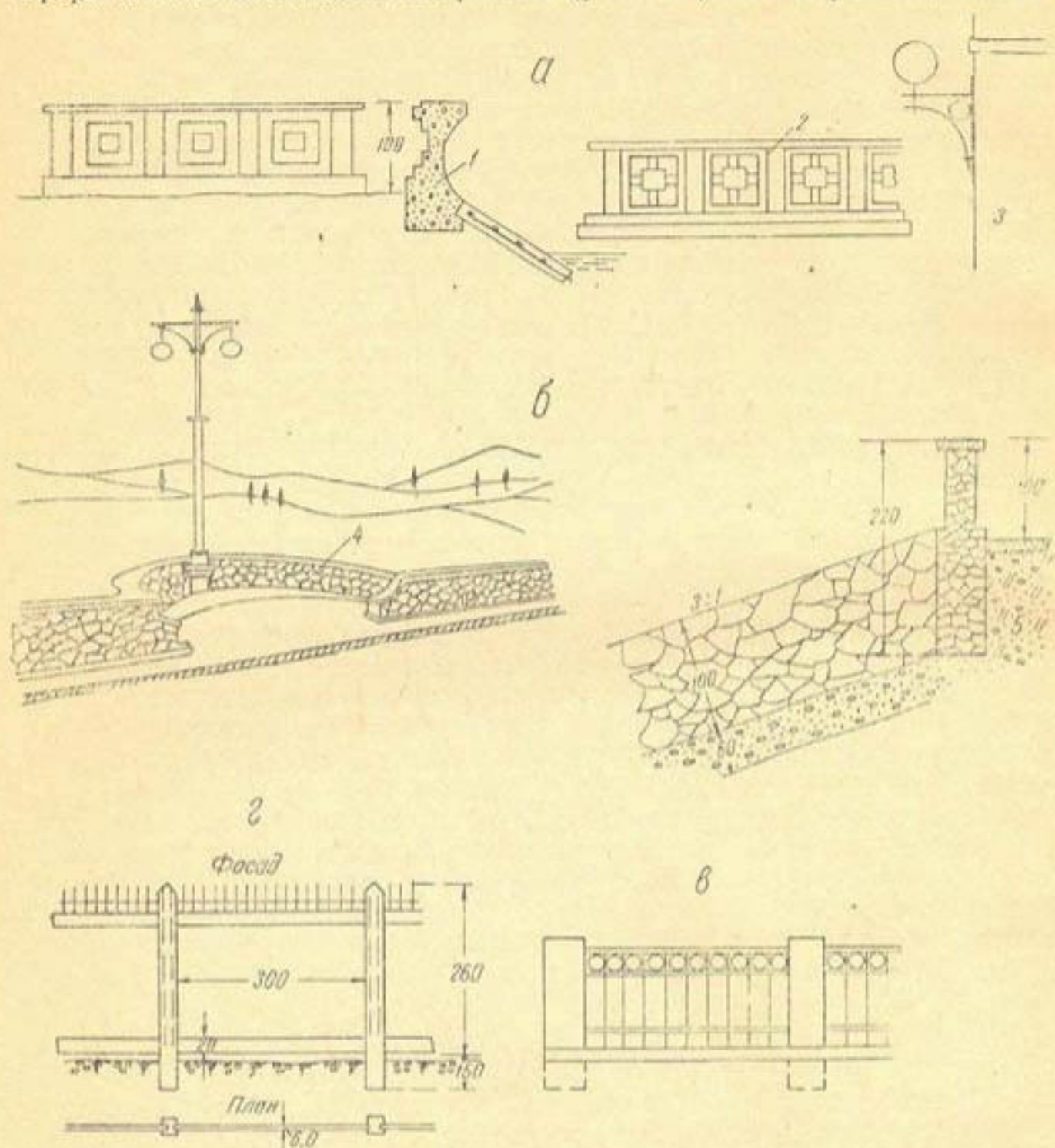


Рис. 63. Архитектурные эскизы некоторых деталей плотины Средней Азии:

а—парапет, перила и светильник плотины Камыррават; б—парапет земляной части Фархадской плотины; в—перила автомобильного моста Фархадской плотины; г—железобетонное ограждение открытой подстанции Кайраккумской ГЭС; д—парапет водобойного колодца; е—железобетонные перила автомобильного моста; ж—тело быка плотины; з—крепление рваным камнем весом 30—40 кг; и—плотина из лесса с укаткой; к—песчано-галечная подготовка (размеры в сантиметрах).

