



# БОЛЬШИЕ ПЛОТИНЫ СССР



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА

1962

ЛЕНИНГРАД



# МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СССР

Альбом составлен Всесоюзным государственным проектным институтом «Гидроэнергопроект» по построенным, строящимся и утвержденным к строительству крупнейшим плотинам гидроэлектрических станций Советского Союза, запроектированных за период с 1932 по 1962 г. проектным институтом «Гидроэнергопроект» и проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом «Гидропроект» имени С. Я. Жука.

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.		Стр.
Введение .....	5	Ингульская плотина.....	106	Капчагайская плотина.....	198
Рыбинская и Шекснинская плотины ...	11	Ладжанурская плотина.....	110	Чарвакская плотина.....	201
Угличская плотина.....	16	Сионская плотина.....	114	Бухтарминская плотина .....	206
Иваньковская плотина .....	21	Храмская плотина.....	117	Усть-Каменогорская плотина.....	211
Горьковская плотина .....	25	Гуматская плотина .....	122	Новосибирская плотина.....	217
Чебоксарская плотина .....	30	Шамбская и Толоросская плотины . . . . .	128	Саянская плотина.....	222
Плотина Волжской ГЭС имени Ленина . .	35	Мингечаурская плотина.....	131	Красноярская плотина.....	226
Саратовская плотина . . . . .	39	Чир-Юртская плотина.....	136	Иркутская плотина .....	231
Плотина Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС.....	44	Чиркейская плотина .....	140	Братская плотина.....	236
Камская плотина .....	49	Верхне-Туломская плотина.....	145	Мамаканская плотина.....	242
Боткинская плотина .....	55	Князегубская плотина.....	150	Вилуйская плотина.....	247
Плотина Павловской ГЭС.....	61	Кумекская плотина .....	153	Иреляхская плотина.....	251
Ириклинская плотина .....	66	Иовская плотина .....	157	Зейская плотина .....	255
Киевская плотина.....	71	Путкинская плотина.....	161	„Основные показатели плотин построенных, строящихся и утвержденных к строи- тельству в Советском Союзе" . . . . .	259
Кременчугская плотина.....	76	Ондская плотина .....	164	Краткий русско-англо-французский словарь гидротехнических терминов .....	265
Плотина Днепровской ГЭС имени Ленина	81	Верхне-Свирская плотина .....	167		
Днепродзержинская плотина.....	86	Нижне-Свирская плотина.....	171		
Каховская плотина .....	90	Каунасская плотина.....	176		
Цимлянская плотина.....	96	Чардаринская плотина .....	183		
Дубоссарская плотина.....	101	Кайрак-Кумская плотина.....	188		
		Нурекская плотина .....	193		



# ВВЕДЕНИЕ

Развитие -советского плотиностроения неразрывно связано с историей -освоения водных ресурсов страны.

Советский Союз обладает богатейшими гидроресурсами. На территории Советского Союза протекает свыше 150 тыс. рек, из них более 50 крупных рек, имеющих длину свыше 1 000 км. Средний годовой сток (всех рек страны составляет 4 340 млрд. м<sup>3</sup>, причем более 80% общего объема стока приходится на реки Сибири и северных районов, протекающие на малообжитой территории страны, и только около 20% стока приходится на реки Европейской части СССР и других наиболее экономически развитых и населенных районов.

Энергетический потенциал гидроресурсов СССР оценивается в настоящее время примерно в 3 600 млрд. квт-ч среднегодовой выработки электроэнергии. Технически возможно попользовать из них примерно 2 100 млрд. квт-ч. Таким образом, по запасам гидроэнергии Советский Союз занимает первое место в мире.

Характерной особенностью гидротехнического строительства в Советском Союзе является его подчиненность задачам комплексного использования водных ресурсов страны. Строительством гидротехнических сооружений, как правило, не только решаются задачи энергоснабжения народного хозяйства, но и обеспечиваются также развитие и реконструкция водного транспорта, осуществляется борьба с наводнениями, создаются рыбные хозяйства и, что особенно важно, производится регулирование стока рек для обеспечения водой нужд многочисленных отраслей народного хозяйства и

прежде всего орошения и обводнения засушливых земель

Условия строительства гидроузлов и плотин на реках Советского Союза, протекающих в самых различных географических и климатических условиях, исключительно разнообразны. С этой точки зрения реки страны можно разбить примерно на три основные группы.

Реки равнинных районов, суммарно составляющие примерно 20% общего гидроэнергетического потенциала страны (Европейской части СССР, Западной Сибири, Северо-Западного Казахстана, некоторых районов Средней Азии), характеризуются малыми продольными уклонами, очень широкими долинами с развитыми поймами, сложенными, как правило, мягкими грунтами четвертичных отложений. Большая часть этих рек смешанного снегового-дождевого питания имеет большие весенние паводки, низкую летнюю и зимнюю межень и умеренные осенние паводки. Достаточно суровые климатические условия большинства указанных районов обуславливают тяжелый ледовый режим рек. Крупнейшими реками первой группы являются рр. Волга с притоками, Днепр, Дон, Днестр, Неман, Даугава, Сухона, Северная Двина, Обь и др. Гидроузлы на этих реках имеют обычно напоры до 30—40 м, русловое или 'пойменное' расположение зданий ГЭС, напорный фронт большой длины (достигающий в отдельных случаях десятков километров), состоящий, как правило, из глухих земляных плотин и бетонной водосливной плотины, рассчитанной на сброс значительных по величине расходов (до 70—80 тыс. м<sup>3</sup>/сек на Волге).

Реки полугорного характера, суммарно составляющие примерно до 70% общего гидроэнергетического потенциала страны (Урал, Восточная Сибирь, Дальний Восток, Северо-Восточный Казахстан и частично Средняя Азия), характеризуются большими уклонами, наличием многочисленных относительно узких створов, сложенных скальными породами, распластанными весенне-летними паводками снегового питания, чрезвычайно тяжелым зимним режимом. Крупнейшими реками второй группы являются рр. Ангара, Енисей, Амур, Лена, Иртыш, Вахш, Пяндж и др.

Гидроузлы на этих реках имеют обычно напоры до 100—120 м и в отдельных случаях до 200—300 м, русловое или береговое расположение зданий ГЭС, напорный фронт относительно небольшой длины, состоящий из отчетливо выраженной русловой плотины — бетонной или из местных материалов и низких береговых земляных плотин. Сброс паводковых вод, как правило, осуществляется через русловую бетонную водосливную плотину, а при русловой плотине из каменной наброски или мягких грунтов — через береговые туннельные водосбросы.

Горные реки, суммарно составляющие примерно 10% общего гидроэнергетического потенциала страны (Закавказье, Средняя Азия, Западная Украина), с весьма большими уклонами, резко выраженными снеговыми и ливневыми паводками, чрезвычайно низкой летней и зимней меженью. Крупнейшими реками третьей группы являются рр. Сулак, Ингури, Раздан, Кура и др. Гидроузлы на этих реках, как правило, осуществляются по деривационным схемам при напорах, достигающих 300—500 м, с береговым подземным или открытым расположением здания ГЭС, небольшими головными сооружениями, включающими в состав напорного фронта обычно бетонные водосливные плотины и глухие плотины из местных материалов.

Освоение огромных водных ресурсов страны практически было начато только после Октябрьской революции.

К 1917 г. на реках царской России было построено небольшое количество гидротехнических сооружений низких напо-

ров, преимущественно для целей ирригации и водоснабжения.

Мощность всех гидроэлектростанций составляла всего 16 тыс. *квт*.

В освоении гидроресурсов страны и развитии отечественного гидротехнического строительства после 1917 г. можно наметить несколько характерных этапов.

За первые годы Советской власти в соответствии со знаменитым ленинским планом электрификации России — планом ГОЭЛРО — было начато строительство ряда гидроэлектростанций в различных районах страны, в том числе: Волховской, Днепровской (мощностью 540 тыс. *квт*), Нижне-Свирской и др., общей мощностью 640 тыс. *квт*.

План ГОЭЛРО, предусмотренный на 10—15 лет, был значительно перевыполнен. К 1935 г. действовало уже 11 крупных гидроэлектростанций общей мощностью 670 тыс. *квт*. В эти же годы развернулось крупное воднотранспортное строительство.

В 1933 г. был построен Беломорско-Балтийский канал длиной 227 км, в составе которого имелось 15 плотин и 43 дамбы. В период 1932—1937 гг. был построен канал имени Москвы, решивший вопросы воднотранспортной связи столицы СССР с бассейнами Каспийского, Балтийского и Белого морей, а также проблему водоснабжения городского населения и крупных промышленных объектов. В составе 240 гидротехнических сооружений канала было построено 8 больших земляных и 3 бетонных плотины.

Наибольшими бетонными плотинами, построенными за этот период времени, были плотина Днепровской ГЭС максимальной высотой 62 м и общим объемом бетона порядка 1 млн.  $m^3$ , построенная на прочном скальном основании, а также плотина Нижне-Свирской гидроэлектростанции высотой 26 м общим объемом бетона более 200 тыс.  $m^3$ . Плотина Нижне-Свирской гидроэлектростанции была сооружена в чрезвычайно сложных гидрогеологических условиях при наличии в основании весьма пластичных глинистых грунтов

с очень низким коэффициентом сдвига. Наиболее крупной земляной плотиной была насыпная плотина той же Нижне-Свирской гидроэлектростанции высотой более 28 м общим объемом 370 тыс. м<sup>3</sup>. Проектирование и строительство этих плотин заложили основу создания советской гидротехнической школы, воспитавшей многочисленные кадры строителей-проектировщиков и научных исследователей. Накопленный за этот период времени опыт позволил в годы, предшествовавшие Великой Отечественной войне, значительно повысить темпы гидроэнергостроительства, построить и ввести в эксплуатацию 32 крупные гидроэлектростанции, в том числе Ивановскую, Угличскую и Рыбинскую ГЭС—верхние ступени Волжского каскада, Баксанскую ГЭС, Канакерскую ГЭС, ряд гидроэлектростанций Чирчик-Бозсуйского каскада и приступить к строительству новых крупных гидроэлектростанций, в том числе Усть-Каменогорской, Мингечаурской и др. Установленная мощность всех гидроэлектростанций к 1941 г. превысила 1600 тыс. квт и годовая выработка электроэнергии достигла примерно 5 млрд. квт - ч.

Наиболее крупными бетонными плотинами этого (периода) были гравитационная водосливная плотина Ивановской ГЭС высотой 30 м и объемом 1 120 тыс. м<sup>3</sup> и плотина Рыбинской гидроэлектростанции высотой 30 м и объемом 945 тыс. м<sup>3</sup>, а из земляных плотин — намывная плотина Рыбинской ГЭС высотой 34 м и объемом 6 650 тыс. м<sup>3</sup>.

В послевоенный период после восстановления разрушенных во время гитлеровского нашествия Днепровской, Нижне-Свирской, Баксанской и других гидроэлектростанций было развернуто еще более широкое гидроэнергостроительство. Было начато освоение гидроресурсов крупнейших рек Советского Союза. Такое направление, кроме глубокого экономического обоснования, основывалось также на грандиозных достижениях в области гидротехнического строительства и прежде всего плотиностроения, имевшегося в СССР.

К этому времени в стране были созданы квалифицированные кадры проектировщиков и строителей гидротехнических сооружений. Все сложнейшие вопросы обеспечения прочности

и надежности гидротехнических конструкций решались на базе обширных теоретических и экспериментальных разработок советских ученых-гидротехников, большей частью совершенно оригинальных, не имевших прецедента в мировой практике.

Советскими учеными были разработаны и даны практические рекомендации для решения сложнейших вопросов гидравлики турбулентных потоков, гашения гидравлической энергии в нижнем бьефе сооружений, теории фильтрации в скальных и нескальных основаниях, суффозионной, статической и динамической устойчивости оснований гидросооружений, теории прочности и устойчивости бетонных и железобетонных конструкций, земляных и намывных плотин и т. п.

В этот период времени советской промышленностью было освоено изготовление и налажено массовое производство мощных строительных механизмов, необходимых для крупного гидротехнического строительства: экскаваторов с емкостью ковша до 4 м<sup>3</sup>, шагающих экскаваторов с емкостью ковша до 14 м<sup>3</sup>, мощных бульдозеров и скреперов, автосамосвалов грузоподъемностью до 25—40 т, полностью автоматизированных бетонных, камнедробильных « сортировочных заводов большой производительности, бетоноукладочных и монтажных кранов грузоподъемностью 25, 75, 100 т более тонн, землесосных установок производительностью до 1 000 м<sup>3</sup>/ч. Было начато строительство крупнейших в мире Волжских гидроэлектростанций мощностью 2—2,5 млн. квт с бетонными плотинами высотой до 40 м и объемом более 2 млн. м<sup>3</sup> и намывными земляными плотинами высотой до 38 м и объемом более 30 млн. м<sup>3</sup>. Началось освоение крупнейших сибирских рек. В 1961 г. пущены в эксплуатацию первые агрегаты Братской гидроэлектростанции мощностью 4,5 млн. квт с бетонной гравитационной плотиной высотой около 120 м и объемом около 4,8 млн. м<sup>3</sup>. Строятся Красноярская гидроэлектростанция мощностью 5 млн. квт и ряд других крупных гидроэлектростанций в различных районах страны. В результате осуществления грандиозного плана гид-

розэнергетического строительства установленная мощность гидроэлектростанций СССР к концу 1961 г. достигла 16 млн. *квт* три среднегодовой выработке электроэнергии порядка 59 млн. *квт · ч*.

Многолетний опыт проектирования и строительства больших плотин на реках Советского Союза позволил выработать определенные представления о наиболее надежных, экономичных и технологичных в строительстве конструкциях плотин, отвечающих специфике природных условий районов расположения сооружений.

Бетонные плотины на реках первой группы возводятся преимущественно гравитационного массивного профиля, что обуславливается суровым климатом, необходимостью сброса больших паводковых расходов с интенсивными ледоходами, а также сложными геологическими условиями долин равнинных рек (песчано-глинистые отложения, иногда с наличием напорных вод). Однако в результате достижений в области теории и практики гидротехнического строительства на крупнейших гидроузлах: Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС в 1958 г. и Боткинской ГЭС в 1961 г. были построены бетонные облегченные водосливные плотины пустотелой конструкции с применением сборных элементов, что позволило сократить расход бетона на 1 *пог. м* длины плотины в 2 раза по сравнению с обычным типом.

Высота гравитационных водосливных плотин, сооружаемых на не скальных основаниях (обычно представленных пестрой толщей песчаных, песчано-глинистых и других отложений), достигает 35—45 *м*. Низкие коэффициенты сдвига, характерные для мягких оснований, требуют для обеспечения устойчивости на сдвиг бетонных плотин специальных инженерных мероприятий, к числу которых относятся: использование водяных пригрузок за счет выноса фундаментной плиты флютбета в сторону верхнего бьефа или устройства анкерных железобетонных понуров, широкое применение дренажей и др. Удельные расходы на водобоях плотин достигают 60—70  $\text{м}^3/\text{сек}$  на 1 *пог. м* при относительно небольших длинах креплений нижнего бьефа за счет применения эффектив-

ных гасителей, устройства надежно закрепленных концевых креплений и пр.

Основными типами бетонных плотин на скальных основаниях, в основном строящихся на реках второй группы, являются гравитационные облегченные бетонные водосливные и глухие плотины с безвакуумным профилем водослива, достаточно надежной цементационной завесой и системой дренажа тела и основания, позволяющими практически снять противодавление воды. Простота конструктивных форм гравитационных плотин позволяет применять широкую механизацию строительных работ и в том числе конвейерно-поточный способ укладки бетона.

В связи с разворачивающимся в последние годы строительством гидроэлектростанций в горных и предгорных районах страны на реках третьей группы значительно расширились возможности проектирования и строительства бетонных арочных плотин, сооружаемых в каньонных створах. В 1960 г. закончено строительство арочной плотины Ладжанурской ГЭС высотой около 70 *м* и начато строительство Ингурской арочной плотины высотой 300 *м*. Разработаны проекты арочных плотин: Чиркейской на р. Сулак высотой 230 *м*, двух плотин, входящих в комплекс сооружений Татевской ГЭС в Армении, и ряда других. Проектирование арочных плотин ведется на базе новых методов расчета, разработанных советскими инженерами, с проведением большого комплекса исследований на упругих и хрупких моделях.

В гидроэлектростанциях низкого и среднего напора на реках первой группы применяются оригинальные конструктивные решения, при которых водосбросные сооружения совмещаются со зданиями ГЭС. В зависимости от размещения водосливных отверстий в агрегатных блоках разработаны следующие типы зданий ГЭС: совмещенные (Саратовская, Волжские имени В. И. Ленина и XXII съезда КПСС, Новосибирская, Иркутская, Дубоссарская и др.) и водосливные (Камская, Кайрак-Кумская, Павловская, Плявиньская, Киевская, Чебоксарская и др.). Применение таких типов зданий ГЭС позволило полноценно использовать фронт бетонных

сооружений и существенно сократить длину водосливных плотин (на 30—35%) на Волжских ГЭС имени В. И. Ленина и XXII съезда КПСС, а на Иркутской, Камской, Кайрак-Кумской, Павловской и Саратовской ГЭС полностью отказаться от возведения водосливных плотин.

Внедрение сборного бетона при строительстве бетонных плотин началось впервые в Советском Союзе на Угличском и Рыбинском гидроузлах (1936—1937 гг.), где были применены сборные железобетонные плиты-оболочки и армоконструкции. С 1956 г. применение сборного железобетона в плотностроении значительно расширилось за счет сборных креплений откосов земляных плотин, полностью сборных подпорных стенок, гибких рисберм, применения массивных бетонных облицовочных блоков и предварительно-напряженного сборного железобетона в мостовых (переходах и подкрановых конструкциях).

Стали применяться сборные элементы в виде скорлупных железобетонных плит с выносной рабочей арматурой при возведении бычков и сопрягающих устоев плотин.

Находятся в стадии строительства две практически полностью сборные крупные гидроэлектростанции: Саратовская ГЭС на Волге и Киевская ГЭС на Днепре, на которых водосбросные плотины совмещены в одно сооружение со зданием ГЭС.

Одновременно с внедрением промышленных конструкций успешно совершенствовалась технология возведения бетонных плотин за счет применения мощных бетоноукладочных средств — башенных, порталных, кабельных и других кранов грузоподъемностью до 20—25 т, полной автоматизации всех технологических процессов по приготовлению бетона, внедрения подвижных инвентарных шатров, жестких бетонных смесей и непрерывно-поточных технологических линий по приготовлению и транспортировке бетонной смеси.

Широкие русла и поймы равнинных рек первой группы, где в основном до настоящего времени возводились гидроэлектрические станции, требовали сооружения земляных плотин большого протяжения высотой до 35—40 м с объемом

тела, доходившим в отдельных случаях до 30 млн.  $m^3$ . Необходимость выполнения значительных объемов работ в сжатые сроки потребовала бы при насыпных типах плотин сосредоточения громадного количества землеройных механизмов и средств транспорта, большого усложнения и удорожания работ.

Наличие на местах строительства неограниченных запасов аллювиальных песчаных отложений, хорошо поддающихся разработке и последующей укладке средствами гидромеханизации, привело к идее применения в этих условиях плотин намывного типа распластанного профиля. Большие теоретические и экспериментальные работы, проведенные по определению устойчивости песчаных плотин в условиях воздействия статических и динамических нагрузок, показали их полную надежность. Создание мощных средств гидромеханизации (плавучих земснарядов производительностью от 275 до 725 тыс.  $m^3/мес$ ) позволило за последние 10 лет выполнять около 500 млн.  $m^3$  земляных работ во возведению намывных земляных плотин из песчаных и супесчаных грунтов с заложением откосов в пределах 1 : 3—1 : 6. Наиболее высокой намывной плотиной является плотина Мингечаурской ГЭС (высота 81 м, объем 15,6 -млн.  $m^3$ ), выполненная из гравелисто-песчаных грунтов с ядром из тяжелой супеси. Здесь впервые был применен торцовый тонкослойный безэстакадный намыв, который теперь широко используется при возведении плотин намывного типа.

Плотины из местных материалов — каменнонабросные с противofiltrационными призмами из водоупорных грунтов и плотины смешанного типа, возводимые путем сухой отсыпки, получили распространение на реках второй группы. Наиболее крупной построенной насыпной плотиной является плотина Иркутской ГЭС на р. Ангаре (высота 44 м, длина по гребню 2 500 ж, объем 11,5 млн.  $m^3$ ) из гравийно-галечных грунтов с суглинистым ядром и противofiltrационным зубом, прорезающим аллювиальные отложения. Данный тип плотины позволил производить работы по укладке грунта круглогодично в суровых климатических условиях



Сибири. На работах по возведению плотин использовались 26-тонные автосамосвалы и шагающие экскаваторы с ковшем 4—14 м<sup>3</sup>.

Для ряда высоконапорных гидроузлов, строящихся и подлежащих строительству в необжитых районах Средней Азии (Чарвакская ГЭС — р. Чирчик, Нурекская ГЭС — р. Вахш) и Сибири (Виллюйская ГЭС — р. Виллюй, Саянская ГЭС — р. Енисей, Зейская ГЭС — р. Зея), в настоящее время разработаны типы каменнабросных плотин с противофильтрационным устройством в виде наклонного экрана или центрального ядра из суглинистых, песчано-глинистых и щебенисто-дресвяных суглинистых грунтов. Высота плотин находится в пределах от 65 до 300 ж с объемами тела от 3,0 до 45 млн. м<sup>3</sup>. Строительство первой высоконапорной плотины каменнабросного типа с наклонным ядром (высота 65 м, объем 2,9 млн. м<sup>3</sup>), расположенной в районе вечной мерзлоты, начато на Виллюйской ГЭС.

К особым типам земляных плотин относится запроектированная Иреляхская плотина высотой 20 м, мерзлотного типа с устройством скважин для промораживания тела и основания плотины.

Утвержденная XXII съездом Программа КПСС в общем плане развития народного хозяйства СССР на 1960—1980 гг. предусматривает дальнейшее повышение темпов гидроэнергетического строительства с перенесением его центра тяжести в восточные районы страны (Сибирь, Среднюю Азию, Дальний Восток), где сосредоточено до 80% водных ресурсов СССР. В этот период в Восточной Сибири будет завершено сооружение каскада гидроэлектростанций основных рек района Ангары, Енисея. Кроме завершения строительства Братской и Красноярской гидроэлектростанций, будут сооружены Усть-Илимская, Богучанская и ряд других гидроэлектростанций на Ангаре, Саянская, Енисейская, Осиновская и другие гидроэлектростанции на Енисее, будет начато освоение гидроресурсов р. Лены, намечена к сооружению мощная гидроэлектростанция на р. Нижняя Тунгуска.

В Западной Сибири предполагается ввести в эксплуатацию все гидроэлектростанции Иртышского каскада; на р. Оби будет сооружена одна из крупнейших гидроэлектростанций СССР — Нижне-Обская ГЭС; намечается к сооружению каскад гидроэлектростанций на рр. Томь, Катунь и Бия. Почти полностью будут освоены основные гидроэнергетические ресурсы Средней Азии, представленные рр. Вахш, Нарын, Чирчик, Чаткал и др.

Общая мощность гидроэлектростанций Советского Союза к 1980 г. возрастет более чем в 10 раз. Грандиозное по объему гидроэнергетическое строительство связано с необходимостью возведения большого количества плотин в сложных природных условиях с напорами, достигающими 300 ж, из бетона и местных строительных материалов. Для осуществления намеченной программы за двадцатилетие необходимо будет выполнить более 4 млрд. м<sup>3</sup> земляных работ и уложить более 100 млн. м<sup>3</sup> бетона.

Строительство всех крупных гидроузлов и возведение плотин в СССР осуществляются организациями Министерства строительства электростанций.

Проектирование гидротехнических сооружений и изыскательские работы ведутся двумя институтами: «Гидроэнергопроект» и «Гидропроект» того же министерства.

Научно-исследовательские, экспериментальные, лабораторные и натурные исследования в области плотиностроения и других гидротехнических сооружений выполняют свыше 30 научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений. Основными ведущими научно-исследовательскими институтами являются Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева (ВНИИГ) и Тбилисский научно-исследовательский институт сооружений и гидроэнергетики им. А. В. Винтера (ТНИСГЭИ) Министерства строительства электростанций.

В настоящем издании приведены данные по 55 крупнейшим плотинам СССР, характеризующие объемы и технический уровень советского плотиностроения.

# РЫБИНСКАЯ И ШЕКСНИНСКАЯ ПЛОТИНЫ

Плотины Рыбинского гидроузла, перегораживая рр. 1Волгу и Шексну, образуют водохранилище емкостью 25,4 км<sup>3</sup>, площадью 4 550 км<sup>2</sup>, используемое для энергетических судоходных и регуляционных целей. Среднегодовой расход в створе гидроузла составляет 1 100 м<sup>3</sup>/сек.