лицевых гранях быков служебного моста простых конструктивных чугунных кронштейнов для светильников оказались ненужными торшеры и мачты, загромождающие перспективу. Тяжесть приподнятого служебного моста облегчена эллиптическим очертанием низовых граней главных балок и косоуров входных железобетонных лестниц по его бокам. Стройность быков достигнута размещением на их лицевых гранях неглубоких и простых вертикальных ниш. Глухой бетонный парапет водобойного колодца регулятора Шаарихан-Андижан, воспринимающий натиск воды, падаю-

щей с противоположной стенки, выполнен в виде криволинейного волнолома, с другой его стороны бетонная стенка оформлена пилонами и кессонами (рис. 63 а, 1).

Архитектурное оформление рассматривалось ранее только как источник удорожания сооружения. С этим трудно согласиться. Скупые архитектурные формы прежде всего подчеркивают основное содержание конструкции сооружения, например восприятие мощными контрфорсами высо-

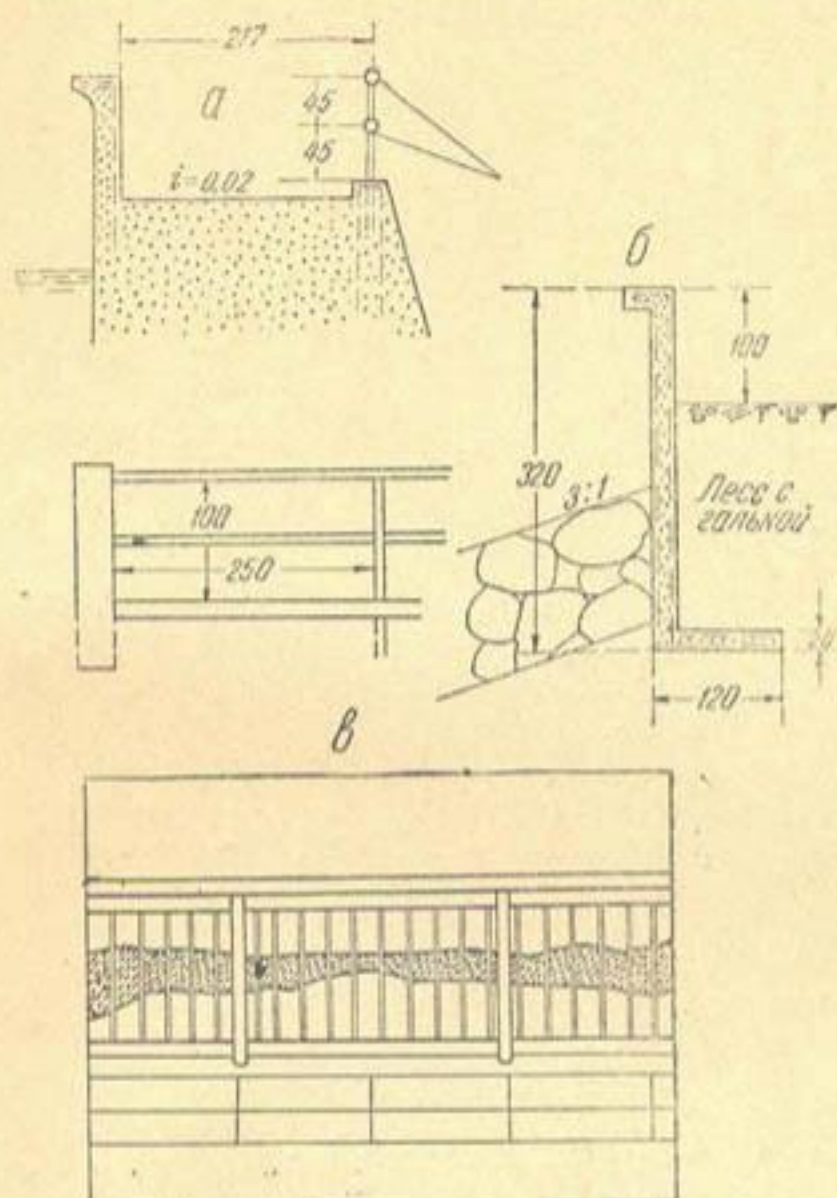


Рис. 64. Архитектурные эскизы некоторых деталей зарубежных плотин:

а — парапет и перила плотины Делвуд (США); б — железобетонный парапет земляной плотины ЭХО (США); в — ограждение земляной плотины Торр Эшайлти (Шотландия, США) (размеры в сантиметрах).

кой плотины огромных внешних сил давления воды. Безопасность движения по мостам обеспечивают крепкие и легкие перила. Сооружение же отдельных зданий, башен, порталов, колонн оказывается обычно неудачным. То же самое подтверждает и опыт зарубежного строительства.

Архитектурное оформление передвижных кранов и порталов является трудной задачей. Она должна решаться архитектором совместно с конструктором.

Первый порталый кран Фархадской плотины с вертикально поставленными опорами решетчатой конструкции из уголков при отсутствии каких-либо архитектурных форм производит впечатление неустойчивого. Изготовленный из листовой стали и смонтированный позднее второй кран

с ногами, расставленными несколько вширь, оставляет лучшее впечатление, хотя и имеет открытые наверху лебедки. Еще лучше выглядят огромные 400-тонные краны Кайраккумской ГЭС и плотины с закрытыми механизмами и некоторой округлостью форм, достигаемой плавным очертанием острых и прямых углов.

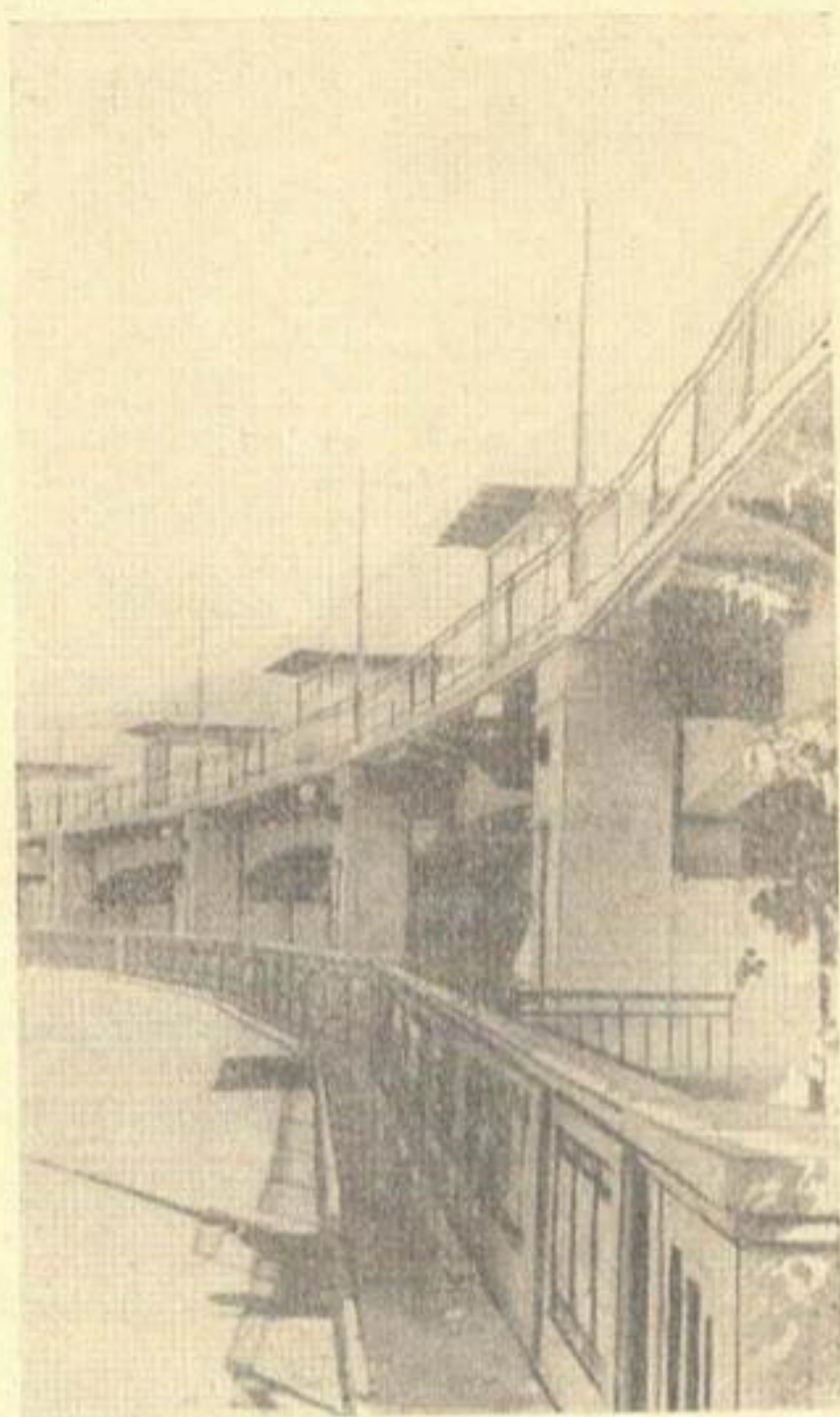


Рис. 65. Архитектурное оформление автомобильного и служебного мостов плотины Кампыррават.

Наличие всех кранов только на плотине необязательно. На Волгоградской ГЭС группа их удачно размещена далеко на подъездных путях (за исключением дежурных).

Краны часто окрашиваются недефицитным и более легким в выполнении кузбасским лаком в черный, рыжеющий со временем цвет. Алюминиевая окраска выделяет конструкцию и придает ей ненужные резкость и блеск. Более всего здесь уместны спокойные светло-серые или светло-зеленые тона, гармонирующие со средой — небом, водой, бетоном.

Перила, решетки и ограждения составляют необходимую принадлеж-

ность каждого гидроузла и занимают большое место в его архитектурном оформлении. Независимо от типа сооружения и стиля оформления обязательными условиями являются: абсолютная горизонтальность тротуаров и поручней, прямолинейность бордюров, отзесность стоек или пилонов. При малейшем отступлении от этих требований создается впечатление небрежности и отсутствия культуры в оформлении, распространяющееся зачастую на все сооружение. Ограждения должны быть прочными, надежными и долговечными.