## РЫБИНСКАЯ ПЛОТИНА

В районе Волжского створа у г. Рыбинска в русле реки шириной 450 м залегают аллювиальные песчаные отложения, содержащие значительное количество гравия и валунов и подстилаемые глинами пермотриаса слоем толщиной более 100 м. Естественный режим Волги характеризуется расходами: летний: максимальный — 650 м<sup>3</sup>/сек, минимальный — 110 м<sup>3</sup>/сек; зимний: максимальный — 510 м<sup>3</sup>/сек, минимальный — 70 м<sup>3</sup>/сек.

В составе сооружений Волжского створа имеются железобетонная водосбросная плотина длиной 104 м, земляная русловая намывная плотина длиной 524 м и двухниточный судоходный шлюз.

Ввиду отсутствия необходимости сброса льда из водохранилища в плотине предусмотрены только донные отверстия. Водосбросная плотина на сбросной расход 5 800 м<sup>3</sup>/сек имеет четыре секции по 26 м, в каждой из которых размещается по два донных отверстия размерами 8,5X5,0 м. Отверстия имеют плавный вход для исключения возможности всасывания в отверстие плавающих предметов. Перед плотинной пре-

дусматривается ледозащитная запань длиной 540 м с глубиной погружения до 3,0 м.

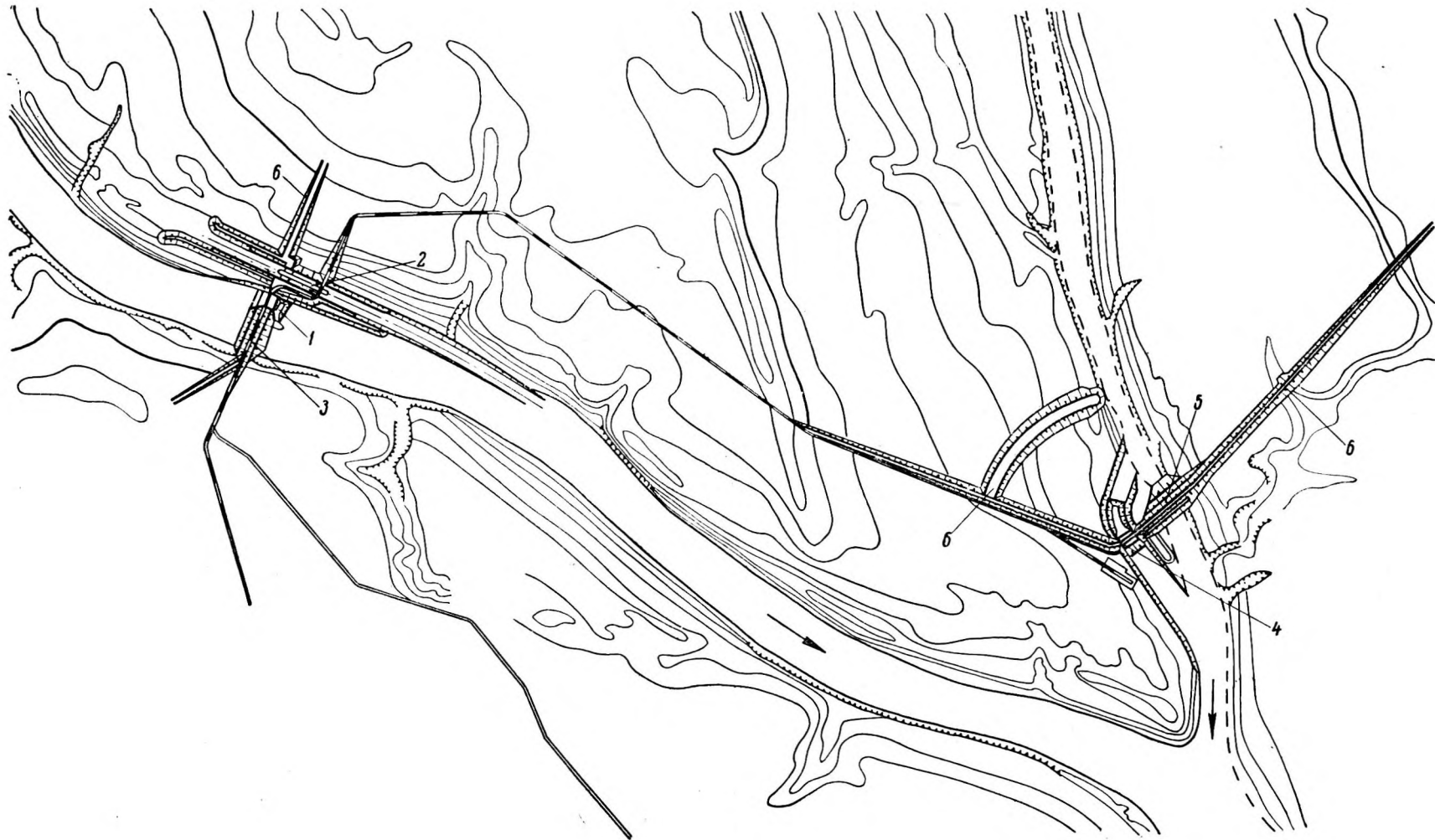
Перед основными затворами на расстоянии 3,0 м устроены пазы для опускания аварийных затворов такой же конструкции. На случай ремонта предусмотрены верховые и низовые балочные заграждения из плоских щитов. Подъем основных и аварийных затворов осуществляется двумя мостовыми 300-г кранами. Плотина имеет понур из битумного покрытия на армированной бетонной подготовке, прикрытый слоем глины до 0,5—0,75 м, на который уложен слой песка 4,0 м, в овою очередь прикрытый бетонными плитами толщиной 0,3—0,5 м на слое гравия 0,15 м.

Расчетный удельный расход в отверстиях равен 85,3 м<sup>3</sup>/сек, а на водобое 55,8 м<sup>3</sup>/сек.

Для гашения энергии на водобое расположены гасители, состоящие из 14 пирсов размерами 16,0x8,0x2,75 м, размещенные двумя рядами в шахматном порядке, по 7 пирсов в ряду, и гладкий трапецеидальный порог высотой 2,0 м с верховой гранью, окошенной под углом 45°.

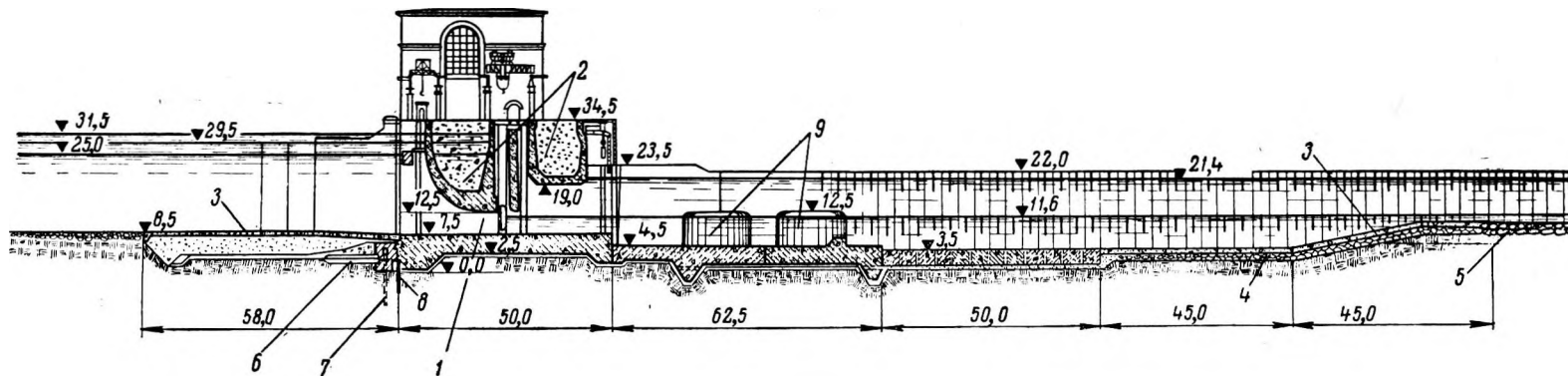
Пирсы поворачивают поток из плотины вправо на 20° и поток из водоспуска шлюзов влево на 70°.

Водобой состоит из железобетонной плиты толщиной 4,0 м с двумя зубьями. За водобоем расположена бетонная рисберма длиной 95 м. На протяжении первых 50 м предусмотрены бетонные плиты 17X16 м толщиной 3,0 м, затем железобетонные шашки 2x2 м толщиной 0,75 м, уложенные на фашинном тьюфяке по трехслойному фильтру. За железобе-



План,

1 — водобросная плотина; 2 — судоходный шлюз; 3 — земляная плотина на р. Волге; 4 — здание ГЭС; 5 — земляная плотина на р. Шексне; 6 — дамбы.



Водосборная плотина.

1 — донные отверстия; 2 — полости, заполненные песком; 3 — бетонные плиты; 4 — обратный фильтр; 5 — фашиновый тюфяк с пригрузкой камнем; 6 — асфальтобетонный компенсатор; 7 — дренажные скважины; 8 — металлический шпунт; 9 — гасители.

тонными шашками уложена каменная наброска длиной 130 м и толщиной 0,40 м по фашинному тюфяку.

Средняя скорость потока по вертикали в конце рисбермы не превышает 2,5 м/сек. Удельный расход, достигающий на водобое 60 м<sup>3</sup>/сек, снижается в конце рисбермы до 26 м<sup>3</sup>/сек.

Русло реки перекрыто глухой намывной земляной плотиной объемом 1,6 млн. ж<sup>3</sup> и высотой до 30,0 ж, считая от подошвы зуба.

В основании земляной плотины залегают пермские глины, покрытые в русле 4—5м слоем речного аллювия, состоящего из разнозернистых песков.

Плотина имеет водонепроницаемую диафрагму, состоящую из металлического шпунта общим весом 1 940 т и в верхней части из сборных железобетонных плит размерами 5,0X X2,5 м и толщиной 8 см.

Верховой откос в пределах изменений уровня воды в водохранилище имеет крепление камнем от 0,35 до 0,45 м на слое гравия толщиной 0,3 м. Низовой откос укреплен одерновкой в клетку с посевом трав.

При возведении основных сооружений Волжского створа были выполнены следующие объемы работ: выемка и вскрыша грунта — 8494,5 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь грунта—7072,0 тыс. м<sup>3</sup>,

бетон и железобетон — 944,8 тыс. м<sup>3</sup>, фильтры и банкетты — 238,2 тыс. м<sup>3</sup>, крепление откосов — 747,1 тыс. м<sup>2</sup>, металлический шпунт — 2,87 тыс. т, металлические конструкции — 14,8 тыс. т.

#### ШЕКСНИНСКАЯ ПЛОТИНА

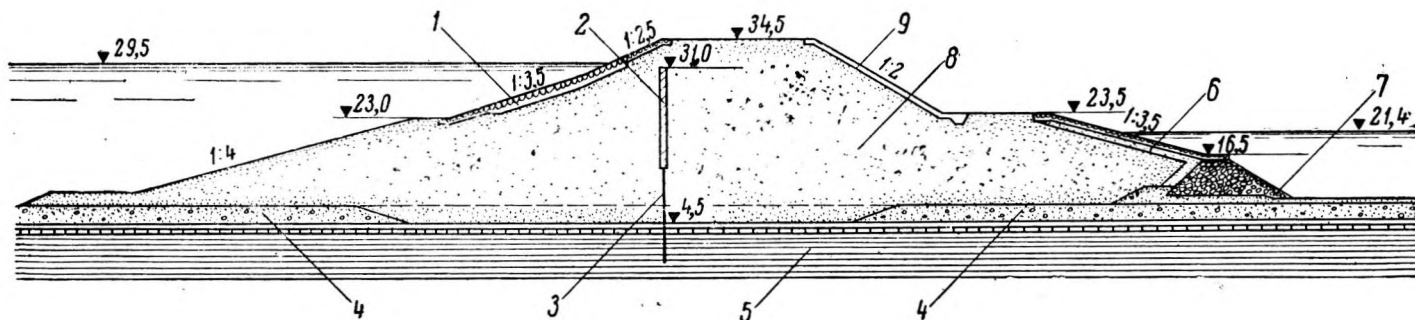
В створе сооружений залегают моренные суглинки, прикрытые в русле реки 1—2-м слоем разнозернистых песков. В состав сооружений входят земляная намывная плотина и здание ГЭС.

Русло р. Шексны шириной 200 м перекрывается земляной намывной плотиной. Тело плотины длиной 470 м и высотой 34,0 ж имеет распластанный профиль без ядра. Верховой откос укреплен каменной наброской и бетонными плитами, низовой — одерновкой.

На правом берегу размещается здание гидроэлектростанции установленной мощностью 330 тыс. квт, оборудованной шестью гидроагрегатами.

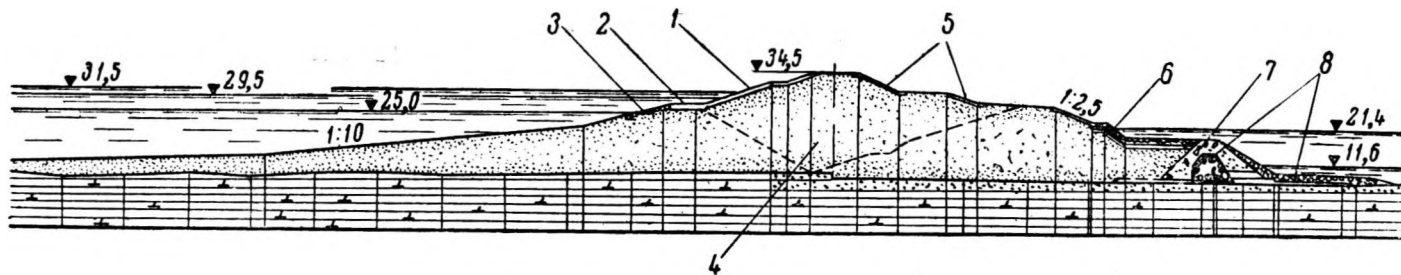
Турбины поворотнолопастные номинальной мощностью 5 тыс. квт при напоре 15,5 ж, расходе 400 м<sup>3</sup>/сек и скорости вращения 62,5 об/мин. Максимальная мощность турбин 70 000 квт. Среднегодовая выработка электроэнергии равна





Земляная плотина.

1 — крепление камнем на слое гравия 0,3 м; 2—диафрагма из железобетонных плит; 3— стальной шпунт; 4— аллювий; 5— глина; 6 — наклонный фильтр; 7—каменный банкет; 8—мелкозернистый песок; 9—одерновка с посевом трав (31,5—ФПУ; 29,5 —НПУ; 25,0—УМО; 21,4—Макс. УНБ; П,С—Мин. УНБ).



Земляная плотина.

1 — бетонные плиты; 2—гибкий железобетонный тюфяк; 3—каменная наброска; 4—мелкозернистый песок; 5—одерновка; 6—мошение по наклонному фильтру; 7—камень и гравий; 8—каменная наброска (31,5—ФПУ; 29,5—НПУ; 25,0—УМО; 21,4—Макс. УНБ, 11,6—Мин. УНБ)

1 100 млн. *квт · ч*. Расход воды через турбины гидроэлектростанции при работе шести агрегатов составляет 3 469 *м³/сек*.

Станция обслуживается двумя мостовыми кранами грузоподъемностью 310—75—20 *т* и мостовым 50-г краном для щитового отделения.

Станция полностью автоматизирована и управляется телемеханически из Москвы по проводам высокого напряжения.

Всего по сооружениям Шекснинского створа были выполнены следующие объемы работ; выемка и вскрыша — 6280,1 тыс. *м³*, насыпь — 6653,6 тыс. *м³*, бетон и железобетон — 583,7 тыс. *м³*, фильтры и банкеты — 378,5 тыс. *м³*, крепление откосов — 511,8 тыс. *м²*, металлические конструкции — 17,45 тыс. *т*.

Бетонные сооружения возводились в одну очередь, а перекрытие русла производилось во вторую очередь местными материалами без перемычек.

При возведении земляных сооружений применялся безъядерный намыв песчаных грунтов торцовым и двусторонним беспрудковым способами. Интенсивность намыва по высоте достигала 70 *см* в сутки.

Русла рр. Волги и Шексны перекрывались каменными банкетами с двух-трех линий ленточных транспортеров шириной 750 *мм* камнем диаметром до 36 *см*.

Для того чтобы камни не разбивали ролики транспортеров, применялись сближение роликов до 50 *см* в осях и повышение натяжения ленты. При этих условиях перекрытие русла оказалось весьма быстрым и экономичным.

При возведении железобетонных сооружений для подачи бетона к блокам и перемещения материалов из карьеров применялись ленточные транспортеры. Так, на основных сооружениях (без карьеров) суммарная длина ленточных транспортеров достигала 25 тыс. *м*.

Для обслуживания ленточных транспортеров был построен завод резиновых изделий с годовой производительностью 100 тыс. *пог. м* транспортной ленты шириной 600—700 *мм* и 45 тыс. *пог. м* приводных ремней. На строительстве впервые в СССР были применены железобетонные плиты-оболочки и жесткая сварная арматура. Первый гидроагрегат сдан в эксплуатацию в ноябре 1941 г.

# УГЛИЧСКАЯ ПЛОТИНА

Угличская ГЭС на Волге располагается у г. Углича, где на этом участке речной долины сохранились коренные породы — плотные коренные суглинки. Выше и ниже Углича эти коренные породы частично размыты и покрыты речными отложениями.

В состав сооружений гидроузла входят: водосбросная железобетонная двухъярусная плотина, гидроэлектростанция 110 тыс. *квт*, однокамерный судоходный шлюз, земляная плотина и сопрягающие дамбы. Основанием бетонных сооружений служит плотный водонепроницаемый моренный суглинок, содержащий гравий, гальку и валуны, а также внутриморенные песчаные линзы. Под плотиной толща морены достигает 26 м, уменьшаясь под зданием ГЭС до 15 м. Вследствие этого осадки силового здания достигают 11 см, тела плотины — 6 см.

Подпорными сооружениями гидроузла образовано водохранилище объемом 1,3 км<sup>3</sup> с площадью зеркала при НПУ 250,0 км<sup>2</sup> при полезном объеме 0,61 км<sup>3</sup>.

Водный баланс водохранилища распределен следующим образом: выработка электроэнергии — 75,1%, шлюзование судов — 3,7%, испарение и фильтрация — 1,0%, сброс через плотину — 20,2%.

Площадь водосбора выше створа гидроузла составляет 60 000 км<sup>2</sup>, среднегодовой сток—14 км<sup>3</sup>, а соответствующий ему среднегодовой расход — 431 м<sup>3</sup>/сек. Максимально наблюдаемые весенние расходы колеблются от 2 100 до 7 630 м<sup>3</sup>/сек.

Двухъярусная водообросная железобетонная плотина пропускает расход 1000-летней обеспеченности при НПУ 11600 м<sup>3</sup>/сек, при этом верхние водосливы пропускают 2 900 м<sup>3</sup>/сек и нижние отверстия 8 700 м<sup>3</sup>/сек. За период эксплуатации расход доходил до 6 000 м<sup>3</sup>/сек.

Плотина объемом бетона 278 тыс. м<sup>3</sup> и общей длиной 179,0 м (шесть секций по 26,0 м и одна у левобережного устоя 23,0 м) имеет водопропускной фронт (семь пролетов по 19,8 м в свету) с удельным расходом 83,7 м<sup>3</sup>/сек. Каждый пролет имеет две забральные балки толщиной 7,0 м, отделяющие верхний водослив от нижнего отверстия. Между балками находится камера донного затвора, перекрываемая железобетонной крышкой.

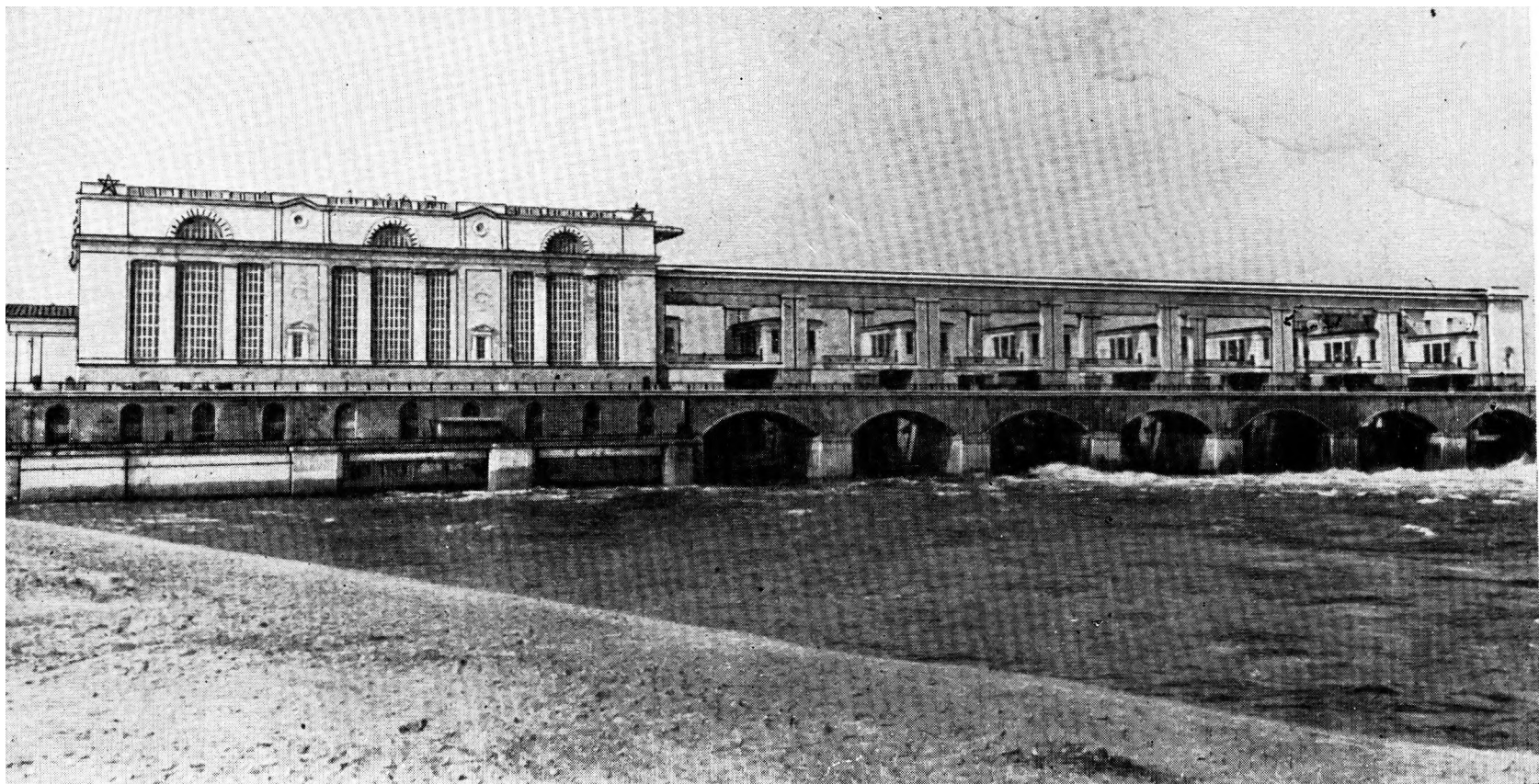
Низовая забральная балка вместе с крышкой над пазом донного затвора образует водослив практического профиля для поверхностного отверстия.

Максимальный удельный расход в нижнем бьефе составляет 60 м<sup>3</sup>/сек на 1 пог. м водобоя.

Верхнее отверстие 19,8X5,4 м перекрыто сегментным затвором, а нижнее 19,8X4,0 м — плоским колесным затвором, снабженным струенаправляющими зубьями, и нижний ригель его сделан дырчатым. Испытание модели в  $1/50$  натуральной величины показало плавность изменения подъемного усилия по всей высоте поднятия затвора и минимальную вибрацию при истечении из-под щита в атмосферу.