На водозаборных узлах Средней Азии имеется много разнообразных архитектурных форм ограждений, некоторые из них отличаются примитивностью. Поэтому при проектировании их желательно участие и архитектора, и инженера.

Хорошее впечатление производят металлические перила Фархадской и Кайраккумской ГЭС, отличающиеся прочностью и простотой (рис. 63а).

На большинстве гидроузлов Мелиоративного бюро США применяются стандартные конструкции простых трубчатых перил, указанные на рис. 64а.

Применяемые в СССР сборные железобетонные перила часто страдают тяжестью рисунка и непрочностью конструкции. Отдельные выломанные детали портят общее впечатление.

Сборные железобетонные перила плотины Кампыррават, армированные сталью квадратного сечения, оказались долговечными и гармонируют с общим архитектурным видом (рис. 63а, 2).

Особо следует отметить высокие ограждения, отделяющие крановое хозяйство плотин и ГЭС от их проезжей части. Имеющиеся возможности архитектурного оформления часто не используются. Практика показала, что эти ограждения должны быть прочными, легкими и допускать свободный обзор через них акватории верхнего бьефа, а иногда и расположенных вдали гор, что может создать хороший архитектурный ансамбль (рис. 64б).

В последнее время большое распространение получили глухие ограждения подстанций ГЭС, заводских территорий и складских хозяйств, легко и быстро выполняющиеся из сборного железобетона. Как удачный пример на рис. 63г показано ограждение подстанции Кайраккумской ГЭС и расположенного рядом коврового комбината. Многочисленные попытки облегчить и удешевить подобную простую конструкцию оказались неудачными.

Выполнение открытых подстанций и распределительных устройств гидроузлов из решетчатых металлоконструкций создает впечатление нагромождения мачт и балок. Пришедшие им на смену сборные железобетонные конструкции подстанций значительно утяжелили архитектуру сооружения. Применение на некоторых западноевропейских подстанциях металлических трубчатых мачт, опор и порталов сразу же придало легкость отдельным формам и общему виду подстанции.