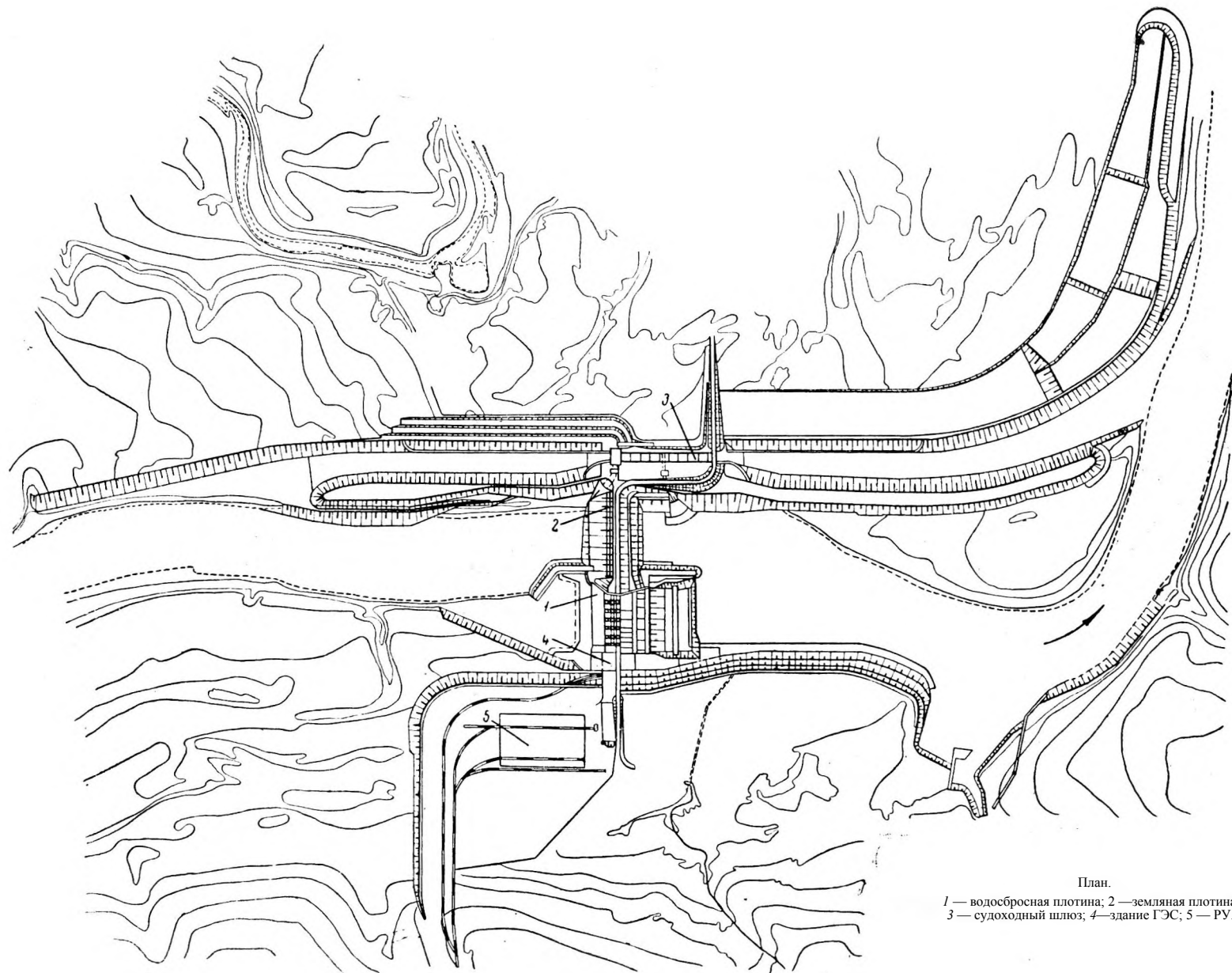
Пролеты плотины с верхней стороны перекрываются ава-





Общий вид.



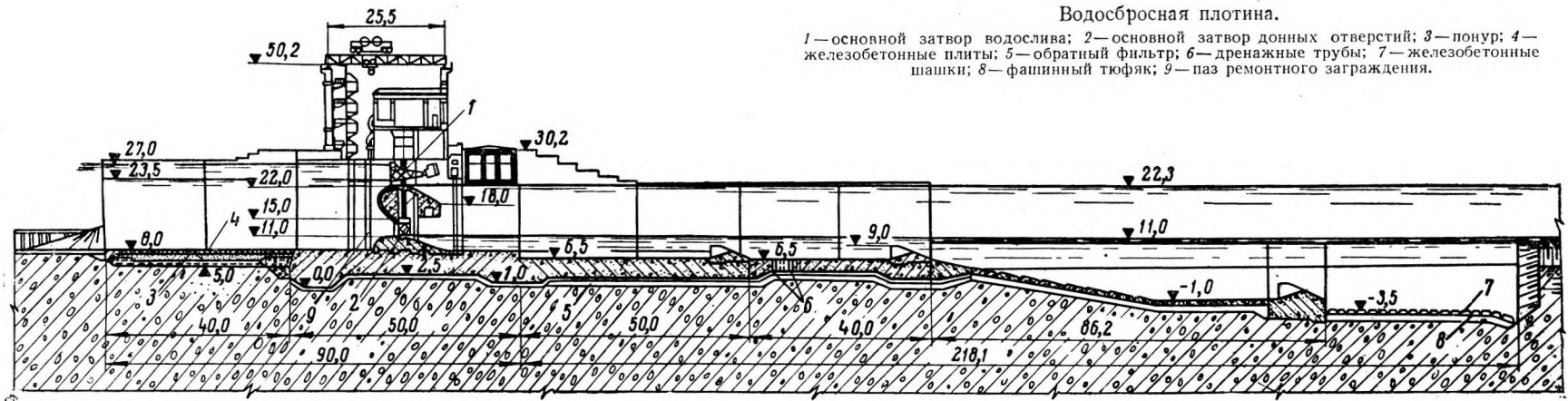


План.

1 — водосборная плотина; 2 — земляная плотина;  
3 — судоходный шлюз; 4 — здание ГЭС; 5 — РУ.

### Водосбросная плотина.

1—основной затвор водослива; 2—основной затвор донных отверстий; 3—понур; 4—железобетонные плиты; 5—обратный фильтр; 6—дренажные трубы; 7—железобетонные шашки; 8—фашинный тюфяк; 9—паз ремонтного заграждения.



рийно-ремонтным заграждением 19,8X19,5 м, опускающимся под собственным весом.

Для обслуживания затворов и механизмов плотины устроена железобетонная эстакада с мостовым 310-т краном, который является эксплуатационным краном машинного зала ГЭС.

Водобой плотины длиной 90 м выполнен из двух бетонных массивных плит, имеющих в конечной части ряд зубьев-гасителей. За водобоем расположена наклонная рисберма длиной 142,9 м из железобетонных плит и шашек, в конце которой находится третий ряд зубчатого порога. Концевая часть рисбермы заглублена под минимальный уровень воды на 14,5 м для обеспечения донных скоростей не более 2,0 м/сек.

Гидроэлектростанция оборудована двумя агрегатами по 55 тыс. квт каждый. Турбины поворотлопастные максимальной мощностью 70 тыс. квт (скорость вращения 62,5 об/мин, диаметр рабочего колеса 9,0 м).

Главные генераторы зонтичного типа с обращенной пятой мощностью 68750 ква (55 тыс. квт при коэффициенте мощности 0,8) и напряжением 13,2 кв ± 10%.

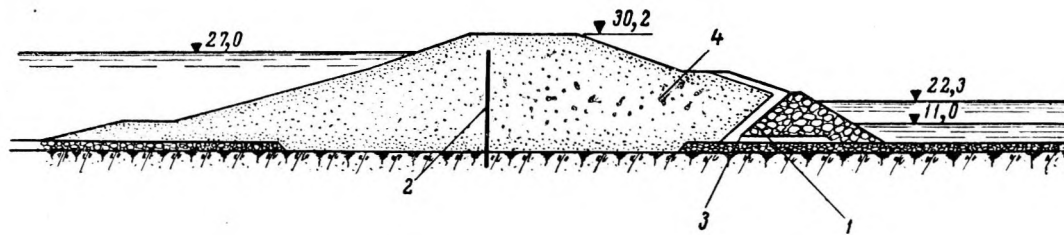
На одном валу с главным генератором находится генератор собственных нужд мощностью 2 000 ква и напряжением 3 кв.

Повышающие однофазные трансформаторы вынесены на берег и соединены с генераторами кабелем, проложенным в туннеле.

Станция обслуживается двумя мостовыми кранами грузоподъемностью по 310—75—20 т, одним мостовым 50-т краном в щитовом отделении и одной шандорной 50-т тележкой для шандорных щитов нижнего бьефа. Внутри крытой подкрановой эстакады построен низкий машинный зал, обогреваемый отходами тепла генераторов; объем бетона по зданию ГЭС 174 тыс. м<sup>3</sup>. Среднегодовая выработка электроэнергии составляет 250 млн. квт-ч. Станция полностью автоматизирована и управляется телемеханически из Москвы по проводам высокого напряжения.

Земляная русловая плотина (длина 310 м, высота 27 м) намыта из однородного песчаного материала с диафрагмой из металлического шпунта в теле плотины и каменным банкетом со стороны нижнего бьефа. Верховой откос 1 : 2,5 (вверху) до 1:4 (внизу) имеет каменное крепление на слое гравия.

Общий объем тела плотины с перемычкой равен 1,055 млн. м<sup>3</sup>. Со стороны нижнего бьефа находится упорный каменный банкет высотой 13 м с полукторными откосами.



Земляная плотина.

1 — каменный банкет; 2 — металлический шпунт; 3 — обратный фильтр; 4 — мелкозернистый песок (27,0 — НПУ; 23,5 — УМО; 22,3 — Макс. УНБ; 11,0 — Мин. УНБ).

От левого устоя бетонной плотины до верхней головы шлюза проходит противодиффузионная диафрагма из металлического шпунта и металлического листа толщиной 8—12 мм, наваренного у верхней части. Диафрагма, заглубленная в моренный грунт основания на 2 м и возвышающаяся на 1 м на НПУ, гасит свыше 90% действующего напора на плотине.

Компоновка гидроузла — пойменная с возведением всех бетонных сооружений в одну очередь и перекрытием русла реки каменным банкетом во вторую очередь.

На строительстве работали две канатные дороги: одна — бетоновозная (для бетонирования шлюза) и другая — ниже створа — для транспортировки заполнителей.

Бетонная смесь от завода до блоков бетонирования на правом берегу подавалась ленточными транспортерами шириной 600—700 мм.

Для подачи арматуры, плит-оболочек, щитовой опалубки и металлоконструкций работали три радиальных и один параллельный кабель-кран высотой до 55 м, пролетом до 400 м и грузоподъемностью 13 т, а также 28 других подъемно-транспортных механизмов.

Земляные работы по возведению русловой плотины и дамб осуществлялись в основном методом гидромеханизации.

Всего по гидроузлу выполнено работ в объеме:

земляные работы — 15316,0 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе выемка и вскрыша — 8476,0 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь — 6840,0 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 775,5 тыс. м<sup>3</sup>, фильтры и банкеты — 305,0 тыс. м<sup>3</sup>, крепление откосов — 772,0 тыс. м<sup>3</sup>, металлический шпунт — 5128,0 т, металлические конструкции — 12957,0 т.

В 1940 г. пущен в эксплуатацию первый агрегат, а весной 1941 г. — второй.

# ИВАНЬКОВСКАЯ ПЛОТИНА

Площадь водосбора Волги до створа Иваньковского гидроузла равна 40 570 км<sup>2</sup>, площадь зеркала водохранилища при НПУ — 327 км<sup>2</sup>. Емкость водохранилища равна 1 120 млн. м<sup>3</sup> при полезной 966 млн. м<sup>3</sup>. Максимальный расход через сооружения равен 7 350 м<sup>3</sup>/сек.

Основанием бетонных сооружений служат плотные моренные суглинки мощностью 12—14 м, подстилаемые подморенными песками мощностью 12,5 м с напорными водами со средним статическим уровнем 15—17 м над подошвой основания плотины.

Гидроэлектростанция открытого типа с установленной мощностью 30 тыс. квт с двумя генераторами зонтичного типа и поворотнлопастными турбинами диаметром 5,0 м вырабатывает 130 млн. квт-ч.

Водосливная плотина длиной по фронту 216 м разрезана температурно-усадочными швами через 27 м и при ширине полубычков 3,5 м имеет восемь пролетов по 20 м. Четыре пролета имеют повышенный водослив практического профиля и четыре с двумя ярусами отверстий: верхними — водосливыми и нижними — донными. Максимальная высота плотины с учетом заложения верхового зуба равна 30 м.

Донные отверстия размером 5X20 м стеснены двумя промежуточными бычками толщиной 1,5 м, расставленными симметрично относительно середины пролета с просветом между ними посредине 10,5 м и по краям 3,25 м. Назначение донных отверстий в двухъярусных секциях — пропуск строи-

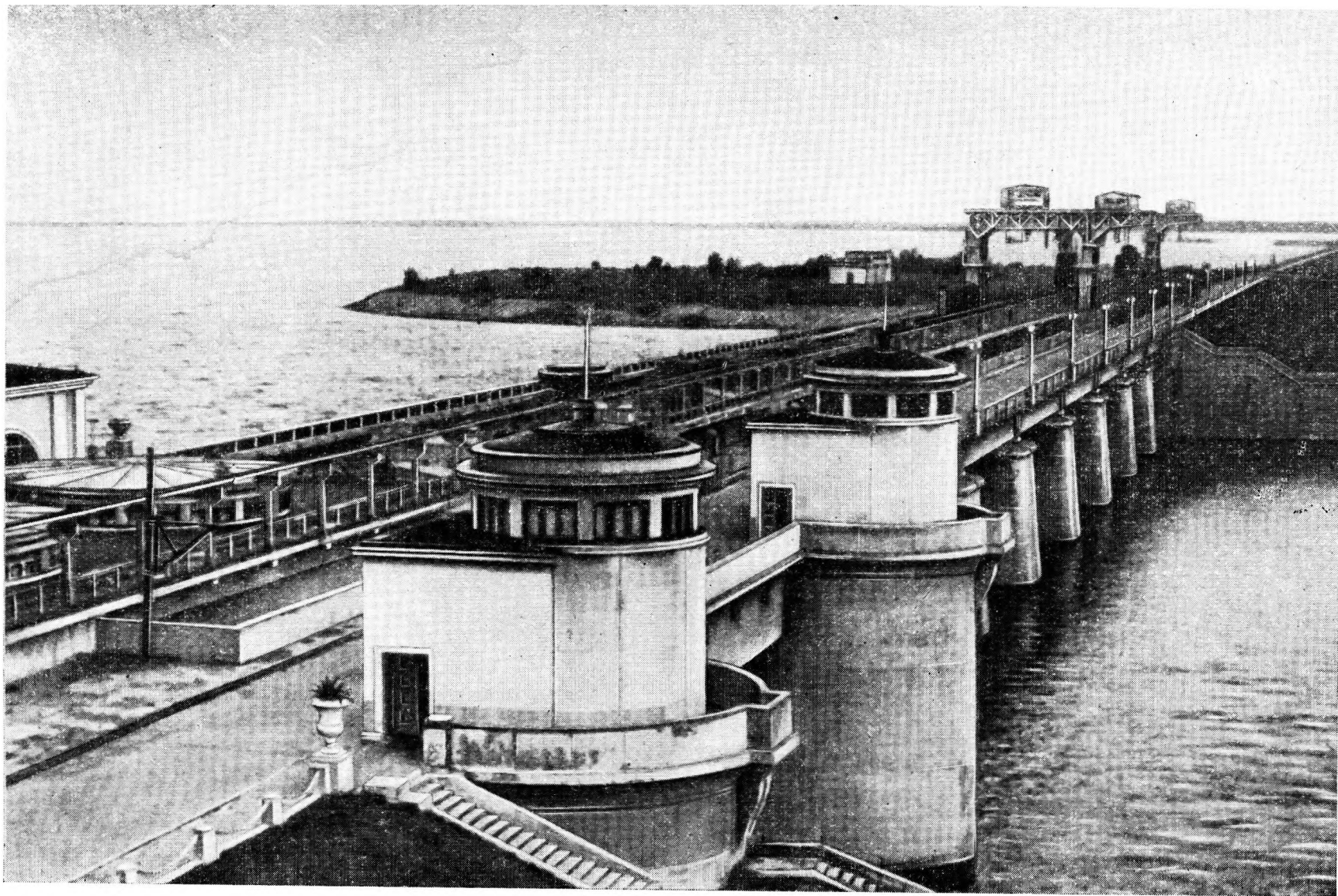
тельных расходов в период перекрытия русла реки земляной плотиной, а в период эксплуатации — значительных паводковых расходов.

Водосливные отверстия плотины перекрыты плоскими катковыми затворами. Маневрирование затворами производится 150-г портальными кранами.

Перед телом плотины расположен понур из слоя асфальта по бетонной подготовке длиной 37 м в пределах водосливных секций и 46 м в пределах двухъярусных секций. Водобой состоит из 15 бетонных армированных плит размером 37,75X13,5 м и толщиной 4,5 м, т. е. по две плиты на каждую секцию. Водобой заканчивается зубчатым порогом, образующим водобойный колодец глубиной 2,5 м. Рисберма состоит из трех частей: первая — бетонные плиты размером 14,57X15 м и толщиной 3,0 м на слое обратного фильтра толщиной 1,10 м, вторая — бетонные плиты размером 4,0X4,0 м и толщиной 1,2—1,5 м, заканчивающиеся бетонным зубом, врезанным в морену, третья — гибкая часть из армобетонных шашек 2,3X2,0 м толщиной 0,6—0,75 м, уложенных параллельными рядами по фашинному тюфяку толщиной 0,6 иг. Все шашки в продольном и поперечном направлениях соединены между собой арматурными выпусками петлевого типа. Рисберма заканчивается зубом в виде ряжа шириной 6,0 м. Бетон для плотины применен марок: 110 — для внешних зон и 90 — для внутренних частей.

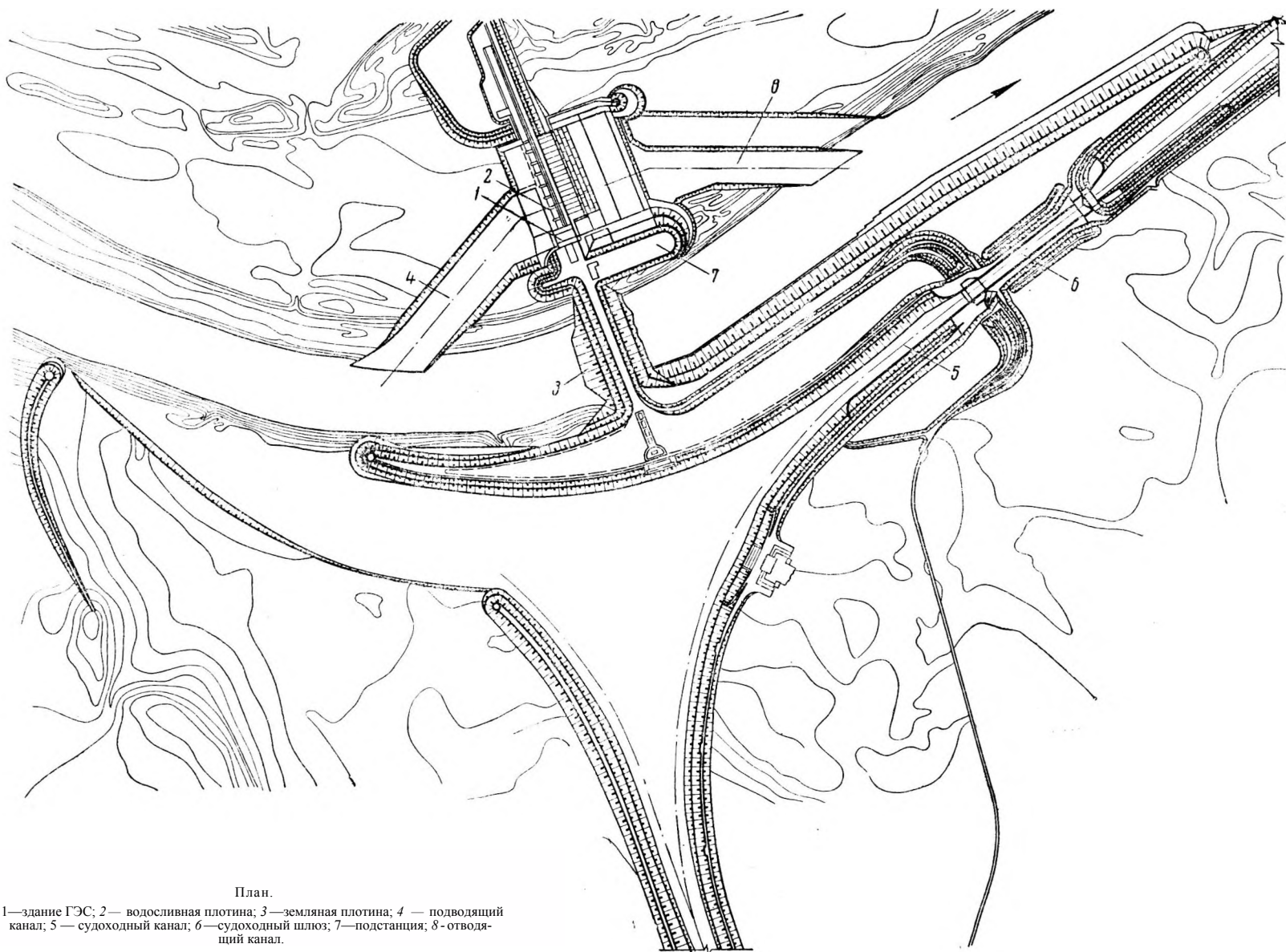
Возведение водосливной плотины и здания ГЭС произво-





Общий вид.

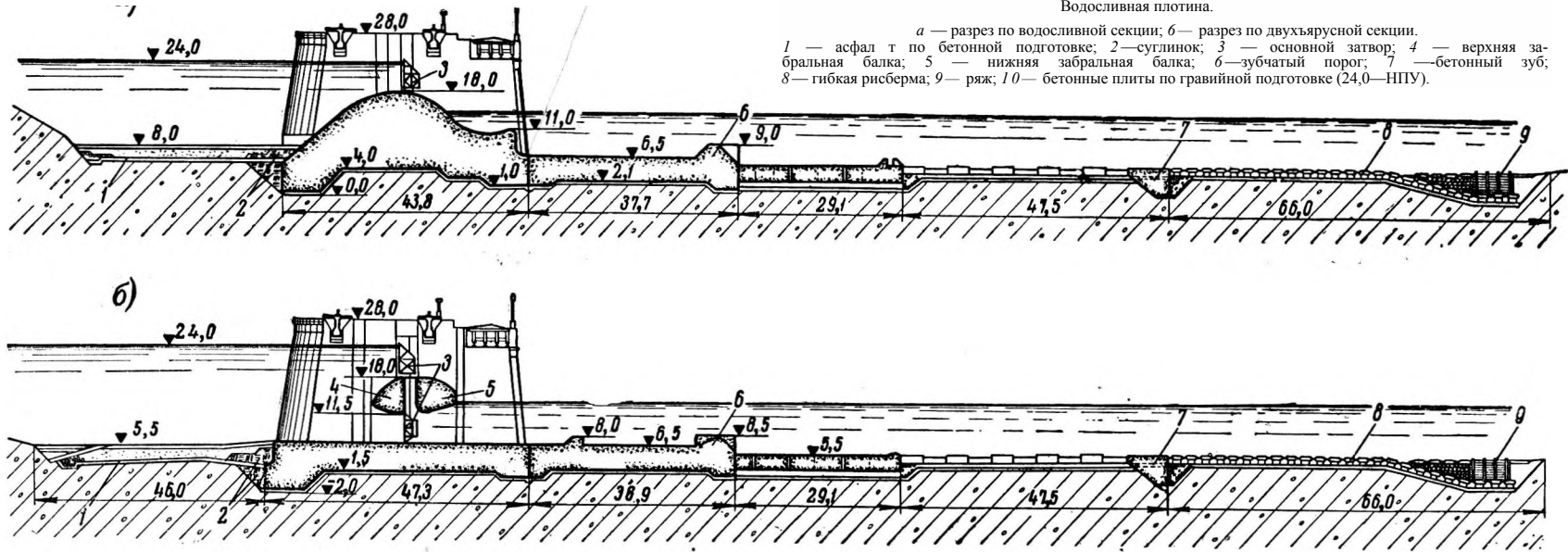




План.

1—здание ГЭС; 2— водосливная плотина; 3—земляная плотина; 4 — подводящий канал; 5 — судоходный шлюз; 6—судоходный шлюз; 7—подстанция; 8-отводящий канал.

Водосливная плотина.



дилось за незатопляемой перемычкой с апреля 1934 г. по январь 1936 г. После прохода паводка 1936 г. перемычка была разобрана и расходы пропускались через донные отверстия бетонной плотины. В этом же году была возведена русловая намывная плотина. Общий объем бетона 252 тыс.  $m^3$  был уложен за период с 16 августа 1934 г. по январь 1936 г.

Объем уложенного бетона по способам транспортирования и подачи в блоки бетонирования распределился следующим образом: вагонетками — 65 тыс.  $m^3$  (27%), магистральными транспортерами с распределением в блоки вагонетками — 148 тыс.  $m^3$  (59%), магистральными и распределительными транспортерами — 37 тыс.  $m^3$  (14%). Таким образом, 73% бетона было подано транспортерами с бетонного завода к сооружению. Максимальная месячная интенсивность укладки бетона достигала 48 тыс.  $m^3$ , суточная — 2 360  $m^3$ .

Земляная русловая плотина высотой 24 м намыта из среднезернистых песков. С низовой стороны плотина имеет наклонный банкет. С целью уменьшения фильтрационных расходов по фронту плотины со стороны верхнего бьефа

вдоль бровки верхнего откоса на расстоянии 14 м от разбавочной оси забит металлический шпунт длиной 11,5—12,0 м. Стенка из шпунта в целях экономии металла была наращена на 11,4 м деревянной диафрагмой. Диафрагма состоит из отдельных шигов, сбитых из двух взаимно перпендикулярных рядов просмоленных с обеих сторон досок размерами 4X X25 см, и 4-см прокладкой в середине битумных матов толщиной по 2 см.

На нравом берегу в деривационном канале расположен однокамерный шлюз.

Гидроузел сооружен в период 1932—1937 гг.

Расположение бетонной плотины и ГЭС на левом берегу Волги, в пойме ее, вызвано соображениями удобства производства работ и пропуска строительных расходов. Расположение шлюза на правом берегу в деривационном канале вызвано преимуществом удобного входа судов с нижнего бьефа.

Объем основных работ по гидроузлу: земляные работы — 15,2 млн.  $m^3$ , бетон и железобетон — 545,3 тыс.  $m^3$ , металлоконструкции — 6,78 тыс. т.

# ГОРЬКОВСКАЯ ПЛОТИНА

Горьковский гидроузел мощностью 520 тыс. квт при подпоре 17,0 м создает водохранилище емкостью 8,7 км<sup>3</sup>, которое используется для энергетических и судоходных целей.

В состав сооружений гидроузла при общей длине напорного фронта 13 км входят: здание ГЭС длиной 265,0 м, бетонная водосливная плотина длиной 290 м земляные плотины общей длиной 12 350 м, судоходные сооружения, состоящие из двухступенчатых тарных шлюзов с рездельным бьефом, дамб аванпорта и канала со стороны нижнего бьефа.

Водосливная бетонная плотина предназначена для сброса паводка повторяемостью 1 раз в 10 000 лет 17 280 м<sup>3</sup>/сек с учетом трансформации в водохранилище при форсировке НПУ на 1,5 м.

Под основанием тела плотины залегают сарминские отложения, представленные слабоцементированными песками, мергелями, глинами, алевритами и алевролитами, под водобоем и рисбермой — аллювиальные пески. Перед водосливом имеется противофильтрационная завеса — бетонный зуб, прорезающий водопроницаемые породы сарминских отложений до водоупорных глин и мергелей.

Водосливной фронт плотины длиной 240 м состоит из 12 отверстий шириной по 20,0 м и высотой 9,0 м, считая от гребня водослива до подпорного уровня. Высота плотины от подошвы до верха бычков 32,5 м и ширина по основанию 39,0 м. Температурно-осадочными швами водослив разрезан на шесть блоков по два отверстия в каждом блоке. Толщина

бычков с температурно-осадочными швами равна 2,25 м, а в пределах блока — 3,5 м.

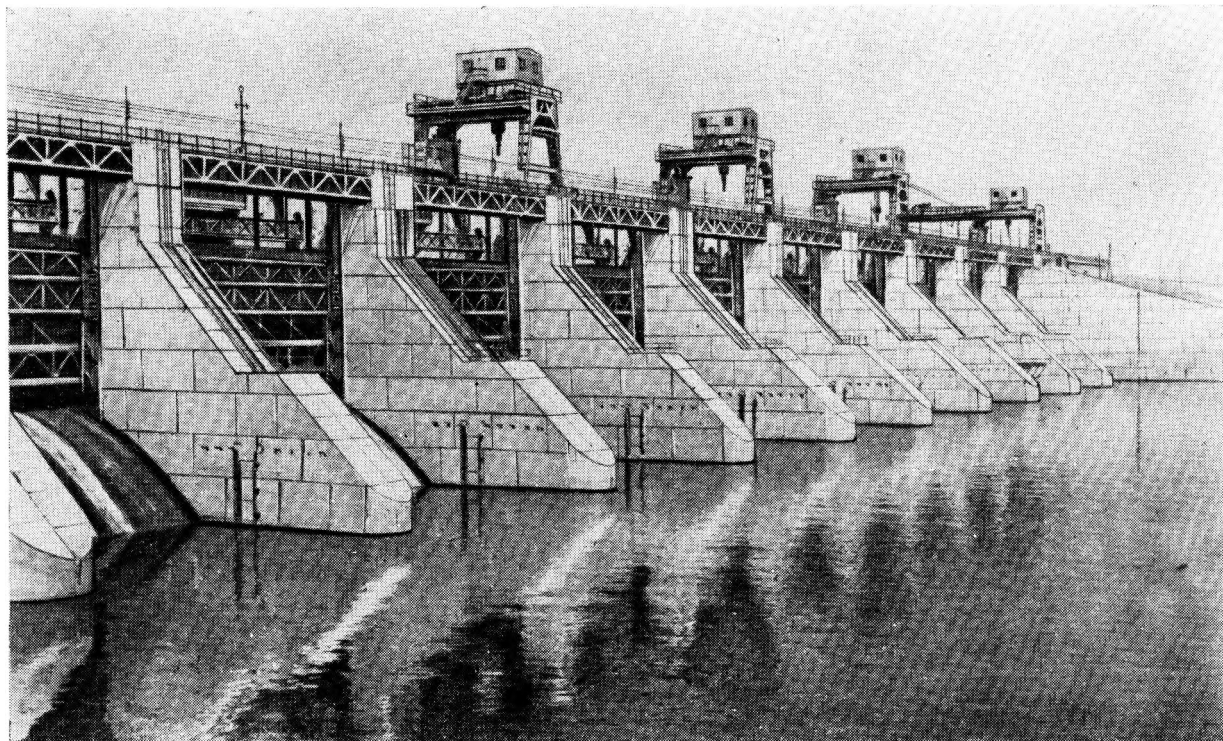
Отверстия водослива перекрываются плоскими затворами 20X9,8 м. Два отверстия, расположенные у ГЭС, перекрыты сдвоенными затворами, что дает возможность сбрасывать плавающие предметы при минимальных расходах. Затворы обслуживаются четырьмя козловыми 100-т кранами; затвор поднимается и опускается двумя кранами.

Водобой состоит из армобетонной плиты толщиной 3,5—2,5 м. На водобое расположены два ряда пирамид-пирсов для выравнивания-потока по фронту. Жесткая часть рисбермы выполнена из бетонных плит 12X12 м длиной 36,0 м, а гибкая часть—из плит 2x2,2 м в два слоя длиной 54,0 м. Верхний слой состоит из железобетонных плит, нижний слой — из бетонных плит. Плиты шарнирно связаны между собой, за исключением швов, расположенных вдоль потока через 8 м. Плиты по всему фронту шарнирно присоединены к массиву — зубу высотой 4,5 м.

Гибкая часть рисбермы в концевой части имеет уклон в сторону нижнего бьефа, образуя ковш глубиной 8 м при минимальном уровне воды. Плиты гибкой части рисбермы в пределах ковша подстилаются фашинным тюфяком, на остальном протяжении — каменной наброской.

Гашение фильтрационного напора по подземному контуру сооружения осуществлено железобетонной вертикальной завесой, располагаемой вдоль всего напорного фронта плотины.





Общий вид.

Горизонтальный участок завесы, состоящий из железобетонной плиты и слоя асфальтобетона, а также зуб перекрыты слоем суглинка, что вместе со шпанками в швах сопряжения плиты обеспечивает водонепроницаемость конструкции. Осуществление завесы происходило в условиях уже возведенной первой очереди водослива, что потребовало специальных мероприятий — замораживания грунтов для предотвращения выноса водонасыщенных песков основания плотины при выемке котлована для завесы.

Под основанием плотины уложен обратный двухслойный фильтр, соединенный через потерну и трубами в бычках с нижним бьефом. Для наблюдений за сооружением в период экс-

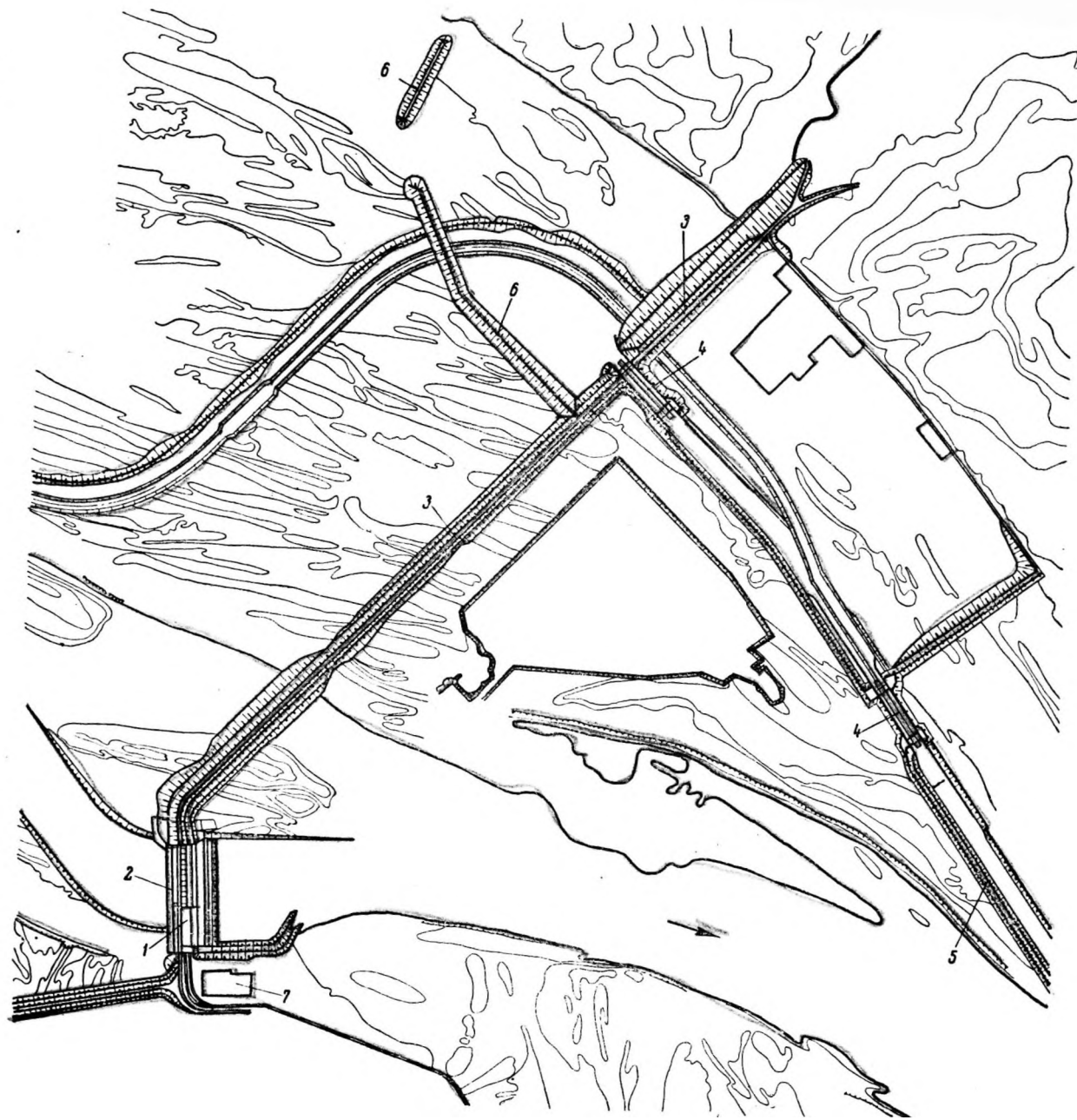
плуатации установлена измерительная аппаратура: пьезометры, высотные реперы и шелемеры. Наблюдения за режимом фильтрации в толще грунтов основания сооружений показали, что уровни воды в песчаной прослойке повторяют уровни нижнего бьефа с превышением последних на 2—3 м. Пьезометры, установленные непосредственно под подошвой сооружения, показывают незначительные отклонения уровней от проектных. Осадки водосливной плотины за 5 лет эксплуатации не превышают 78 мм. Объем бетона и железобетона водосливной плотины 320 тыс. м<sup>3</sup> при содержании арматуры в среднем 33 кг/м<sup>3</sup>.

Сооружение плотины выполнено в две очереди. Первая



План.

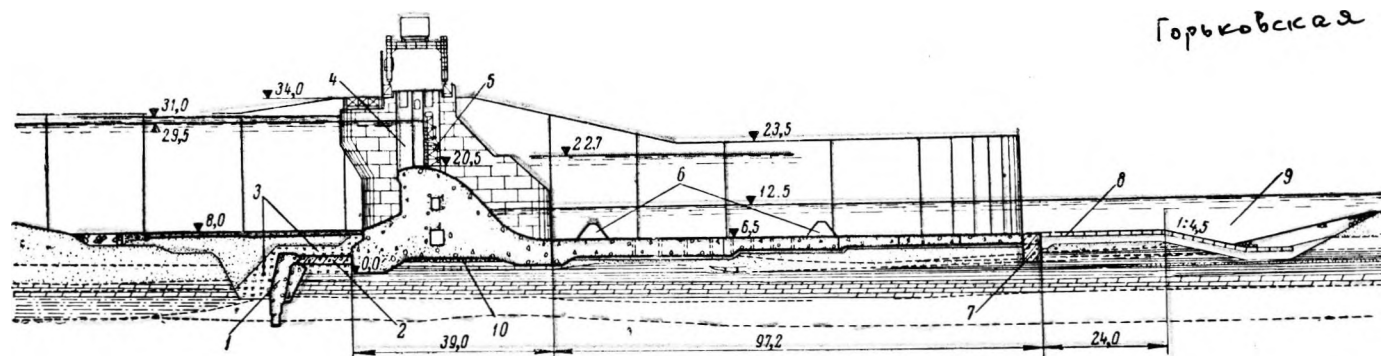
- 1— здание ГЭС; 2 — водосливная плотина ;  
3 — земляные плотины; 4 — судоходцы ;  
шлюз; 3 — канал; 6 — дамбы аванпорта ;  
7 — ОРУ 220 и 110 кВ.



очередь — в общем со зданием ГЭС котловане за перемышками и вторая очередь—способом гребенки после перекрытия русла банкетом земляной плотины.

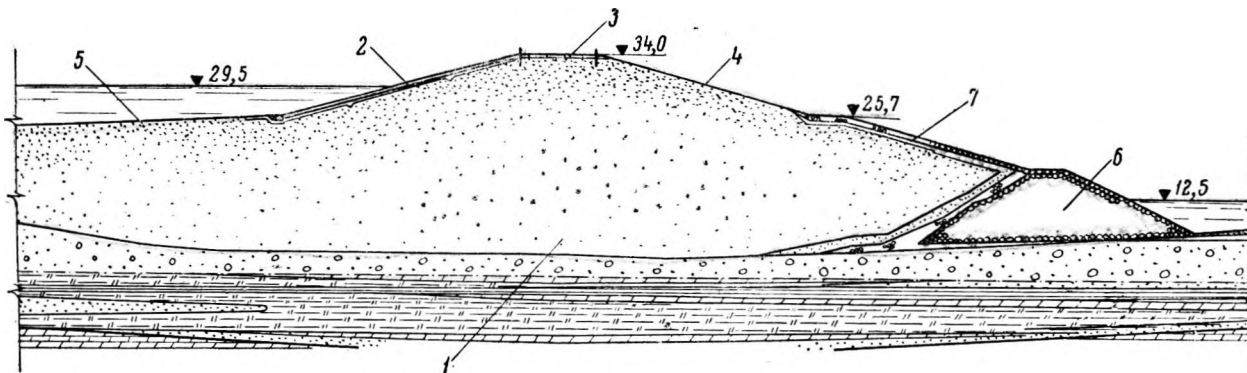
В период первой очереди строительства гидроузла расходы реки пропускались в основном русле и частично в период весенних расходов через пойменные участки долины. Во вторую очередь расходы пропускались через недостроенные водосливные отверстия.

Вначале были выполнены водобой, рисберма, понур и частично водослив. Укладка бетона в рисберму, водобой и нижние блоки плиты водосливной плотины производилась гусеничными стреловыми кранами, а также автосамосвалами с инвентарных мостиков, перемещаемых из блока в блок по мере бетонирования. Подача бетона осуществлялась автотранспортом в 1,6- и 3,0-м<sup>3</sup> бадьях. При бетонировании водосливной грани применялась вакуум-опалубка.



Водосливная плотина,

1—противофильтрационная завеса; 2—железобетонная плита; 3—суглинок; 4— паз ремонтного затвора; 5—основной затвор; 6—гтели; 7—железобетонный анкерный зуб; 8—гибкая рисберма; 9 — ковш; 10 — обратный фильтр.



Земляная плотина

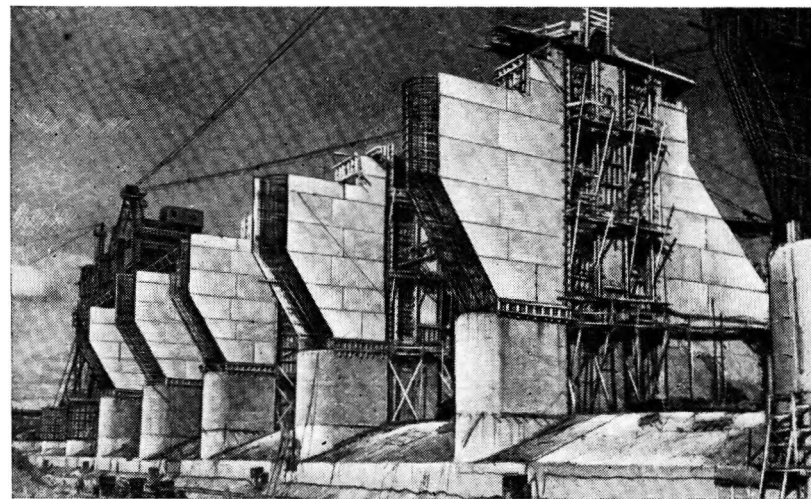
1—мелкозернистый песок; 2 — армированные бетонные плиты; 3 — двухслойное асфальтобетонное покрытие; 4—одерновка; 5 — откос заcolmатирован; 6 —каменный банкет; 7 —мошение по наклонному фильтру (31,0—ФПУ; 29,5—НПУ; 22,7—Макс. УНБ; 12,5 — Мин. УНБ).

Бетонирование бычков производилось 10-г башенными кранами, 10-г кабель-краном пролетом 900 м и бетононасосами, установленными на водобойной плите. Арматура бычков устанавливалась в армокаркасах с бесштрабной установкой закладных частей затворов. Бычки возводились в плитах-оболочках.

Вначале были возведены два пролета водослива полностью и 10 пролетов на высоту 10—12 м. До проектной отметки (на высоту 9 м) 10 отверстий водослива возводились способом гребенки после перекрытия земляной плотиной основного русла реки. Водослив был разделен швом поперек потока. В первую очередь бетонировался участок водослива со стороны нижнего бьефа под защитой эксплуатационных затворов. Участок гребня водослива со стороны верхнего бьефа бетонировался подводным способом с установкой облегченного типа шандор, опускаемых в ремонтные пазы.

Русловая земляная плотина протяженностью 1 300 м с объемом 4,4 млн. м<sup>3</sup> грунта возведена из мелкозернистых песков намывом. Наибольшая строительная высота плотины 28 м. Плотина воспринимает напор 17,0 м. Основанием плотины являются разнозернистые пески, содержащие у водопора гравий и гальку. Низовой откос плотины дренируется каменным банкетом шириной поверху 5,0 м и высотой от 3 до 1 1,0 м. На островном участке банкет имеет продольные уклоны и сбрасывает дренажные воды двумя дренажными выпусками. В пределах возможного выхода депрессионной кривой на низовой откос последний закреплен каменной мостовой на двухслойном обратном фильтре. Верхняя часть низового откоса закреплена сплошной дерновкой на почвенно-растительном слое 0,10 м.

Напорный откос плотины на высоту 8,5 м закреплён армированными бетонными плитами 10X10X0,4—0,2 и 10X15X0,4—0,2 м, уложенными на гравийную подготовку и имеющими ленточный обратный фильтр, уложенный под швами плит. Ниже бетонного крепления откос плотины намывает с поллогим заложением, что позволило осуществить промежуточ-



Строительство во водосливной плотины.

ный подъем уровня воды в водохранилище без закрепления откоса. Плотина сопряжена с левобережным устоем водослива железобетонной диафрагмой длиной 48 м, заканчивающейся металлическим шпунтом. У сопряжения с водосливом гребень уширен; здесь размещена площадка для ремонта затворов водослива.

Перекрытие русла осуществлено в две очереди с наплавного моста сбрасыванием камня в текущую воду на ранее отсыпанную в зимний период гравийную подготовку. В первую очередь был перекрыт правобережный участок русла длиной 300 м. Оставшийся проран длиной около 300 м закрыт за 33 ч в летний период с помощью «ежей», 5-г бетонных кубов и крупного камня при скоростях воды на отдельных участках до 4,5—5,0 м/сек.

Конструкция крепления напорного откоса, как показывают эксплуатационные данные, обеспечивает необходимый экранирующий эффект, а крепление верхней части низового откоса сплошной одерновкой—сохранность откоса, создавая привлекательный внешний вид.



# ЧЕБОКСАРСКАЯ ПЛОТИНА

Чебоксарская гидроэлектростанция является пятой ступенью Волжского каскада гидроэлектростанций.

В состав сооружений Чебоксарской ГЭС входят: здание гидроэлектростанции водосливного типа, оборудованное 32 горизонтальными капсульными агрегатами с диаметром рабочего колеса 8 м, земляная плотина длиной 2,3 км и судоходный двухниточный шлюз.

Створ сооружений расположен ниже г. Чебоксары в долине Волга, где русловая часть шириной 1 км разделяется метровом на две протоки: левую судоходную и правую несудоходную. Это создает благоприятные по сравнению с другими створами условия для наиболее экономичного варианта размещения бетонных сооружений — у правого берега.

Правый берег, на участке примыкания крутой (до 40°) и высокий (40—50 м), сложен верхне-пермскими (татарского яруса) глинами и песками и рассечен глубоким Цыган-Касинским оврагом. Выше участка примыкания и в овраге широко развиты оползни.

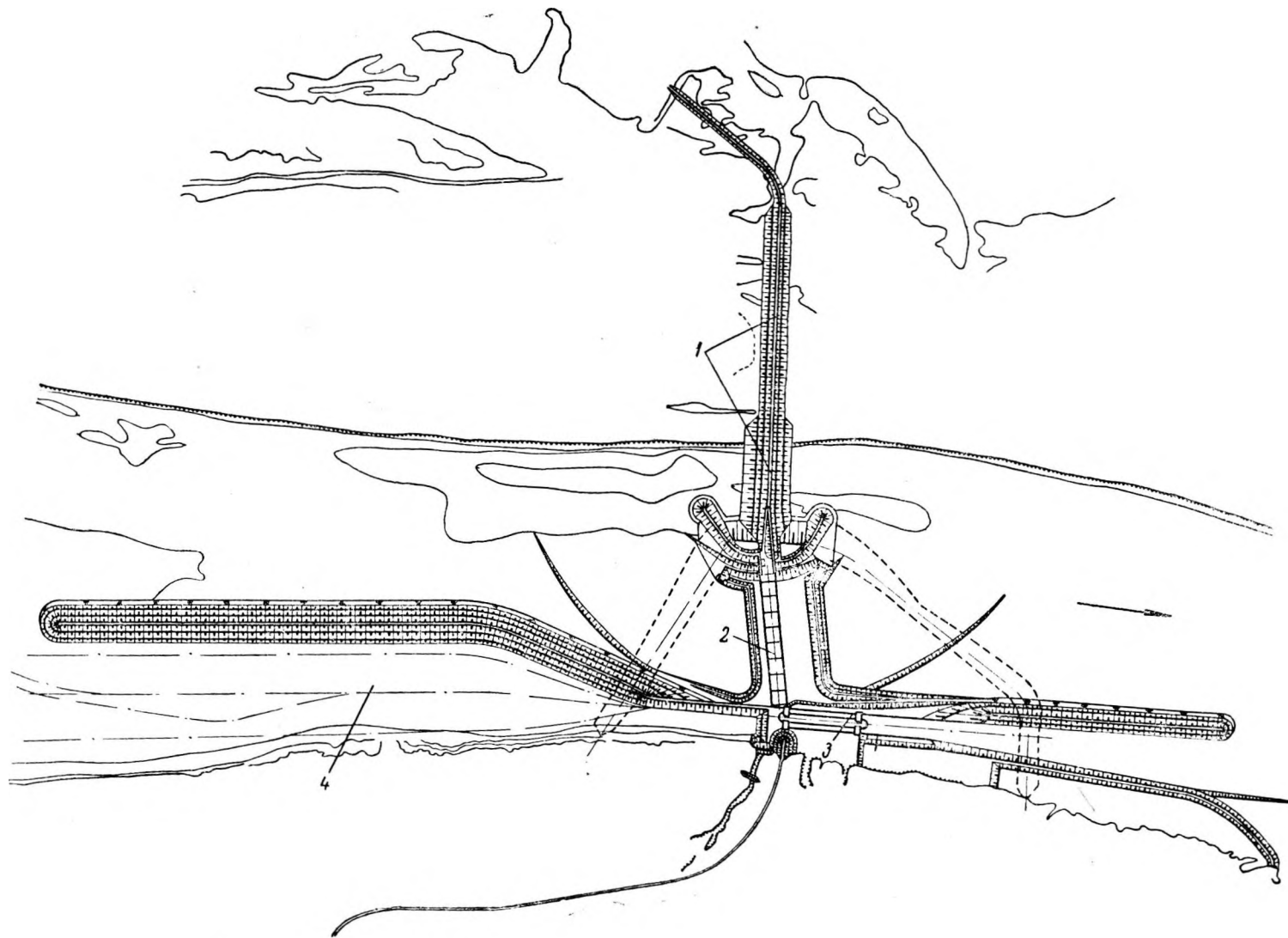
Левый берег имеет пойму шириной более 1 км, вторую надпойменную террасу шириной около 2 км и высотой 12—20 м и третью надпойменную террасу высотой более 30 м. К уступу последней примыкает створ на левом берегу, имеющий общую длину более 3 км. Левобережные террасы и пойма сложены мелкозернистыми песками, мощность которых возрастает от русла в сторону террас с 10—15 до 30—50 м.