Использование местных и применение новых материалов имеет большое значение при архитектурном оформлении гидроузла. Глухой парапет земляной части плотины Фархадской ГЭС служит для защиты проезжего полотна от волнового воздействия. Он удачно выполнен в виде архитектурно оформленной глухой и массивной каменной стенки, сложенной из местного темно-красного песчаника на цементном растворе, что хорошо гармонирует со скалами такого же цвета и придает добавочную монолитность всей плотине (рис. 63б).

На строительстве Кайраккумской ГЭС впервые в Средней Азии применены железобетонные плиты-оболочки, заменившие деревянную опалубку и создавшие хорошую лицевую поверхность, не требующую допол-

нительных отделок. Гладкие плиты имеют цветовые оттенки от светло-коричневых до светло-зеленых, что в сочетании с водной поверхностью придает сооружению монументальность. Совмещенная с заделкой швов крупная рустовка при размерах плит $5 \times 2,5$ м пропорциональна размерам всего здания ГЭС. К сожалению, несвоевременно выполненная заделка швов надолго задержала окончательное оформление сооружения и вызвала необходимость устройства подвесных и дорожных передвижных лесов.

Благоустройство территории неотделимо от архитектурного оформления. Важным элементом его является озеленение, которым иногда пренебрегают. Оно должно выполняться одновременно или в крайнем случае в конце производства строительных работ.

Важное место в архитектурном оформлении занимают калматаж окружающих низменных участков и их озеленение, которые одновременно повышают надежность береговых дамб. Пренебрежение этими мероприятиями во многих случаях приводило к печальным последствиям.

Проекты внутренней отделки машинных залов, ГЭС, насосных, мастерских и других сооружений на плотинах зачастую не согласуются с архитекторами, что приводит к отрицательным результатам.

Внутренняя отделка должна быть по возможности гладкой. Такая отделка легко очищается и окрашивается. Панели следует размещать на стенах на высоту от пола не менее 2, 3 м с покрытием их метлахскими или глазурованными плитками, желательно больших размеров и разных, соответственно подобранных цветов. При окраске панелей надо избегать легких тонов из-за возможности появления на них в будущем масляных пятен и потеков. Бетонные стены здания сейчас окрашиваются не в серый, а светлый, жизнерадостный цвет. В закрытых помещениях без окон по условиям промышленной санитарии следует применять электролампы с люцетами или матовой арматурой. Освещенность при этом значительно уменьшается, что нужно учитывать при определении количества светильников и силы ламп. Не допускается совместное применение обычных электроламп и ламп дневного света.

Кессонные конструкции потолков и высокие балки перекрытий не гармонируют с тяжелыми частями оборудования. Более подходящими являются легкие и по возможности гладкие потолки.

Высокое качество строительных работ обязательно как для прочности и долговечности сооружения, так и для создания его архитектурного образа.