Повсюду аллювиальные пески подстилаются коренными пестрыми по литологическому составу породами татарского яруса. На участке бетонных сооружений водосливной плотины — гидроэлектростанции и шлюзов непосредственно под песчаным аллювием, мощность которого 10—15 м, залегают глины красновато-коричневые, полутвердые и тугопластичные с прослоями известняков, мергелей и алевроитов. Мощность глин 10—12 м. На этих глинах будут располагаться шлюзы.

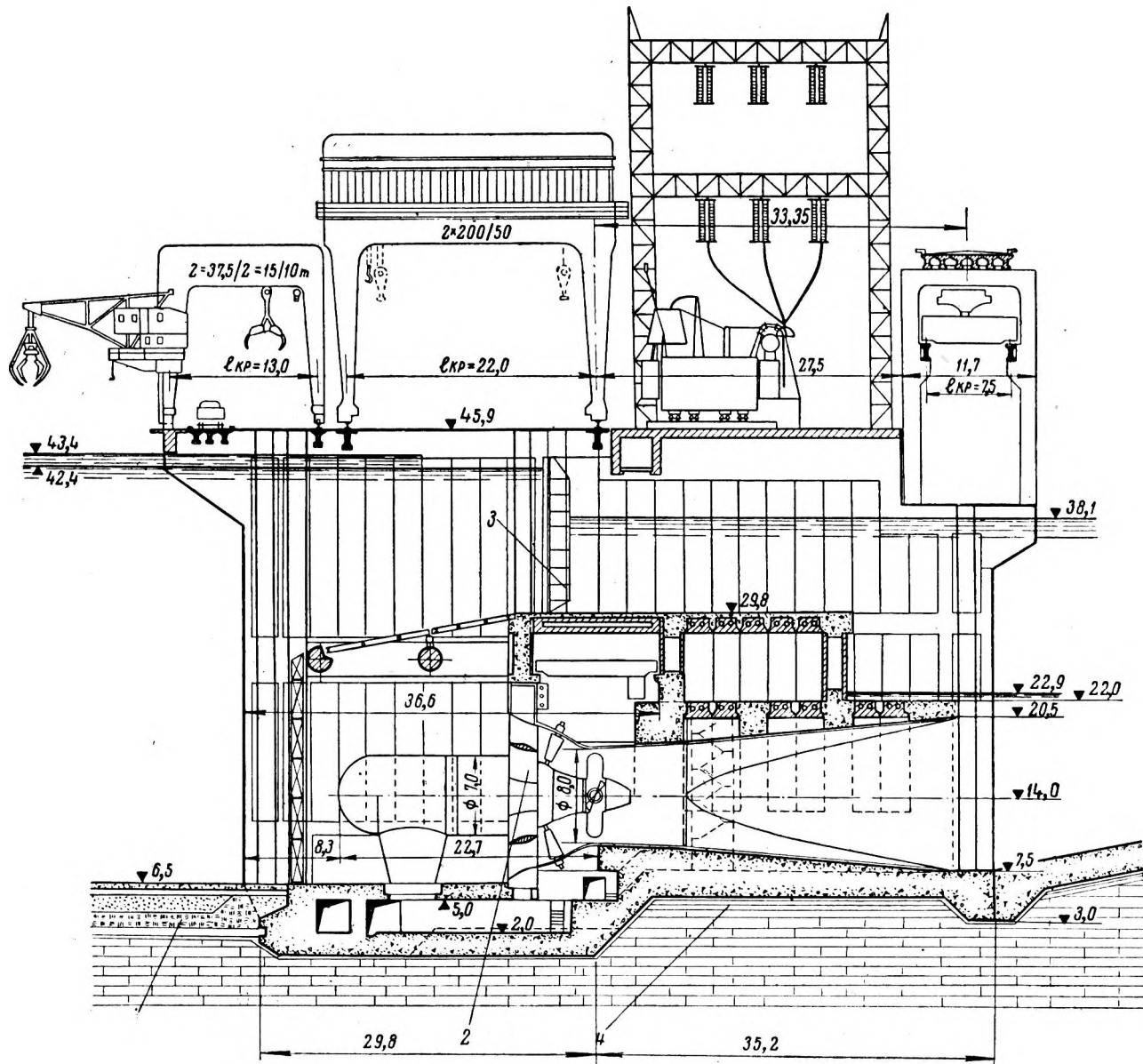
Глины подстилаются толщей серых известняков и мергелей мощностью 8—10 м. Эта толща скальных пород будет служить основанием гидроэлектростанции. Ниже залегает глинисто-мергелистая толща мощностью 25—30 м.

Устойчивость бетонных сооружений определяется в основном свойствами глин и алевроитов. Глины: объемный вес 2,03 г/см<sup>3</sup>, влажность 22%, пористость 41%, удельный вес 2,8 г/см<sup>3</sup>, модуль деформации ( $P > 2$  кг/см<sup>2</sup>) 190, сцепление (при предварительном уплотнении) 0,40 Т/м<sup>2</sup>, угол внутреннего трения (при предварительном уплотнении) 20°; алевроиты: объемный вес 2,03 г/см<sup>3</sup>, влажность 20%, пористость 37,5%, удельный вес 2,73 г/см<sup>3</sup>, модуль деформации 220, сцепление 0,40 Т/м<sup>2</sup>, угол внутреннего трения 20°

Водосливная плотина и здание ГЭС непосредственно примыкают к судоходным шлюзам, которые в свою очередь примыкают к правому крутому берегу. Длина водосливного зда-



План.  
1 -земляная плотина; 2—здание ГЭС совмещенного типа; 3—судоходный шлюз; 4-аванпорт



Здание ГЭС совмещенного типа, Поперечный разрез.

1 — анкерный понур; 2 — агрегат капсульного типа; 3 — затвор водосливного отверстия; 4 — обратный фильтр.

ния ГЭС 568 м (восемь секций по 71 м). Удельный расход на рисберме при пропуске расчетного расхода повторяемостью 1 раз в 1000 лет 46 500 м<sup>3</sup>/сек составляет 80 лг/сек.

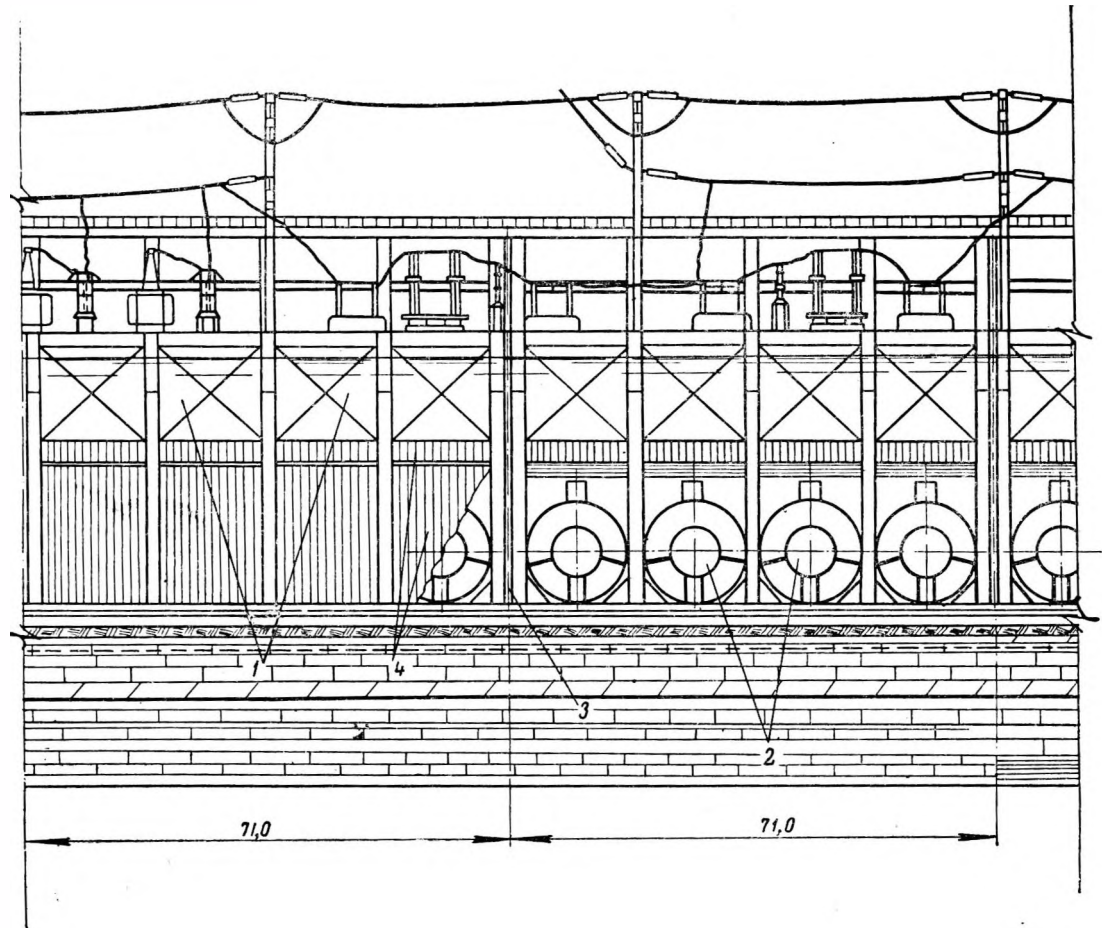
Принятый водосливной тип здания ГЭС с горизонтальными капсульными агрегатами по сравнению со зданием ГЭС совмещенного типа с вертикальными агрегатами диаметром 10 м обеспечивает уменьшение объема бетона на 30—40% и экономию капитальных затрат на 15—25%. Горизонтальный капсульный агрегат имеет весьма совершенную проточную часть, что позволило существенно уменьшить длину здания ГЭС по фронту, значительно упростить его строительные формы и создать благоприятные условия для выполнения здания ГЭС в сборном железобетоне при весе сборных элементов, равном 200 т.

Простота конструкции здания ГЭС с горизонтальными агрегатами, высокий процент сборности, расположение агрегата на низких отметках блока позволяют обеспечить высокие темпы ведения строительно-монтажных работ. Совмещение строительных работ по секциям с монтажом агрегатов можно начать после укладки только 40% объема бетона и обеспечить пуск в эксплуатацию сразу всех агрегатов на полную мощность.

Судоходные двухниточные одноступенчатые шлюзы располагаются в нижнем бьефе с устройством автодорожного моста по верхним головам. Такое решение несколько увеличивает стоимость мостового перехода, однако это облегчает конструкцию шлюзов и работу конструкций в эксплуатационных и ремонтных условиях.

Земляная намывная плотина в русловой части имеет длину примерно 1 км, в пойменной части — 1,3 км. Высота в русле — около 35 м, на пойме — от 5 до 15 м.

Отметка гребня плотины определена из условия нагона ветровой волны высотой 4,0 м с учетом работы парашюта. На гребне располагается автомобильная дорога с шириной проезжей части 7,0 м. Верховой откос имеет берму, расположен-



Здание ГЭС совмещенного типа. Вид с верхнего бьефа,

1 — водосливные отверстия; 2 — агрегаты капсульного типа; 3 — температурно-осадочный шов; 4 — сороудерживающие решетки (43,4 — ФГУ; 42,4 — НПУ; 38,1 — Макс. УНБ; 22,9 — Мин. УНБ).



ную на 5 м ниже НПУ. Ниже бермы имеется перелом с заложения 1 : 3 к заложению 1 : 4, так как ниже этой отметки намыв плотины производится под воду. В зоне волнового воздействия верховой откос крепится железобетонными плитами толщиной 0,4—0,2 м на однослойном фильтре, а в нижней части — каменной наброской слоем 0,6 м.

Низовой откос имеет две бермы; первую, ниже которой по откосу укладывается наклонный двухслойный фильтр толщиной 0,5 м, и вторую, являющуюся гребнем каменного банкета. Откос выше паводковых горизонтов закрепляется травяным покровом с заложением 1 : 2,5; ниже откос крепится железобетонными плитами толщиной 0,2 м с заложением 1 : 3.

Высота каменного банкета 11—12 м. Для предохранения дна реки от размыва при пропуске строительных расходов в створе каменного банкета отсыпается шлейф из камня. По внутреннему откосу банкета укладывается обратный фильтр толщиной 0,9 м.

Устойчивость верхового откоса характеризуется коэффициентом 1,3, низового—1,25.

В первом году строительства разрабатываются котлован под водосливную ГЭС и шлюз с намывом перемычки и части ограждающей дамбы верхнего бьефа.

Во втором году после вывода земснарядов из котлована и его осушения дно добирается сухопутными землеройными машинами. Выполняются бетонные и монтажные работы по зданию ГЭС, шлюзам и другим сооружениям.

В третьем году заканчиваются основные работы по сооружениям и в ноябре, после завершения навигации, производится перекрытие русла Волги.

В четвертом году заканчиваются укрепительные работы по судоходным сооружениям и русловой земляной плотине.

Монтаж агрегатов начинается в конце второго года строительства, а пуск первых агрегатов — в декабре третьего года.

Бетонные работы ведутся в течение 2,5 лет. При этом 80% бетона укладывается до затопления котлована. Укладка бетонной смеси предусматривается с помощью кранов Э-2005 и БКСМ-14ПМ2.

Монтаж сборного железобетона по зданию ГЭС ведется козловым 200-г краном, а по судоходным шлюзам — стреловым 150-г подъемником.

Транспорт сборного железобетона для здания ГЭС — железнодорожный, для судоходных шлюзов — автомобильный.

Земляные работы выполняются на 85% способом гидромеханизации.

Пропуск строительных расходов и судоходства осуществляется по основному руслу Волги. Перемычка, расположенная на острове, перегораживает правобережную протоку и стесняет русло реки на 46% при скорости течения 2,48 м/сек в половодье с расходом до 32 600 м<sup>3</sup>/сек.

После возведения здания ГЭС перемычка разбирается с одновременным перекрытием русла и пропуском расходов через турбины гидростанции.

По сооружениям гидроузла необходимо выполнить следующие объемы работ: выемка мягкого грунта—12 045 тыс. м<sup>3</sup>, выемка скального грунта—225 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь—19 410 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 1 230 тыс. м<sup>3</sup>, каменные крепления — 830 тыс. м<sup>3</sup>, фильтры — 280 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции и механизмы — 30,1 тыс.т.

## ПЛОТИНА ВОЛЖСКОЙ ГЭС имени В. И. ЛЕНИНА

Волжский гидроузел имени В. И. Ленина мощностью 2 300 тыс. *квт* на Волге расположен выше г. Куйбышева, там, где Волга, меняя направление, обгибает Жигулевские горы.

Район водохранилища находится в зоне лесостепного климата и характеризуется жарким сухим летом с частыми засухами и продолжительной холодной зимой.

Правый берег Волги в створе плотины сложен сильно трещиноватыми и закарстованными известняками и доломитами. Глубокая врезка древнего оврага в створе ГЭС, заполненного глинами, представляет собой надежную естественную противофильтрационную шпору как в основании ГЭС, так и в примыкании ее к берегу. Левый берег сложен в основном мелкозернистыми песками.

Наличие рукавов Волги в месте створа обеспечило свободный пропуск паводков и судоходство в строительный период, а также дало возможность уменьшить объемы работ по каналам гидростанции и водосливной бетонной плотине.

Помимо гидростанции совмещенного типа и водосливной бетонной плотины, в состав сооружений гидроузла входят земляная плотина и судоходные шлюзы, расположенные на левом берегу.

Водосливная плотина располагается на аллювиальных отложениях волжской поймы, представленных мелкими, средними и разнородными песками мощностью до 60—70 м с включением линз и прослоек глин и суглинков. Общая протяженность бетонной плотины по основанию составляет 1099,2 м, а между гранями лицевых устоев — 981,2 м.

Максимальный статический напор равен 30,0 м. Расчет-

ный расход воды повторяемостью 1 раз в 1 000 лет, пропускаемый через 38 водосливов плотины, составляет 40 300 *м<sup>3</sup>/сек*. Катастрофический расход 55 000 *м<sup>3</sup>/сек* проходит через сооружение гидроузла при форсировке уровня верхнего бьефа на 2,5 м.

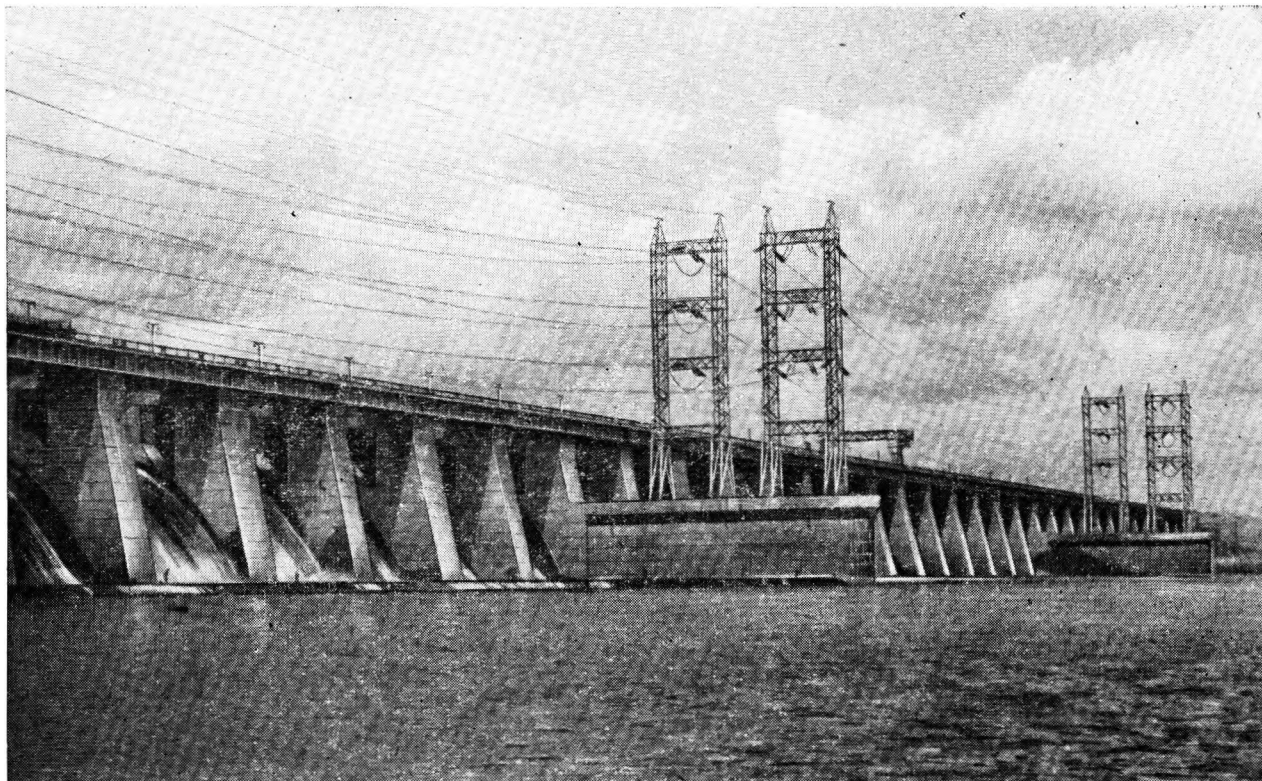
Удельные расходы воды на рисберме достигают при расчетном паводке 41,0 *м<sup>3</sup>/сек*, при катастрофическом расходе — 56 *м<sup>3</sup>/сек*.

Водосливная часть плотины разбита на 19 секций, каждая из которых объединяет по два водосливных отверстия размером 20X10 м, перекрываемых плоскими затворами. Коэффициенты запаса устойчивости на сдвиг: в нормальном эксплуатационном случае—1,58, в аварийном случае—1,14.

Напряжения по основанию: наибольшие — 5,5 *кГ/см<sup>2</sup>*, наименьшие— 3,1 *кГ/см<sup>2</sup>*.

Понур плотины представляет собой анкерную железобетонную плиту длиной 43,0 м с глиняной и песчаной пригрузкой. На водобое плотины длиной 95 м имеются гасительные устройства в виде шашек-гасителей — против средних пролетов и растекателей — против крайних. Плиты водобоя уложены на каменной наброске, подстилаемой трехслойным обратным фильтром. Кроме горизонтального дренажа, в пределах водобоя устроены два ряда вертикальных дренажных скважин. Вывод фильтрационного потока производится через дренажные колодцы в концевой части водобоя.

За водобоем располагается рисберма длиной 50 м, выполненная из железобетонных плит. Для предохранения рисбермы от подмыва служит ковш, засыпанный камнем.



Общий вид.

Вертикальный противофильтрационный контур плотины создается двумя рядами металлического шпунта, забитыми на глубину 21 м в начале понура и под верховым зубом водослива.

Для увеличения путей фильтрации в обход сооружения в примыканиях к земляной плотине с каждой стороны предусмотрены две диафрагмы из металлического шпунта. Верховая диафрагма со стороны левого берега длиной 100 м и со стороны правого — 200 м.

Низовые диафрагмы устроены длиной по 30 м.

Помимо противофильтрационных шпунтов, вдоль низовой

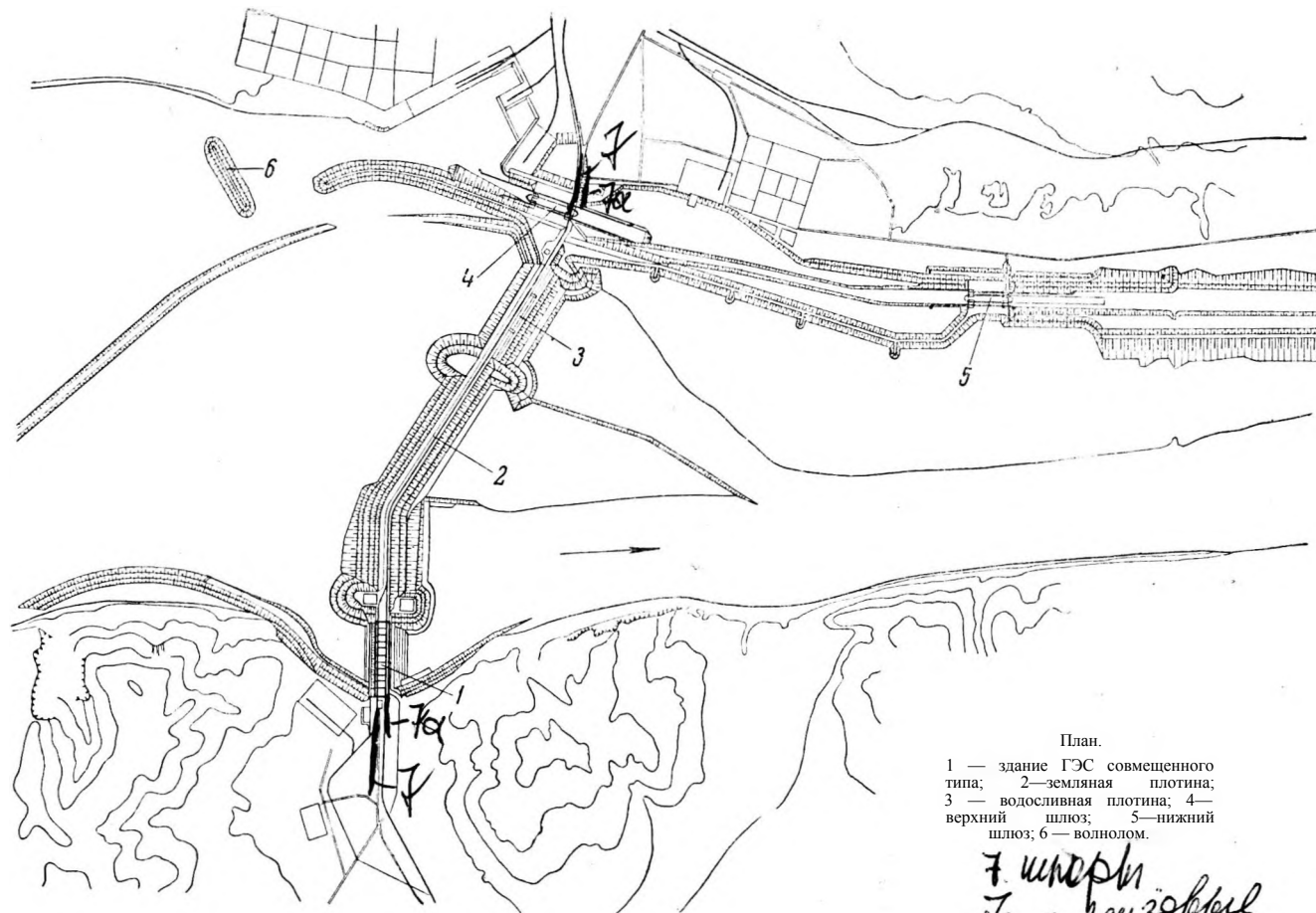
границы водослива и лицевых граней подпорных стенок проходят шпунты на глубину до 10 м, предотвращающие выпор грунта из-под сооружений.

Сопряжение водосливной и земляной плотин выполнено подпорными стенками массивного профиля. Объем бетона и железобетона в плотине 2,27 млн. м<sup>3</sup>.

Земляная плотина, расположенная в пойме (левая половина), имеет длину около 1300 м, а перекрывающая русло (правая половина) — около 1500 м.

Основанием плотины служат аллювиальные песчаные отложения с гравийно-галечными прослойками. Водоупор ле-





План.  
 1 — здание ГЭС совмещенного типа; 2—земляная плотина;  
 3 — водосливная плотина; 4—  
 верхний шлюз; 5—нижний шлюз; 6 — волнолом.

*7 шлюзы  
 7а - верхний шлюз  
 7б - нижний шлюз*

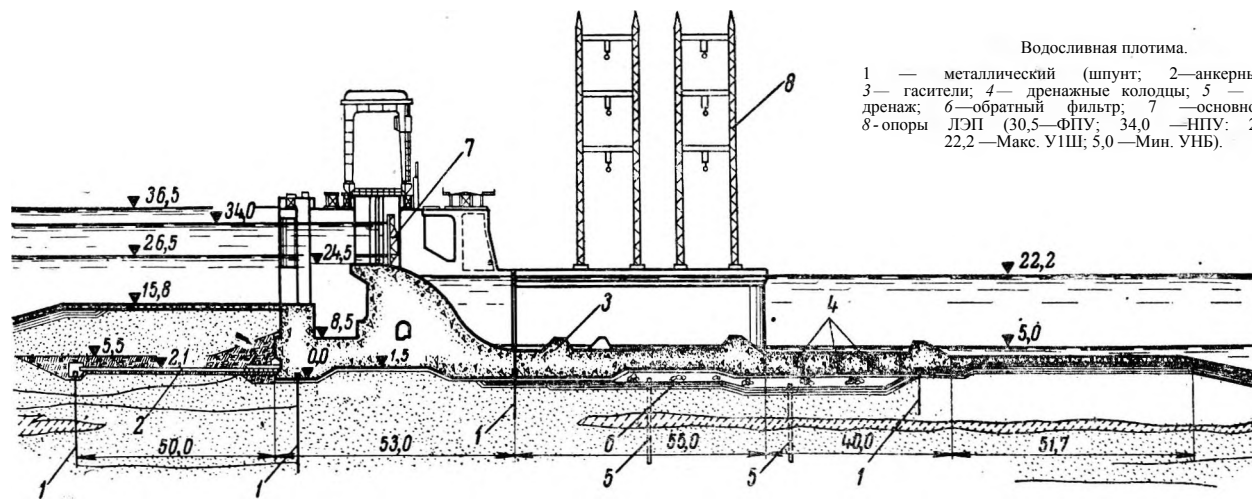
жит на глубине 40—50 м. Наибольшая высота плотины в пойменной части равна 28,5 м, в русловой части — 44,5 м. Плотина намыта местными мелкозернистыми песками.

Верховой откос в пределах колебания уровней воды укреплен железобетонными плитами. Низовой откос плотины в подводной части закреплен щебнем. На низовом откосе уложен каслонный трехслойный фильтр с каменной пригрузкой. Наклонный фильтр в основании имеет дренажную призму с железобетонной галереей. В пойменной части низовой откос пло-

тины заканчивается дренажной призмой, а в русловой — каменным банкетом.

Основные гидротехнические сооружения строились за двумя перемычками: правобережной, ограждающей котлован ГЭС, и левобережной, ограждающей котлован водосливной плотины, верхних и нижних шлюзов. До перекрытия русла судоходство и пропуск строительных расходов осуществлялись по основному руслу Волги. Пропуск строительных расходов после перекрытия русла осуществлялся через водосбро-





сы в здании ГЭС, а судоходство — через построенные нижние шлюзы и временный канал в обход верхних шлюзов.

Ширина прорана при перекрытии русла была 330 м, расход реки 4 200 м<sup>3</sup>/сек, максимальный перепад 1,93 м, максимальные поверхностные скорости 5,5 м/сек. Перекрытие производилось отсыпкой горной массы с понтонного моста. Для ускорения выхода банкета из воды применялись бетонные 3-т кубы и 10-т пирамиды.

Гидромеханизацией выполнено 60% всех земляных работ. Добор грунта и зачистка котлована производились экскаваторами и бульдозерами с отвозкой автосамосвалами. Возведение земляной плотины осуществлялось способом гидромеханизации с использованием крупных земснарядов 1000-80 и 500-60. Максимальный объем земляных работ, выполненных в сутки по гидроузлу, достигал 422 тыс. м<sup>3</sup>, из них 320 тыс. м<sup>3</sup>— способом гидромеханизации.

На водосливной плотине, так же как и на здании ГЭС, основным средством механизации была металлическая строительная эстакада с портално-стреловыми 10-т кранами. Эстакада высотой 27,5 м имела длину 1 301 м. По верхним строениям эстакады были проложены две железнодорожные линии, по которым бетонная смесь подавалась мотопоездами.

Водобой, рисберма и понур бетонировались гусеничными кранами и автосамосвалами с инвентарных мостиков. Максимальная интенсивность укладки бетона по гидроузлу составила 383,5 тыс. м<sup>3</sup> в месяц, или 19,050 тыс. м<sup>3</sup> в сутки.

В сооружениях гидроузла установлена контрольно-измерительная аппаратура для наблюдения за измерением осадок, перекосов и относительных смещений секций плотины и подпорных стенок, режимом фильтрации в основании сооружений и в обход их, а также за работой противофильтрационных и дренажных устройств, просадками крепления рисбермы и размывами в верхнем и нижнем бьефах.

Предусматриваются специальные исследования по изучению распределения давления на грунт в основании бетонных сооружений и бокового давления грунта, определению усилий в анкерном креплении понура и арматуре конструкций, изучению фильтрации в бетоне, режима температуры в бетоне и установлению пульсационных давлений.

Объемы работ по основным сооружениям гидроузла: земляные— 162,2 млн. иг<sup>3</sup>, бетонные и железобетонные — 7035,3 тыс. м<sup>3</sup>, каменные — 2711,7 тыс. м<sup>3</sup>, дренажи и фильтры — 1325,6 тыс. иг<sup>3</sup>, металлический шпунт — 42,2 тыс. т, металлоконструкции, механизмы и краны — 122,7 тыс. т, арматурные конструкции — 397,4 тыс. т.

# САРАТОВСКАЯ ПЛОТИНА

Саратовская ГЭС является десятой ступенью Волжско-Камского каскада гидроэлектрических станций. Установленная мощность гидроэлектростанции 1 380 тыс. *квт*, среднегодовая выработка 4,5 млрд. *квт - ч*.

Подпорный фронт длиной 2 100 м образуется железобетонным зданием гидроэлектростанции совмещенного типа длиной 1 140 м и земляной плотиной длиной 960 м. При этом создается водохранилище полной емкостью 13,4 млрд. *м<sup>3</sup>*.

Совмещенное здание ГЭС располагается на левобережной пойме, где залегают средние и тяжелые полутвердые глины. Земляная плотина будет сооружена в русле Волги, сложенном аллювиальными отложениями, с непосредственным примыканием к правому крутому берегу.

В связи с наличием выше створа Саратовской ГЭС крупных регулирующих водохранилищ Саратовское водохранилище будет использовано только для суточного и недельного перераспределения стока.

Расчетные расходы Волги в створе Саратовского гидроузла приняты следующие: повторяемостью 1 раз в 1000 лет — 63 500 *м<sup>3</sup>/сек* (эксплуатационный) и повторяемостью 1 раз в 20 лет — 49 700 *м<sup>3</sup>/сек* (строительный).

Климат района строительства гидроузла характеризуется среднегодовой температурой 5° С; абсолютный минимум температуры достигает 47° С, максимум 41° С.

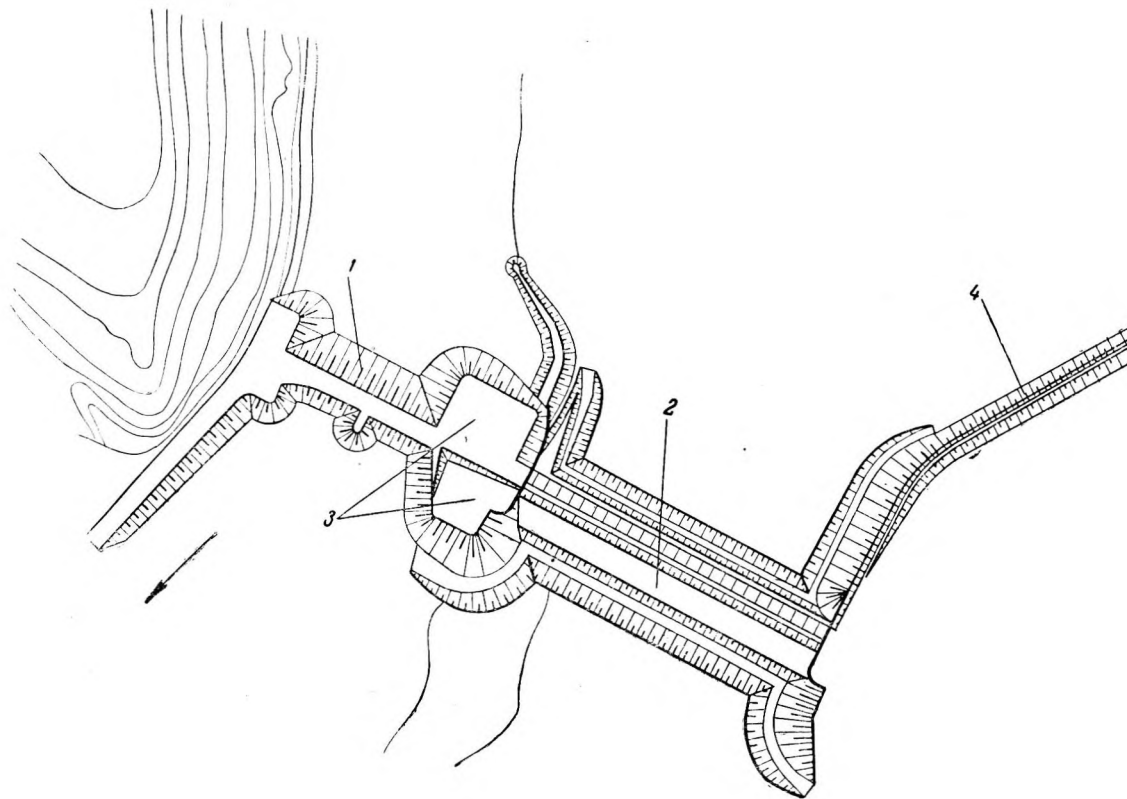
Саратовское водохранилище находится в пределах штормового района, для которого характерны ветры значительной силы, доходящие до 40 *м/сек*.

Железобетонное здание ГЭС — водосбросная плотина состоит из 24 секций длиной по 45 м. В каждой секции располагаются один гидроагрегат (мощность 57,2 тыс. *квт*, диаметр рабочего колеса турбины 10,3 м) и два донных водосбросных отверстия с рабочими затворами, размещаемыми со стороны нижнего бьефа. Весь паводковый расход пропускается через водосбросные отверстия в здании ГЭС и через турбины.

Конструктивной особенностью блока является простое членение всех частей сооружения на вертикальные и горизонтальные элементы, чего удалось достигнуть путем упрощения форм проточной части блока без снижения энергетических показателей. Так, вместо обычно применяемой спиральной камеры предусмотрена широкая прямоугольная подводящая камера шириной 41,2 м; отсасывающая труба — прямоосная раструбная высотой 23,7 м.

Конструктивно-компоновочное решение блока позволило в проекте широко использовать сборный железобетон в надфундаментных конструкциях. Процент сборности по этим конструкциям составляет около 80% с применением пяти типовых сборных элементов.

Другой особенностью здания гидроэлектростанции — водосбросной плотины является отсутствие машинного зала. Гидрогенераторы и все вспомогательно-технологическое оборудование укрыты специальными железобетонными (также сборными) кожухами, над которыми ходят два козловых двухконсольных крана грузоподъемностью 2X175 *т* каждый.



План.

1—земляная русловая плотина; 2—здание ГЭС совмещенного типа; 3—ОРУ 500 и 220 кв; 4—левобережная дамба.

Подземный контур сооружения образуется железобетонным анкерным понуром длиной 35 м и фундаментной плитой с двумя зубьями. Это значительно повышает устойчивость сооружения.

Для снижения взвешивающего давления воды на фундаментную плиту сооружения предусматривается система дренажей, располагаемая под анкерным понуром и между зубьями фундаментной плиты.

Для перехвата фильтрационных вод в алевроитовых прослоях глин основания устраиваются дренажные скважины. Отвод фильтрационных вод от всех видов дренажных устройств производится в специальный зумпф, в котором качкой поддерживается уровень на 10 м ниже минимального

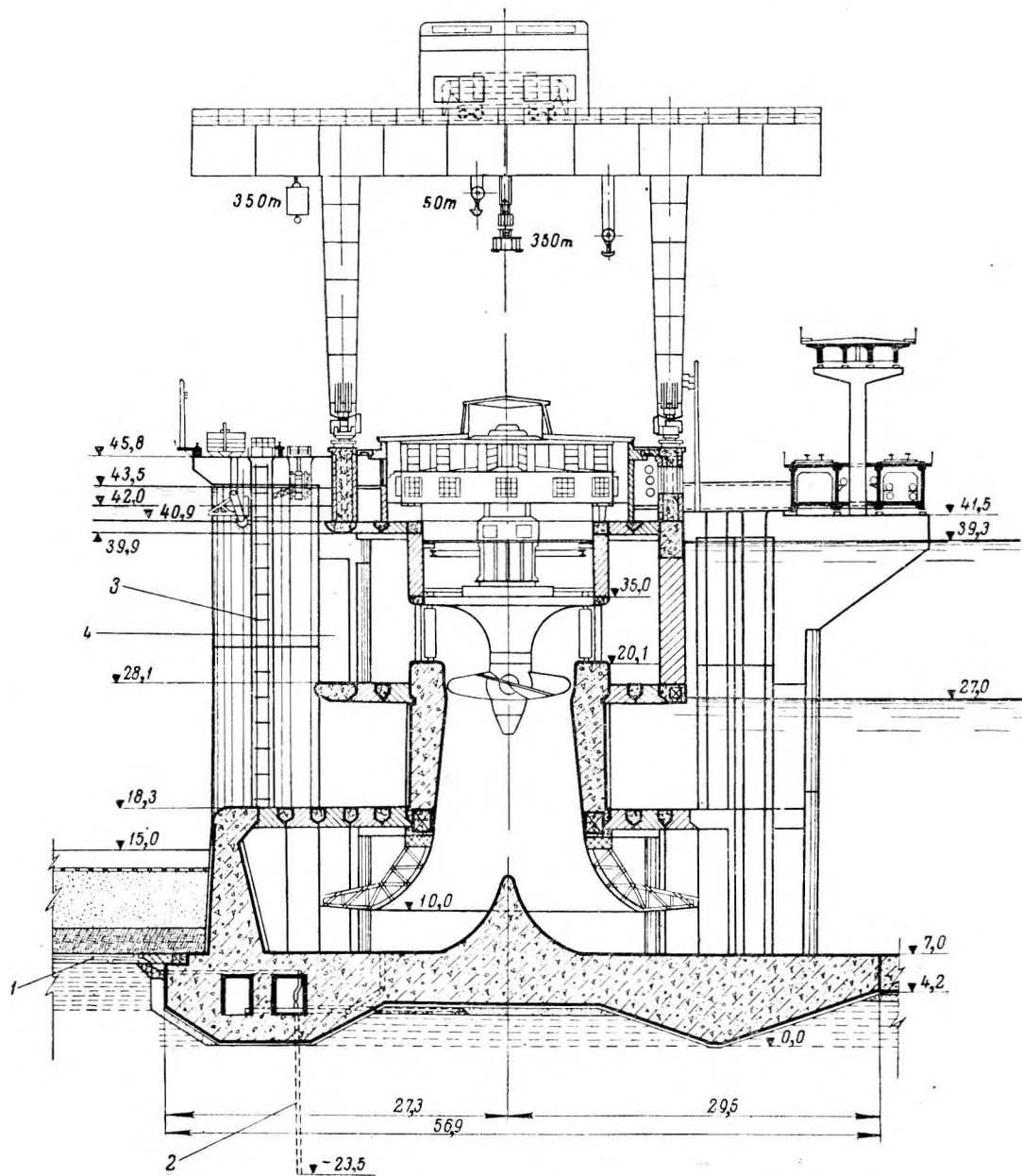
уровня нижнего бьефа. Это значительно повышает устойчивость сооружения. В расчетах на устойчивость приняты следующие физико-механические показатели глин основания: коэффициент трения 0,18, сцепление  $0,25 \text{ кг/см}^2$ . При этом запас устойчивости сооружения характеризуется по нагрузкам эксплуатационного периода коэффициентом 1,38, максимальное напряжение под сооружением  $2,22 \text{ кг/см}^2$  при неравномерности напряжений 1,7.

Объем бетона по зданию гидростанции, совмещенной с водосбросной плотиной, равен 790 тыс.  $\text{м}^3$ .

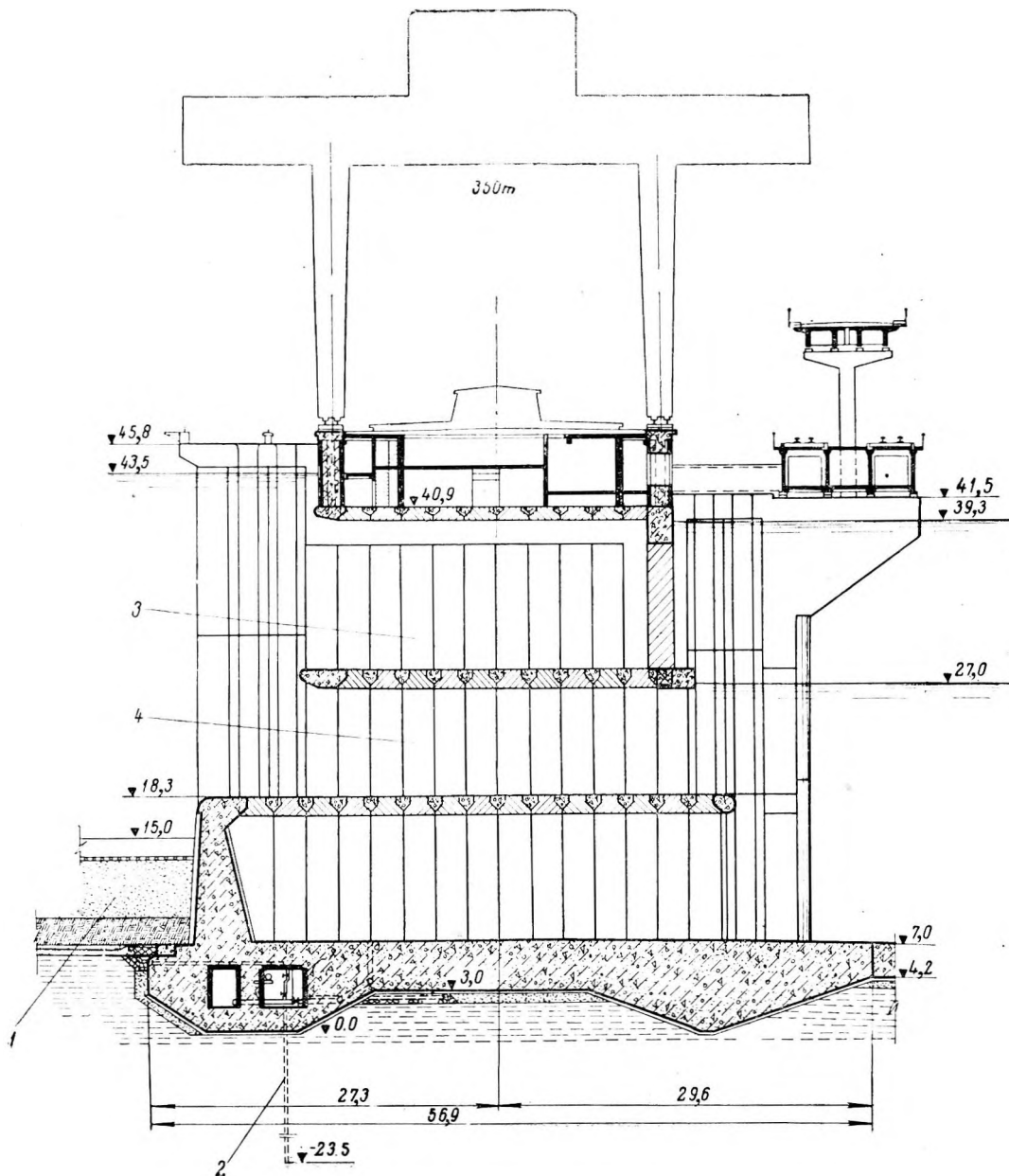
Концевые участки земляной плотины имеют уширения

Здание ГЭС совмещенно-го типа. Разрез по оси агрегата.

1 — анкерный понур; 2 — дренажная скважина; 3 — сорорудерживающая решетка; 4 — вход в турбинную камеру







в месте примыкания, к правому крутому берегу—для сопряжения дорог, расположенных на гребне плотины, с подъездными участками дорог правого берега, и месте сопряжений земляной плотины с гидростанцией — для размещения площадок ОРУ 500 и 220 кв.

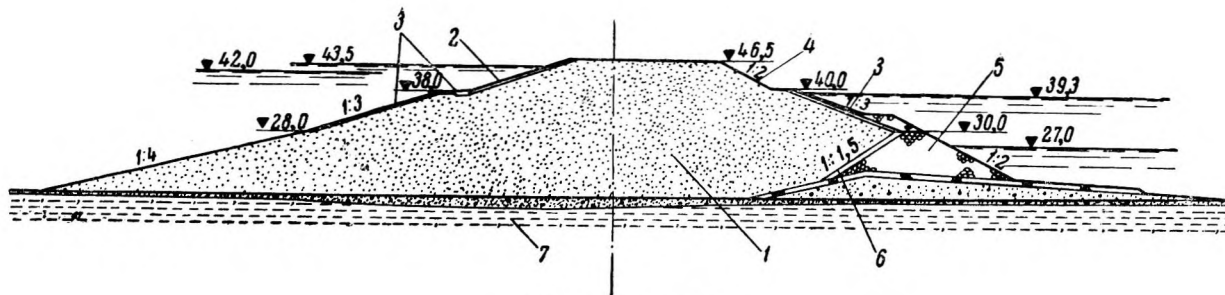
Плотина распластанного профиля будет намываться из мелко- и тонкозернистых песков. Верховой откос с заложением 1 : 3 в зоне волнового воздействия укрепляется армобетонными плитами; ниже откос имеет заложение 1 : 4. Низовой откос в верхней части закрепляется посевом трав, нижняя часть защищается щепнем, уложенным по обратному фильтру. На участке прорана низовой откос сопрягается с каменной призмой, являющейся банкетом в период перекрытия русла Волги.

Объем насыпи в земляной плотине 6,5 млн. м<sup>3</sup>, крепления железобетонными плитами — 22,5 тыс. м<sup>3</sup>.

Возведение здания гидростанции на полную высоту предусмотрено за перемычками. Сборные железобетонные элементы изготавливаются на специально создаваемой базе, располагаемой на незатопляемой площадке. В проекте сборные элементы разрабатываются в двух вариантах: весом 200 и 100 г. Вариант из 200-г сборных элементов больше отвечает индустриальному принципу, так как он обеспечивает меньший объем работ

Здание ГЭС совмещенного типа. Разрез по водосбросу.

1—анкерный понур; 2—дренажная скважина; 3—турбинная камера; 4— водосброс.



Земляная плотина.

1—мелкозернистый песок; 2—армированные бетонные плиты; 3—щебень; 4—посев трав; 5—дренажная призма; 6—обратный фильтр; 7—глина (43,5—ФПУ; 42,0—НПУ; 39,3—Макс. УНБ; 27,0—Мин. УНБ).

по сварке арматуры в котловане и резко снижает объем бетона замоноличивания. Для изготовления элементов требуются более простые металлические формы. Производство сборного железобетона предусматривается по поточно-конвейерной технологии. Формовка, тепловая обработка бетона и транспорт производятся на железнодорожных платформах.