Авторский надзор проектировщика и архитектора за ходом работ по оформлению и согласованные действия архитектора и инженера-строителя дают наилучшие результаты. Инженер-строитель должен обладать необходимыми знаниями архитектуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтуний С. Т. Результаты полевых исследований Кампырраватского водозаборного узла сооружений на Кара-Дарье, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1945.
2. Алтуний С. Т. Исследование Фархадского гидроузла, Труды Института сооружений АН УзССР, Ташкент, 1956.
3. Алтуний С. Т. Выправительные, защитные и регулировочные сооружения на реках, М., Сельхозиздат, 1947.
4. Алтуний С. Т. Регулирование русел, М., Сельхозиздат, 1962.
5. Артамонов К. Ф. Регулировочные сооружения и работы на реках в предгорных районах, Фрунзе, Изд-во АН КиргССР, 1957.
6. Арыкова А. И., Жулаев Р. Ж. Улучшенный тип водозабора с донной решетчатой галереей, Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1961.
7. Былабас В. А. Перспективы развития орошения в Узбекской ССР, Материалы научного совещания по комплексному использованию земельных и водных ресурсов республик Средней Азии и Южного Казахстана, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.
8. Вознесенский А. Н. Гидроэнергоресурсы СССР и перспективы их использования, Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, Л., Госэнергоиздат, 1937.
9. Гулямов Я. Г. История орошения Хорезма с древних времен до наших дней, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1957.
10. Донченко В. Ф. Затворы гидроузлов, «Гидротехническое строительство», январь, 1963.
11. Жимский А. А. Производственные методы гидроизоляции, Сборник по обмену опытом, вып. 2, Ташкент, Средазгидроэнергострой, 1957.
12. Звонков В. В. Водохозяйственный баланс и новые задачи в орошении Средней Азии и Казахстана, Ташкент, Госиздат, 1962.
13. Звонков В. В. Водные ресурсы — народное достояние, М., Изд-во «Знание», 1962.
14. Зиновьев С. И. Новая методика определения основных размеров фронта плотинных водозаборных узлов, «Изв. АН УзССР», 1951, № 5.
15. Зиновьев С. И. Новое устройство для защиты регуляторов от поступления в них наносов, «Изв. АН УзССР», 1952, № 2.
16. Зиновьев С. И. Новые типы струенаправляющих устройств в регуляторах плотин, «Изв. АН УзССР», 1952, № 8.
17. Зиновьев С. И. Новые схемы плотинных узлов с центральным двухсторонним водозабором, «Изв. АН УзССР», 1959, № 6.
18. Ишаев Ф. Ш. Работа водозаборного узла, «Гидротехника и мелиорация», 1953, № 9.
19. Киселев А. Н. Перекрытие Сыр-Дарьи в створе Кызыл-Ординского гидроузла, «Гидротехника и мелиорация», 1957, № 2.
20. Краткая географическая энциклопедия, М., Изд-во «Советская Энциклопедия», 1962.
21. Кузнецов Н. Т. Сокровища наших рек, М., Изд-во АН СССР, 1961.
22. Лаптурев Н. В. Новый тип водозаборного узла и результаты его лабораторной проверки, «Гидротехника и мелиорация», 1950, № 12.
23. Лаптурев Н. В. Встроенный водозабор, «Гидротехника и мелиорация», 1951, № 12.
24. Лаптурев Н. В. Авария Кугартской плотины и ее уроки, «Гидротехника и мелиорация», 1961, № 9.