Монтаж сборных элементов производится с колес портальными кранами пролетом 75 м, охватывающими все здание гидроэлектростанции. Портальные краны могут подавать сборные элементы наибольшего веса в любую точку здания гидроэлектростанции. Портальные краны данного типа грузоподъемностью 200 т впервые применены в практике гидротехнического строительства в Советском Союзе. Для омоноличивания сборного железобетона и выполнения ряда других работ по зданию гидроэлектростанции предусматриваются переносные башенные краны грузоподъемностью 5 т.

Всего для строящегося здания Саратовской ГЭС требуется изготовить и смонтировать около 10 тыс. сборных элементов. Марка бетона сборного железобетона и омоноличивающего бетона принята «250» в 28-дневном возрасте.

Перекрытие русла Волги и переключение расходов реки на бетонные сооружения намечено произвести после навигации 1964 г., а наполнение водохранилища до пусковой отметки и пуск первых агрегатов—к концу декабря 1964 г. Остальные агрегаты будут введены в эксплуатацию в 1965 г.

В основании и сооружениях Саратовской ГЭС предусмотрена установка контрольно-измерительной аппаратуры. Наблюдения за деформациями основания ведутся посредством глубинных и поверхностных марок. По глубинным маркам в местах разработки котлована до проектных отметок установлен подъем основания на 110—120 мм. Контрольно-измерительная аппаратура, устанавливаемая на сооружении, предназначена для наблюдений за осадками, смещениями, давлением воды в различных точках подземного контура, распределением и величиной реакции основания, напряжениями в бетоне и арматуре.

С вводом в эксплуатацию Саратовской ГЭС, кроме выработки электроэнергии, будет обеспечено создание глубоководного пути на участке Волги от г. Чебоксары до г. Астрахани и улучшены условия орошения больших площадей сельскохозяйственных земель в засушливых районах Заволжья.

# ПЛОТИНА ВОЛЖСКОЙ ГЭС имени XXII СЪЕЗДА КПСС

Волгоградский гидроузел с гидроэлектростанцией 2 563 тыс. *квт*, построенный на Волге у г. Волгограда, вырабатывает в среднем 11 млрд. *квт · ч* электроэнергии в год.

Уровень воды на Волге поднят на 27 м; при этом образовано водохранилище площадью 3 387 км<sup>2</sup> и емкостью 33,5 км<sup>3</sup>. Наибольшая ширина водохранилища достигает 14 км.

В состав основных гидротехнических сооружений гидроузла входят: здание гидроэлектростанции совмещенного типа, водосливная бетонная плотина, земляная плотина, судоходные сооружения и рыбоподъемные устройства. Общая длина сооружений по подпорному фронту составляет 4 900 м, в том числе бетонных сооружений — около 1 600 м. Гидротехнические сооружения возведены в основном на мелкозернистых песчаных и суглинистых грунтах. Они рассчитаны на пропуск весенних половодий Волги с расчетными расходами воды до 59 500 м<sup>3</sup>/сек.

Основной особенностью геологического строения района расположения сооружений является значительное тектоническое нарушение (сброс) коренных пород у левого берега долины Волги.

Западный приподнятый участок долины (правобережье, русло реки и часть поймы) сложен из переслаивающихся слабо сцементированных алевролитов, аргиллитов и песчано-алевритовых пород.

Восточный опущенный участок сложен с поверхности преимущественно песками и глинами четвертичных отложений

общей протяженностью 15—20 м. Ложем отложений здесь служит кровля мощной толщи майкопских глин и ергенинских песков.

Пойма между бетонной плотиной и левым берегом перекрывается земляной плотиной, разделенной судоходными шлюзами на два участка.

Водосливная плотина расположена на левом берегу русла Волги между зданием гидроэлектростанции и пойменным участком земляной плотины. Основанием ее служат аллювиальные отложения мощностью от 6 до 10 м, покоящиеся на коренных породах третичных отложений. Профиль плотины распланный с выдвинутой в верхний и нижний бьефы фундаментной плитой. Кроме того, перед плотиной устроен анкерный понур с пригрузкой его грунтом.

Плотина имеет длину около 725 м и наибольшую высоту 44 м. Водосливной фронт образуется 27 пролетами по 20 м при напоре на гребне 9 м. По длине плотина разбита на 14 секций длиной по 52 м, из которых 40 м занимают два водосливных пролета, 5,2 м—средний бычок и 6,8 м—два полубычка по краям секции. Во втором пролете от гидроэлектростанции устроен рыбоподъемник. Отверстия плотины закрываются плоскими скользящими и колесными щитами.

Расчетный расход повторяемостью 1 раз в 1 000 лет составляет 59 500 м<sup>3</sup>/сек, из которых 30 800 м<sup>3</sup>/сек проходят через водосливную плотину. Катастрофический расход повторяемостью 1 раз в 10 000 лет 71 500 м<sup>3</sup>/сек. Через плотину



пропускается 37 600 м<sup>3</sup>/сек при форсировке подпорного уровня на 1,3 м.

Водосливная бетонная плотина имеет удельный расход на водобое 44 м<sup>3</sup>/сек.

Особенностью конструкции плотины является устройство пустотелых водосливов из сборно-монолитного железобетона.

Фундаментная плита бетонировалась с инвентарных мостиков самосвалами три монтаже арматуры и опалубки гусеничными 15—20-г кранами. Все остальные элементы плотины выполнялись с металлической строительной эстакады при подаче бетонной смеси виброхоботами и 3-м<sup>3</sup> бадьями и монтаже арматуры, опалубки и сборных железобетонных элементов стреловыми 7,5—10-г кранами.

Пропуск последнего весеннего половодья в строительный период производился через недостроенную плотину, поэтому пустотелые водосливы имеют двухъярусную конструкцию.

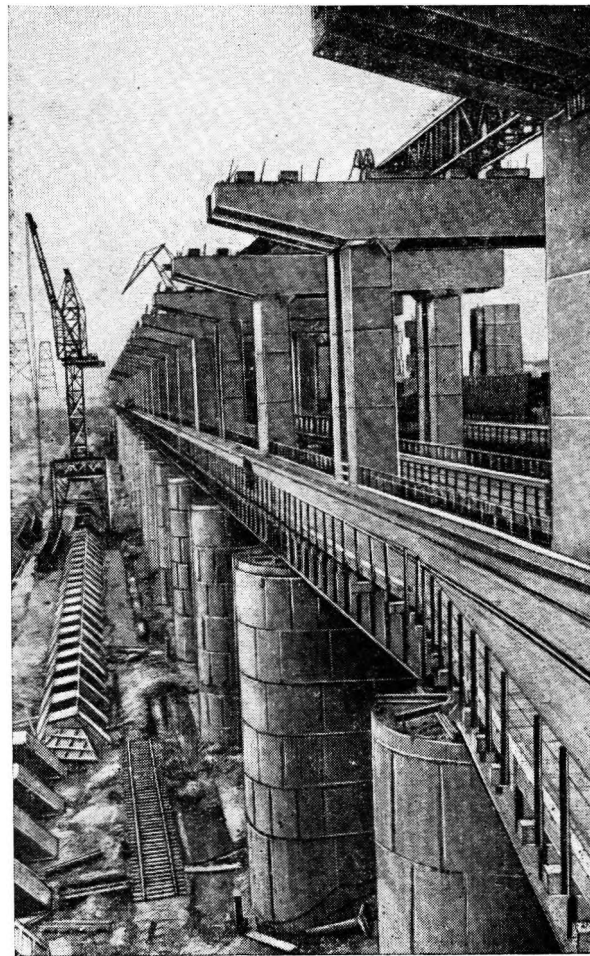
Общая длина крепления в нижнем бьефе плотины составляет 245 м, из которых 55 м занимает водобой, 83 м — горизонтальный участок рисбермы, 61 м — наклонный ее участок или верховой откос ковша и 46 м — дно ковша. Система гасителей на водобое состоит из двух рядов шашек и водобойной стенки.

Подземный фильтрационный контур состоит из двух рядов металлического шпунта, расположенных один в начале понура, а второй под передним краем фундамента водослива; расстояние между шпунтовыми рядами 57 м. Шпунты прорезают слой аллювиальных песков и своими нижними концами входят в менее проницаемые песчано-алевритовые породы (коэффициент фильтрации их примерно в 70 раз меньше, чем песка). Для снятия напора под плотинной в упомянутых выше песках в нижнем бьефе под водобоем сделаны вертикальные разгрузочные дренажные скважины, расположенные двумя рядами, с расстоянием между рядами 10 м и между скважинами в рядах 20 м.

В створе гидроузла имеются три участка земляной плотины общей протяженностью 3 249 м: один — в русле реки между правым берегом и зданием ГЭС длиной 1 193 м и

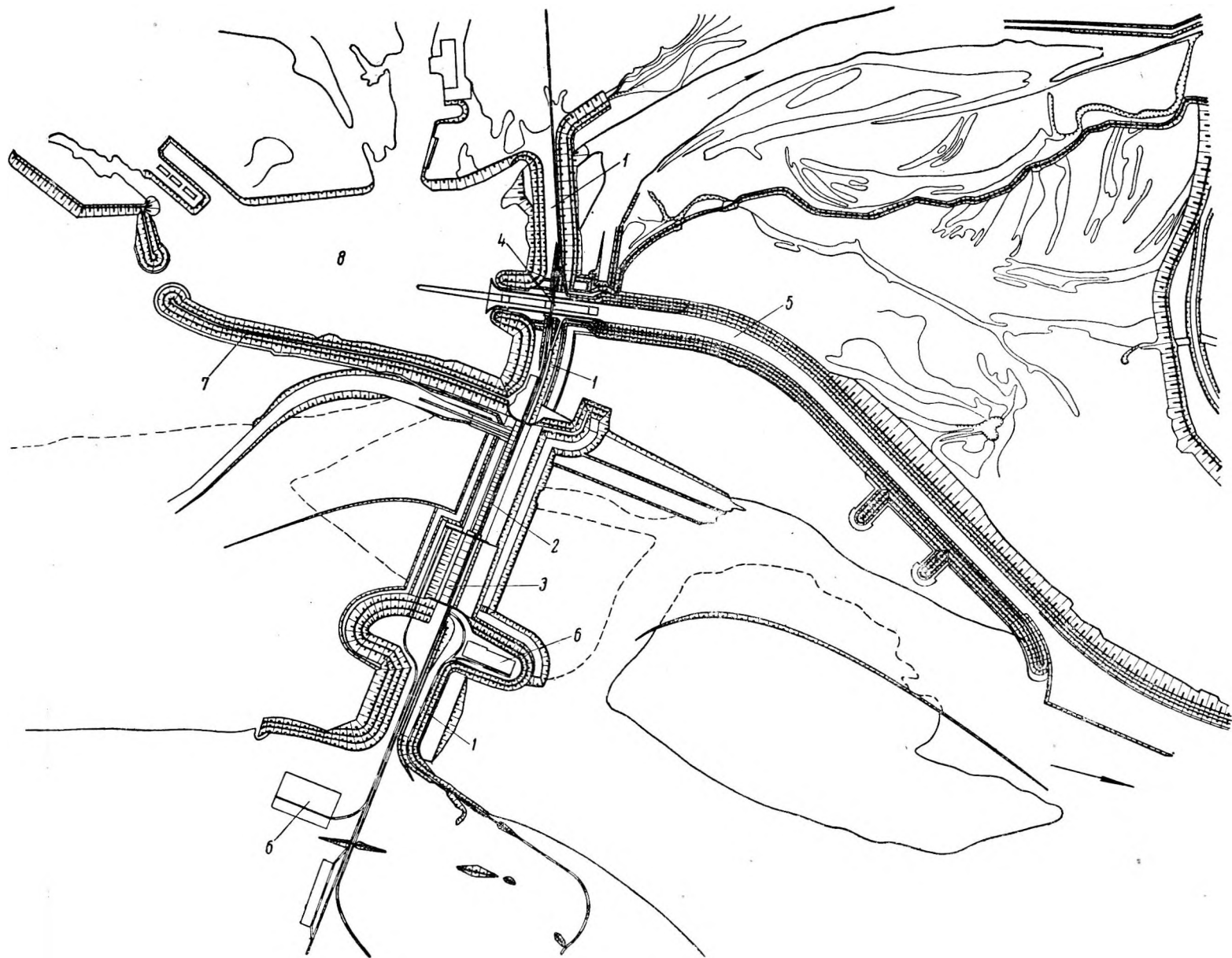
два — на пойме между водосливной плотинной и судоходными шлюзами длиной 803 м и между швами и левым берегом длиной 1 253 м. Наибольшая высота плотины в русле составляет 47 м, а на пойме — 24 и 35 м.

Основанием земляной плотины являются: в русловой части — аллювиальные пески и алевриты, а на пойменных участках — мощная толща мелкозернистых песков.



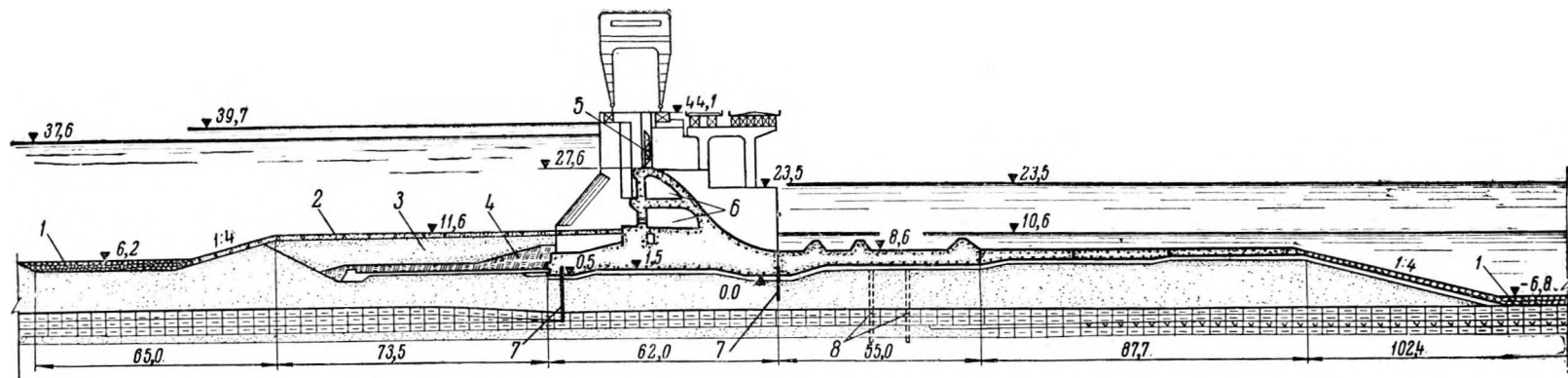
Строительство плотины.





План.

1 — земляная плотина; 2 — водосливная плотина; 3 — здание ГЭС; 4 — судоходный шлюз; 5 — судоходный канал; 6 — повысительная подстанция; 7 — ограждающая дамба; 8 — аэропорт.



Водосливная плотина.

1 — каменная наброска; 2 — бетонные плиты; 3 — песок; 4 — уплотненная глина; 5 — основной затвор; 6 — полости; 7 — металлический шпунт; 8 — разгрузочные скважины.

На всех участках плотина осуществлена песчаной одно-родного профиля, исходя из наличия достаточного количества мелкозернистых песков, пригодных для намыва, и эффективности как по стоимости, так и по срокам возведения.

Плотность намывтого грунта в тело плотины, определяемая объемным весом его скелета, характеризуется следующими данными: в русловой плотине 1,55—1,58  $t/m^3$ , в пойменной плотине 1,55—1,58  $t/m^3$ .

Намыв плотины на всех участках осуществлен землесосными снарядами производительностью до 1 000  $m^3/ч$ .

Дренаж плотины состоит из двух дренажных призм (верхней и нижней) и наклонной части между ними, уложенной по принципу обратного фильтра по земляному откосу.

На пойменных участках плотины для организованного приема и отвода фильтрационных вод внутри нижней дренажной призмы уложен проходной дренажный коллектор из сборных железобетонных труб прямоугольного сечения с уклоном 0,005.

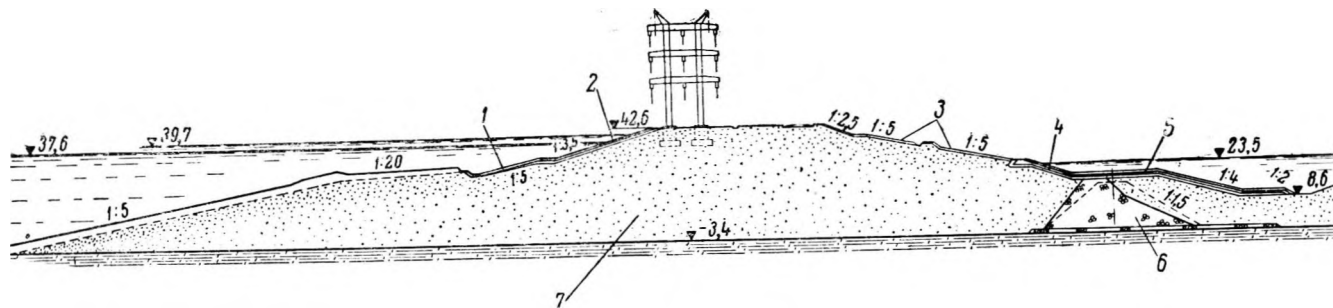
На русловом участке плотины дренажные трубы не укладываются, так как выход фильтрационных вод из дренажа происходит непосредственно в русло реки.

Для предотвращения возможной опасности прорыва напорными пролейскими водами грунтов, слагающих русло,

к каменной призме (банкету) плотины на длине 100 м примыта песчаная призма высотой 13 м, а за нею сделаны вертикальные дренажные скважины, заглубленные ниже уровня пролейских вод.

По данным исследований на значительной длине пойменной плотины продолжает действовать остаточный напор и за пределами профиля плотины, так как в верхней части ее основания залегают грунты с меньшей водопроницаемостью, чем расположенные ниже. Исходя из этого, в целях недопущения выхода фильтрационных вод за плотину и заболачивания ими территории здесь устроены две траншеи, прорезающие покровные суглинки. Кроме того, для дренирования более глубоких слоев основания сделан один ряд вертикальных дренажных скважин глубиной до 25 м на расстоянии 20—40 м одна от другой.

Для наблюдения за работой дренажа на плотине устроены 16 смотровых колодцев, расположенных над дренажными трубами через 100—200 м. Пять смотровых колодцев оборудованы водомерными устройствами для замера фильтрационных расходов. Для наблюдения за осадками основания и тела плотины, а также за положением кривой депрессии в различных ее частях произведена установка 78 высотных марок и 90 пьезометров.



Земляная плотина,

1 — железобетонные плиты 0,25 м на слое щебня; 2—железобетонные плиты 0,5 м на слое щебня; 3— посев трав; 4— железобетонные плиты 0,3 м на слое щебня; 5 —камень по трехслойному фильтру; 6 —каменный банкет; 7—мелкозернистый песок (39,7 —ФПУ; 37,6 — НПУ; 23,5 — Макс. УНБ; 10,6 — Мин. УНБ).

Верховой откос плотины в пределах колебания уровней водохранилища закреплен железобетонными плитами толщиной от 0,35 до 0,5 м на слое щебня 0,12—0,15 м при водонепроницаемом уплотнении швов с помощью резиновой прокладки (вместо обычных ленточных фильтров) в зависимости от величины элементов волны (расчетная высота волны достигает 3,9 м). В пределах колебания уровней воды в строительный период толщина плит крепления откоса изменяется от 0,12 до 0,25 м; здесь специального уплотнения швов не предусмотрено (в данном случае роль уплотнения выполняют опалубочные доски); при этом на верховом откосе в нижней его части по высоте около 18 м на русловой и 10 м

на пойменной плотине крепление заменено примывом из местных песков со свободным откосом 1 :20 (без закрепления).

Возведение основных сооружений гидроузла и пропуск строительных расходов осуществлены в следующей последовательности: в первую очередь были возведены за перемычками бетонные сооружения и пойменная земляная плотина, а пропуск строительных расходов и судоходство осуществлялись через русло, стесненное перемычками; во вторую очередь было перекрыто русло Волги с помощью каменного банкета с переводом потока на бетонную плотину с недостроенным водосливом и гидроэлектростанцию, а судоходства — на шлюзы.

# КАМСКАЯ ПЛОТИНА

Камская гидроэлектростанция является первой гидроэлектростанцией, построенной на р. Каме. Максимальный напор ГЭС 21,5 м, мощность 504 тыс. *квт* при среднегодовой выработке энергии 1930 млн. *квт-ч*. В состав гидроузла входят: здание гидроэлектростанции водосливного типа длиной около 400 м, русловая и пойменная земляные плотины и шести камерный двухниточный судоходный шлюз. Общая длина напорного фронта гидроузла составляет около 2,5 км.

Водосливная плотина— гидроэлектростанция располагается у правого берега реки, занимая большую половину ее русла. Непосредственно к ней примыкает русловая земляная плотина. Судоходный шлюз располагается на левобережной пойме; за шлюзом пойму перегораживает земляная плотина.

Полный объем водохранилища составляет 12,2 млрд.  $m^3$ , из которых полезный объем — 9,2 млрд.  $m^3$  при высоте сработки водохранилища 7,5 м.

Климат района гидроузла континентальный с продолжительной суровой зимой и коротким умеренно теплым и влажным летом. Годовые суммы осадков изменяются по бассейну в пределах 400—850 мм. Средний многолетний годовой сток з створе составляет 51,5 км<sup>3</sup>.

Гидроэлектростанция возведена в сложных инженерно-геологических условиях, обусловленных наличием в основании створа сооружений гипсоносных коренных пород, а на глубине 60—65 м под дном реки — пласта чистого гипса и ангидрита мощностью до 120 м.

Бетонные сооружения гидроузла располагаются на верхней полускальной толще коренных пород — ваппах, которые характеризуются малой водопроницаемостью и отсутствием гипса. Ниже залегают плиточные известняки, доломиты, гипсы и ангидриты. Коренные породы, перекрывающие гипсово-ангидритовые отложения, в разной степени гипсоносны. Трещиноватость пород основания незначительна.

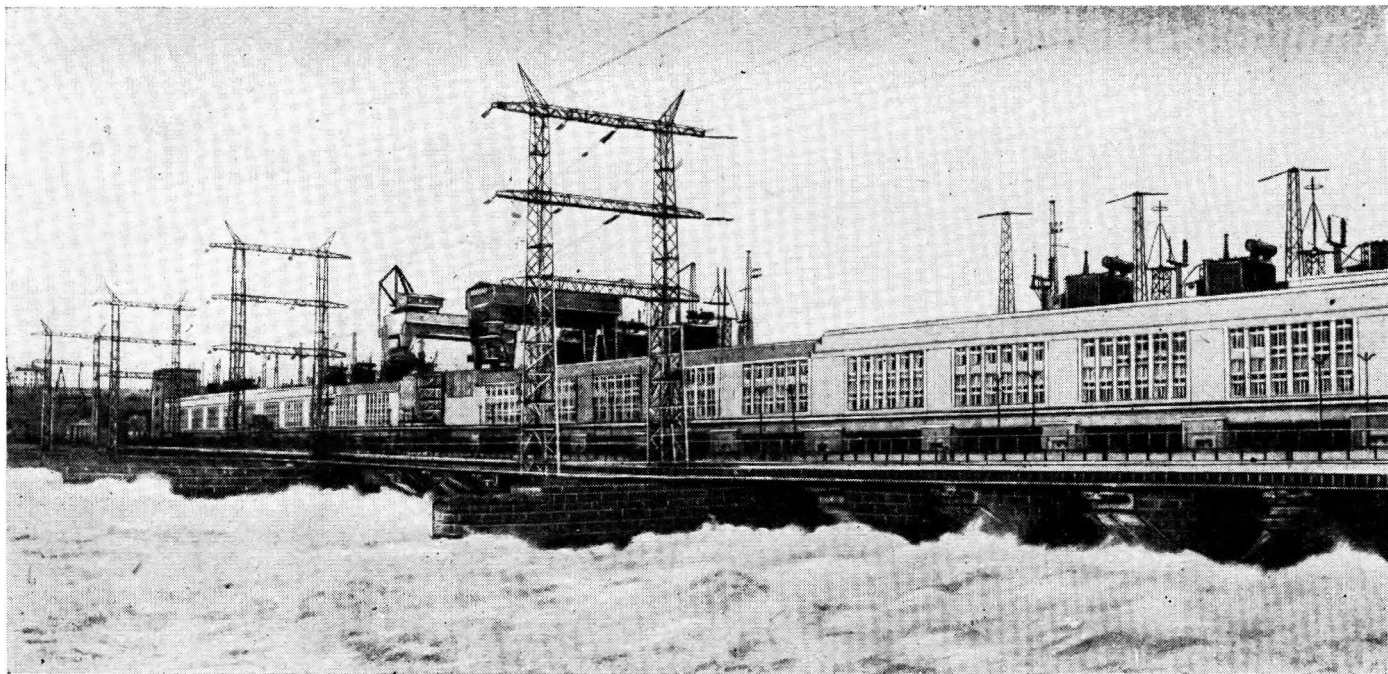
Совмещение гидроэлектростанций с водосливной плотиной сократило фронт бетонных сооружений на 190 м и позволило поднять отметку заложения фундаментной части на 13 м и обосновать ее на водонепроницаемой песчано-глинистой толще коренных пород.