25. Мухамедов А. М. Результаты полевых исследований по формированию русла и промыву наносов верхнего бьефа гидроузла на предгорном участке реки, Труды Института сооружений АН УзССР, вып. 7, Ташкент, 1955.
26. Мухамедов А. М. Переустройство водозабора из рек, «Изв. АН УзССР», Ташкент, 1957, № 1.
27. Мухамедов А. М., Сивец И. Н. Опыт эксплуатации Верхнезеравшанского водозаборного гидроузла, «Вопросы гидротехники», 1935, вып. 13.
28. Мухамедова А. М. Регулирование русла и наносов при водозаборе на примере реконструкции Верхнезеравшанского гидроузла им. 1 Мая, «Изв. ВНИИГ», Ташкент, 1964.
29. Мухамедов А. М. Результаты исследований компоновки гидроузла в условиях низовьев рек, Труды Института сооружений АН УзССР, вып. 8, Ташкент, 1955.
30. Мухамедов А. М. Общие указания и реконструкции по промыву наносов на гидроузлах, «Вопросы гидротехники», 1962, вып. 10.
31. Мухамедов А. М. Исследования верхнего бьефа гидроузла на предгорном участке реки с целью регулирования русла, «Вопросы гидротехники», 1965, вып. 24.
32. Нестерук Ф. Я. Водные ресурсы Индии и их использование. В кн. «История науки и техники народов Востока», М.—Л., Госэнергоиздат, 1959.
33. Нестерук Ф. Я. Развитие гидроэнергетики СССР, М., Изд-во АН СССР, 1963.
34. Никитин Я. А., Шолохов В. Н. Опыт эксплуатации и результаты исследований водозаборного узла Ферганского типа в натуре, «Гидротехника и мелиорация», 1954, № 10.
35. Никитин Я. А. Лабораторные исследования вариантов компоновки водозаборного узла Арысь-Туркестанского канала на р. Арысь, Бюлл. НТИ САНИИРИ, 1958, № 3.
36. Наджимов Ф. Н. Исследование двухстороннего плотинного водозабора на предгорном участке реки, Автореферат канд. диссертации, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1952.
37. Освоение Голодной степи, Сборник статей, М., Сельхозгиз, 1963.
38. Пилосов Э. М. Ледовый режим подпертых бьефов гидроузлов, В сб. «Русловые процессы и гидротехническое строительство», Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1957.
39. Потапов М. Б. Поперечная циркуляция в открытом потоке и ее гидротехнические применения, М., Сельхозгиз, 1936.
40. Поярков В. Ф. Плотины с комбинированным затвором, «Гидротехника и мелиорация», 1961, № 8.
41. Салахов Ф. С. Новая конструкция водозабора для горных рек, «Гидротехника и мелиорация», 1956, № 5.
42. Сарыкулов Д. С. Водные ресурсы Казахстана и их использование для ирригации и обводнения земель, «Гидротехника и мелиорация», 1963, № 1.
43. Соколов Д. Я. Опыт эксплуатации Верхне-Зеравшанского узла, М.—Л., Госэнергоиздат, 1932.
44. Стратоберда П. Новый тип водозабора для горных рек, «Гидротехника и мелиорация», 1954, № 3.
45. Тимирова Р. В. Совмещенная схема Ферганского водозабора с донной решеткой, «Вопросы гидротехники», вып. 8, 1961.
46. Ушаков А. П., Шолохов В. Н., Якштас И. А. Низконапорные водозаборные узлы ферганского типа, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.
47. Фандеев В. В. Водозаборные плотины с донными решетками, М., Сельхозгиз, 1955.
48. Цветкова Н. А. Исследования водозабора с промывными галереями в низовьях рек, Автореферат канд. диссертации, Ташкент, 1951.
49. Шамсутдинов Ф. И. 30 лет водного хозяйства в Узбекской ССР, 1924—1954 г., Ташкент, Госиздат, 1955.
50. Шавелев Н. Ф. Проектирование асфальтовых шпонок в швах гидросооружений, М.—Л., Энергоиздат, 1956.
51. Ярош И. П. Орошение Каршинской степи, «Гидротехника и мелиорация», 1962, № 3.
52. Dams and control works constructed by the Bureau of Reclamation, U. S. Department of the Interior, 1929.
53. Guthrie J., Brown. Hydro-electric engineering practice, v. I, London, Glasgow, 1958.
54. Western construction News, October, 1935.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Краткие исторические сведения о развитии орошения в Средней Азии	6
Глава I. Общие сведения о первых плотинах индийского типа и других	10
Вододелитель у Раватходжи	11
Плотина на Аравансае	13
Плотина на Кугартсае	13
Первомайская плотина на р. Зарафшан	16
Улучшенная плотина на Бешалышае	25
Глава II. Плотины Ферганского типа	27
Поперечная циркуляция потока	27
Кампырраватская плотина на Карадарье	28
Куйганьярская плотина на Карадарье	39
Сарыкурганская плотина на р. Сох	44
Дамходжинская плотина на Карадарье	49
Проект Арысь-Туркестанской плотины на р. Арысь (КазССР)	55
Проект реконструкции Кугартской плотины (КиргССР)	58
Проект Тахиаташской плотины на Амударье	57
Глава III. Плотины с послойным водозабором	71
Общие замечания	71
Чумышская плотина на р. Чу	72
Газалкентская плотина на р. Чирчик	76
Фархадская плотина на Сырдарье	80
Куршабская плотина (КиргССР)	90
Кзыл-Ординская плотина на Сырдарье (КазССР)	93
Казалинская плотина на Сырдарье (КазССР)	98
Тешикташская плотина на Карадарье	101
Проект Караунгурской плотины (КиргССР)	108
Глава IV. Плотины с решетчатым водозабором	110
Предварительные сведения	110
Улучшенные типы решетчатого водозабора, разработанные в Институте энергетики АН КазССР в 1955—1962 гг.	112
Решетчатые водозаборы Панфиловской и Верхне-Талгарской ГЭС	117
Решетчатый водозабор на плотинах ферганского типа	118
Новые предложения	120
Глава V. Выводы и предложения по конструкциям водозаборных плотин Средней Азии	123
Компоновка гидроузла	124
Мероприятия по увеличению безнасосного водозабора	125
Флютбеты водозаборных плотин	127
Струенаправляющие дамбы	130
Осадочные и температурные швы	131
Затворы и подъемники	136
Архитектура	138
Литература	144