Расчетные паводковые расходы: эксплуатационные повторяемостью 1 раз в 1000 лет 19 500  $m^3/сек$  и 1 раз в 10 000 лет 22 200  $m^3/сек$ .

Гидростанция оборудована 24 агрегатами мощностью по 21 тыс. *квт* каждый, из которых 23 агрегата вертикальные и один горизонтальный (опытный) полупрямоточный с прямой отсасывающей трубой.

Гребень водослива по условиям размещения затворов и монтажных крышек над агрегатами имеет горизонтальную площадку шириной 11,5 м. Сливная грань в целях полного исключения вакуума очерчена по траектории струи и заканчивается носком, обеспечивающим оптимальный эжекционный эффект водосливной струи на турбинный поток в нижнем бьефе.





Общий вид.

Для увеличения эжекции под водосливную струю по специальным каналам, размещенным в бычках, подводится воздух, препятствующий образованию вакуума под струей.

Водосливной фронт гидроэлектростанции разбит на 24 пролета длиной по 12 м каждый, по числу установленных под водосливами агрегатов.

Водосливные пролеты высотой 11 м перекрыты плоскими скользящими двухсекционными затворами.

Для обеспечения надежности и долговечности сооружений предусмотрено устройство усиленного противодиффузионного подземного контура, состоящего из понура длиной 100 м и противодиффузионной завесы значительной глубины, устраиваемой в начале понура.

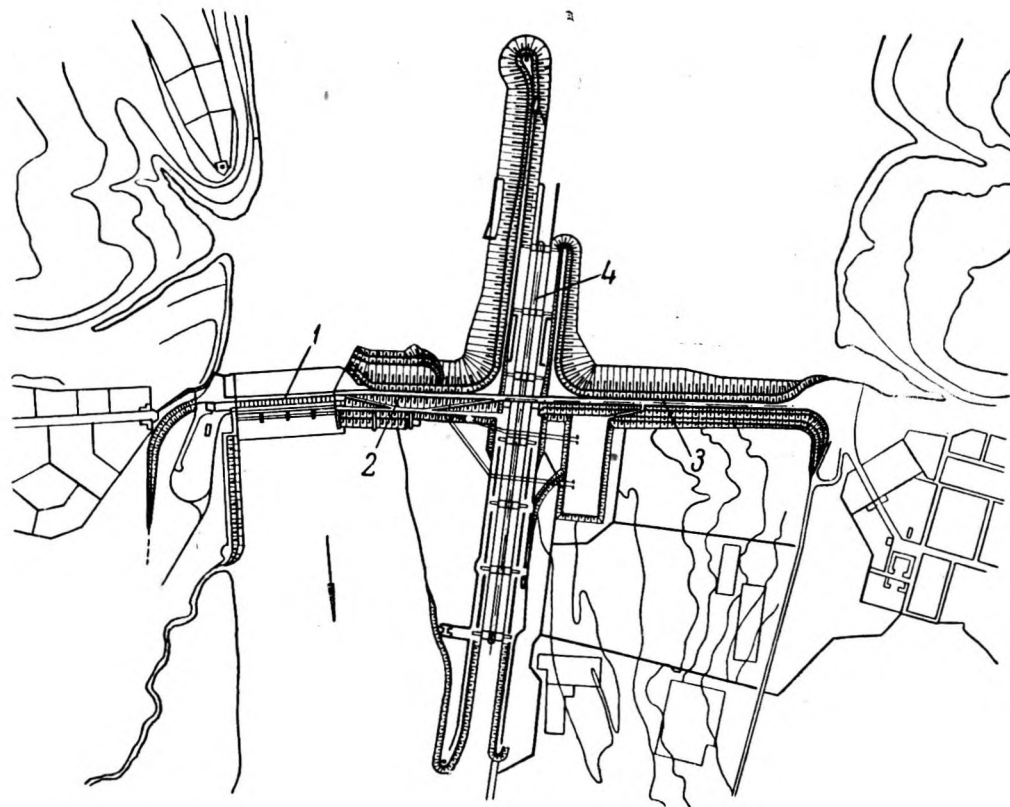
Понур выполнен в виде битумного ковра из слоя литого асфальта толщиной 5 см с наклейкой двух слоев асфальтовых

матов. Поверх битумного ковра уложен слой суглинка толщиной 0,5—1,0 м, прикрытый железобетонными плитами толщиной 0,5—1,0 м, уложенными по слою гравия толщиной 20 см.

В пределах понура на расстоянии 35 м от верхней грани здания ГЭС устроен глубинный дренаж, состоящий из одного ряда скважин диаметром 350 мм, расположенных через 5 м в русловой части и через 10 м вдоль береговых устоев до нижней грани здания ГЭС. Все скважины объединены общим водоотводящим коллектором, сообщающимся с нижним бьефом в правобережном и левобережном устоях ГЭС вблизи выходного сечения отсасывающих труб.

В понуре устроены цементационная и дренажная галереи размером 3X3,5 м, снабженные шахтными выходами.

Вдоль верхней грани фундаментной части устроена дре-



План.

1 — здание ГЭС совмещенного типа; 2 — русловая земляная плотина; 3 — пойменная земляная плотина; 4 — судоходный шлюз.

нажная призма, отвод воды из которой осуществляется с помощью трубчатых колодцев, имеющих выпуски в смотровую потерну ГЭС.

Водобой длиной 100 м осуществлен в виде железобетонных плит размером 20X16 м, шарнирно связанных между собой в продольном направлении. В конце водобоя устроен глубокий вертикальный зуб, прорезающий всю толщу полускальных песчанико-глинистых пород и заглубленный на 0,5—1,0 м в прочные плитчатые известняки. Толщина плит изменяется

от 3 м в начале водобоя до 2 м в конце его. Для выхода и отвода фильтрационных вод под водобойной плитой уложен обратный фильтр толщиной 0,5 м, а в плитах водобоя сделаны дренажные отверстия 30X30 см через 3 м.

Пространственное растекание потока на водобое при неравномерном открытии водосливных отверстий обеспечивается тремя отдельными пирсами длиной 40 м.

Здание водосливной гидроэлектростанции разделено температурно-осадочными швами по осям 6-метровых разделя-

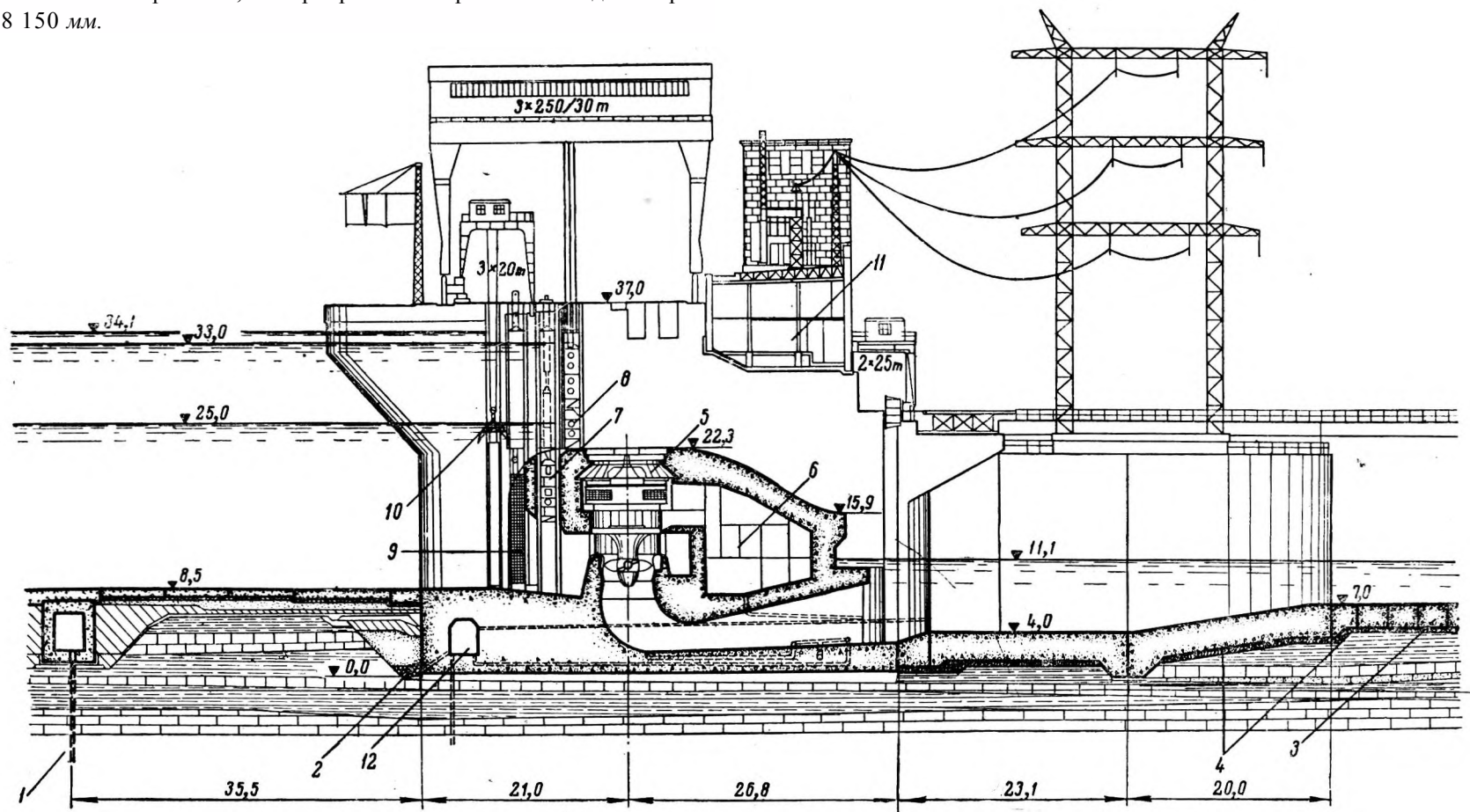


ных бычков на четыре секции, по шести агрегатов в каждой. Промежуточные бычки толщиной 4 м разрезаны температурными швами, доходящими до верха фундаментной плиты ГЭС.

Агрегатное помещение, расположенное под гребнем водослива, в верхней части имеет отверстия для монтажа и демонтажа агрегатов, перекрытые крышками диаметром 8 150 мм.

Для производства текущего ремонта над агрегатами смонтирован малогабаритный поворотный 3-т кран, снабженный специальной лебедкой с высоким подъемом крюка.

В теле водослива устроен также двухэтажный приагрегатный зал, общий для всех агрегатов ГЭС, в котором размещается вспомогательное гидромеханическое и электротех-



Здание ГЭС совмещенного типа с вертикальными агрегатами.

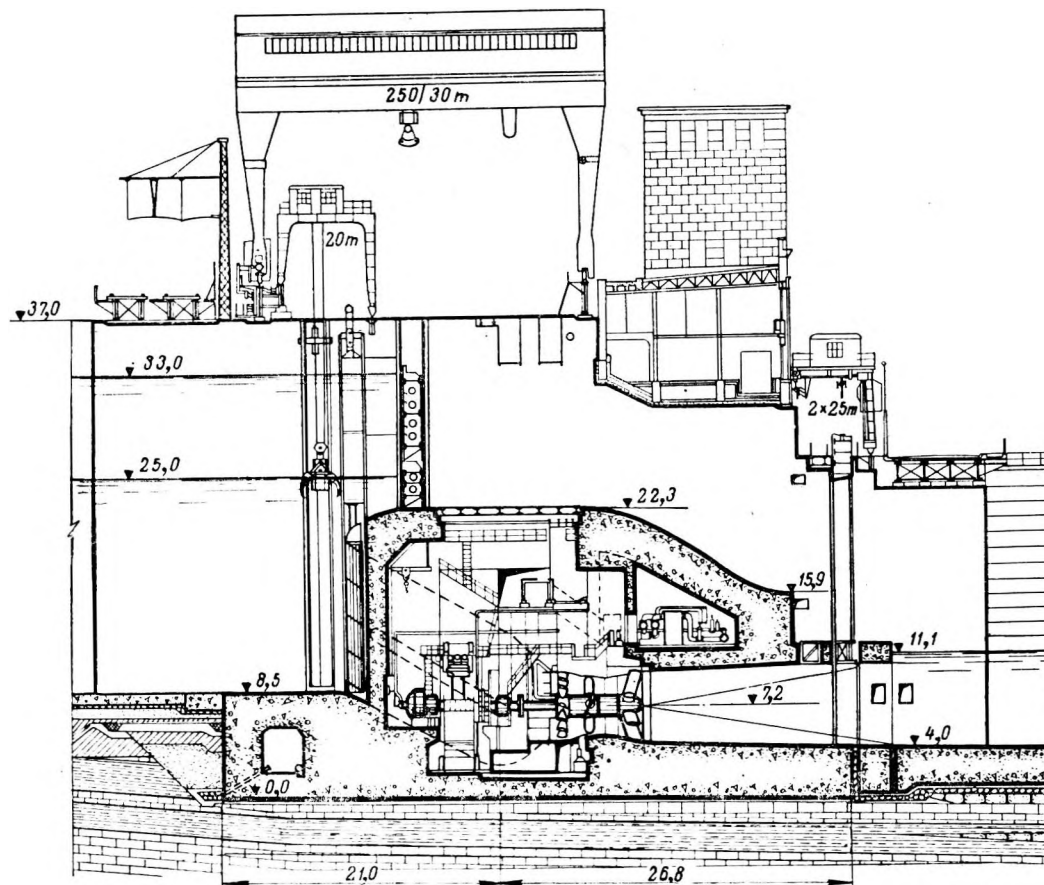
1 — вертикальный дренаж; 2 — дренажная призма; 3 — водобой; 4 — обратный фильтр; 5 — агрегатное помещение; 6 — приагрегатный зал; 7 — основной затвор турбинного водовода; 8 — основной затвор водосливных отверстий; 9 — сороудерживающая решетка; 10 — грейферный захват; 11 — надводосливное помещение; 12 — смотровая галерея.

ническое оборудование. Доступ в приагрегатный зал обеспечивается пассажирским лифтом в промежуточном бычке и двумя лестницами в отдельных полубычках и береговых устоях.

Надводосливное двухэтажное помещение, расположенное на бычках со стороны нижнего бьефа, обеспечивает все производственные коммуникации ГЭС, связывающие ее с береговыми служебными корпусами, монтажной мастерской и маслохозяйством на правом берегу.

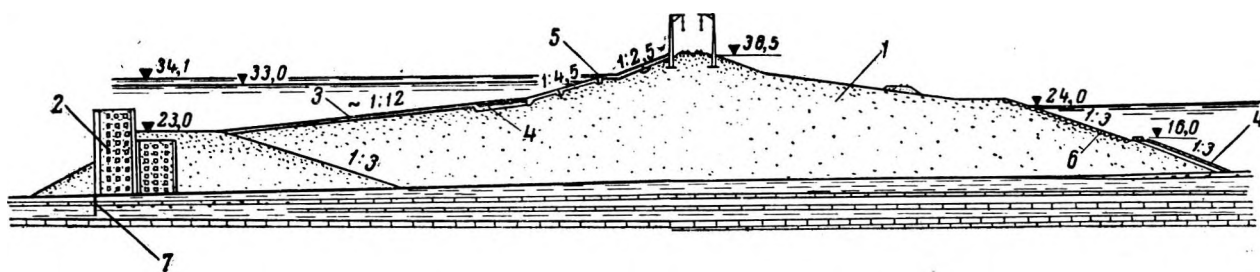
В каждой секции ГЭС в промежуточных бычках имеются грузовая шахта из надводосливного помещения в приагрегатный зал и вентиляционные и кабельные шахты и шахты шинных выводов к повышающим трансформаторам, установленным на крыше надводосливного помещения.

Маневрирование затворами водосливных отверстий, а также монтаж и демонтаж агрегатов ГЭС осуществляются при помощи трех козловых 250/30-х кранов.



Здание ГЭС совмещенного типа с горизонтальным агрегатом.





Земляная плотина.

1— мелкозернистый песок; 2—ражевая перемычка; 3—наброска щебня; 4—каменная наброска; 5—бетонные плиты; 6—мошение камнем; 7—металлический шпунт (34,1—ФПУ; 33,0—НПУ; 25,0—УМО; 24,0—макс. УНБ; 11,1—мин. УНБ).

Для очистки решеток предусмотрены три грейферных 20-г крана с грейферными захватами, перекрывающими весь 12-метровый пролет. Обслуживание ремонтного шандорного заграждения отсасывающих труб осуществляется при помощи полукозловото 50-г крана.

Общий объем бетона, уложенного в основные сооружения Камского гидроузла, составил 1066,2 тыс.  $m^3$ , в том числе по водосливной плотине—гидроэлектростанции — 719,8 тыс.  $m^3$ ; объем земляных работ по гидроузлу составил 16 млн.  $m^3$ , в том числе по плотинам — 4,5 млн.  $m^3$ . Вес металлического шпунта и металлоконструкций 54,5 тыс. г.

Возведение сооружений гидроузла осуществлялось в три очереди. В первую очередь за перемычками было возведено 18 пролетов водосливной ГЭС, из которых 11 пролетов (с 7 по 17) в дальнейшем были использованы для пропуска расходов воды после перекрытия русла реки каменным банкетом. Вторая очередь работ включала перекрытие русла реки каменным банкетом, отсыпанным с наплавного моста, и возведение русловой земляной плотины. В этот же период происходило наполнение водохранилища до напора 12—13 м, что дало возможность уже во вторую очередь работ ввести в эксплуатацию шесть агрегатов ГЭС.

Третья очередь работ охватывала устройство в оставшихся водосливных пролетах агрегатов гидроэлектростанции.

Подача и укладка бетонной смеси в здание водосливной ГЭС осуществлялись с металлической строительной эстакады с помощью портално-стреловых кранов. Максимальная интенсивность укладки бетона, равная 24 тыс.  $m^3$  в месяц, была достигнута в августе 1953 г.

Русловая земляная плотина (длина 525 м, высота 35 м, объем 2,5 млн.  $m^3$ ) и пойменная земляная плотина (длина 1 303 м, высота 19 м, объем — более 2,0 млн.  $m^3$ ) распластанного профиля намывались из мелкозернистых песков и гравелистых грунтов. Учитывая, что в основании залегают сильно сжимаемые грунты, срок возведения плотины был установлен 12 мес. Намыв плотин был начат с подводной части укладкой гравелисто-песчаных грунтов. Намыв плотин производился пионерно-торцовым, эстакадным и безэстакадным способами. Карьеры грунта разрабатывались землесосными снарядами типов «1000-20» и «300-40» с глубиной разработки до 15,5 м.

Крепление верхового откоса плотин в зоне волнового воздействия выполнено бетонными плитами 10X10 м толщиной 0,15—0,40 м, уложенными на слой уплотненного щебня. Низовой откос укреплен одерновкой с посевом трав.

# БОТКИНСКАЯ ПЛОТИНА

В Камоком каскаде гидроэлектростанций Боткинская ГЭС расположена между Камской ГЭС и проектируемой Нижне-Камской ГЭС. В состав основных гидротехнических сооружений Боткинской ГЭС мощностью 1 000 тыс. *квт* входят: здание гидроэлектростанции с 10 гидроагрегатами мощностью по 100 тыс. *квт*, бетонная водосливная плотина, земляные плотины и судоходный двухниточный шлюз. Общая длина сооружений по напорному фронту составляет 5 370 м, из них на бетонные сооружения приходится 910 м. Гидроузел образует водохранилище длиной 365 км, емкостью 9,4 млрд. *м<sup>3</sup>* и объемом призмы сработки 3,7 млрд. *л<sup>3</sup>*. Наибольший напор на сооружение равен 22,5 м.

Водосливная плотина расположена у левого берега р. Камы между зданием гидроэлектростанции и русловой земляной плотинной.

В основании плотины залегают переслаивающиеся неветрелые алевроитовые глины, алевролиты и песчаники, характеризующиеся коэффициентом сдвига 0,47 и объемным весом 2,1 *т/м<sup>3</sup>*. Толща коренных пород имеет средний коэффициент фильтрации 0,01 *м/сутки*. Неразмывающие скорости для коренных грунтов равны 1,3—1,5 *м/сек*.

Водобросный фронт гидроузла (плотина, ГЭС и судоходный шлюз) рассчитан на пропуск максимального расхода половодья повторяемостью 1 раз в 1 000 лет, равного 18 980 *м<sup>3</sup>/сек*.

Максимальный расход, пропускаемый через водосливную плотину, равен 11050 *м<sup>3</sup>/сек* при удельном расходе в нижнем бьефе 58 *м<sup>3</sup>/сек*.

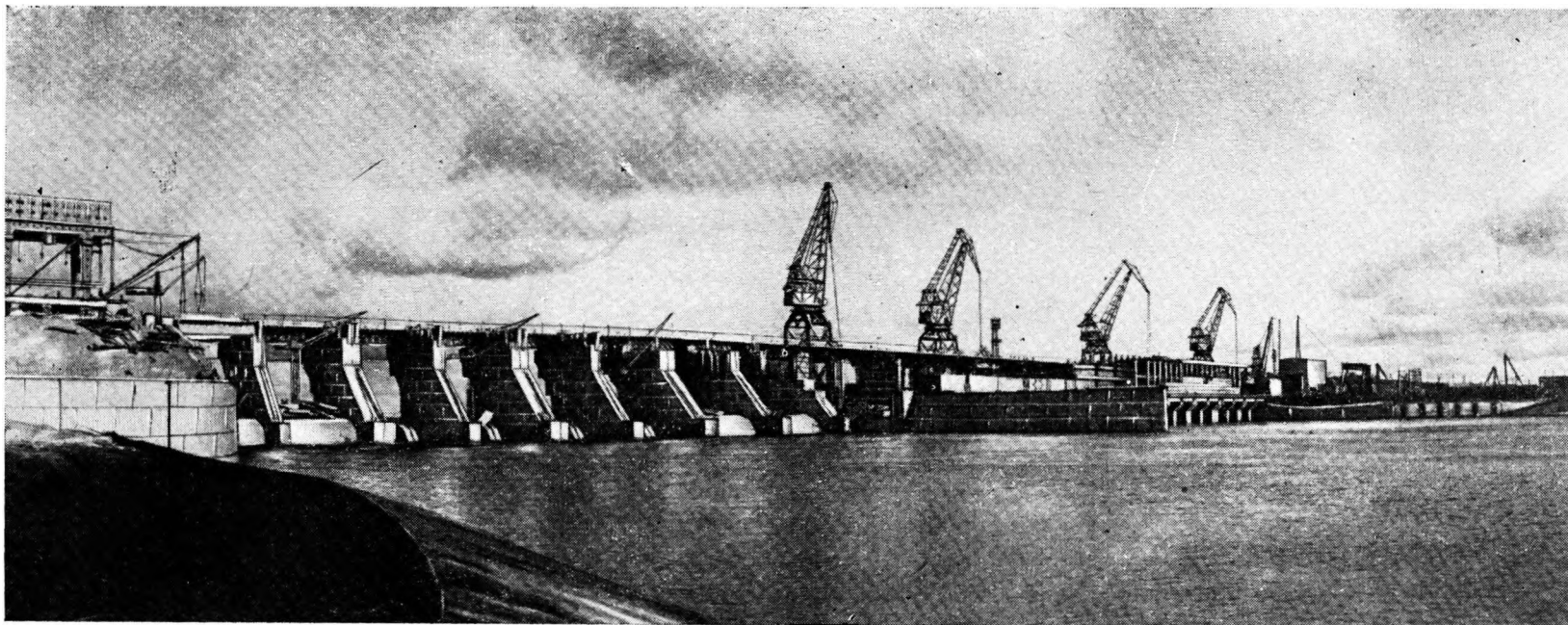
Гашение энергии сбрасываемого потока происходит на водобое посредством затопления прыжка и рассеивания ее с выравниванием скоростей на рисберме, оканчивающейся успокоительным ковшом. Перед водосливом устроен анкерный понур, пригруженный грунтом. Плотина имеет максимальный напор 22,6 м, а в половодье 12,5 м.

Водосливная плотина длиной 212,5 м и высотой 44,5 м состоит из восьми отверстий с пролетами в свету по 20 м. Общая ширина плотины от зуба крепления понура до зуба рисбермы равна 259,5 м.

Водосливная часть плотины разделена температурно-осадочными швами на четыре секции длиной по 48 м. Секции плотины состоят из двух водосливов, двух полубыков, промежуточного быка и фундаментных плит.

Особенностью конструкции секций водосливной плотины является пустотелая конструкция водослива, в пределах которого фундаментная плита заменена тонкой анкерной плитой, пригруженной грунтом. Фундаментная плита водосливной части плотины состоит из верховой плиты длиной 16 м и низовой плиты длиной 10 м.

Устойчивость плотины на сдвиг обеспечивается собственным весом водосливной части, пригрузками на нее воды и



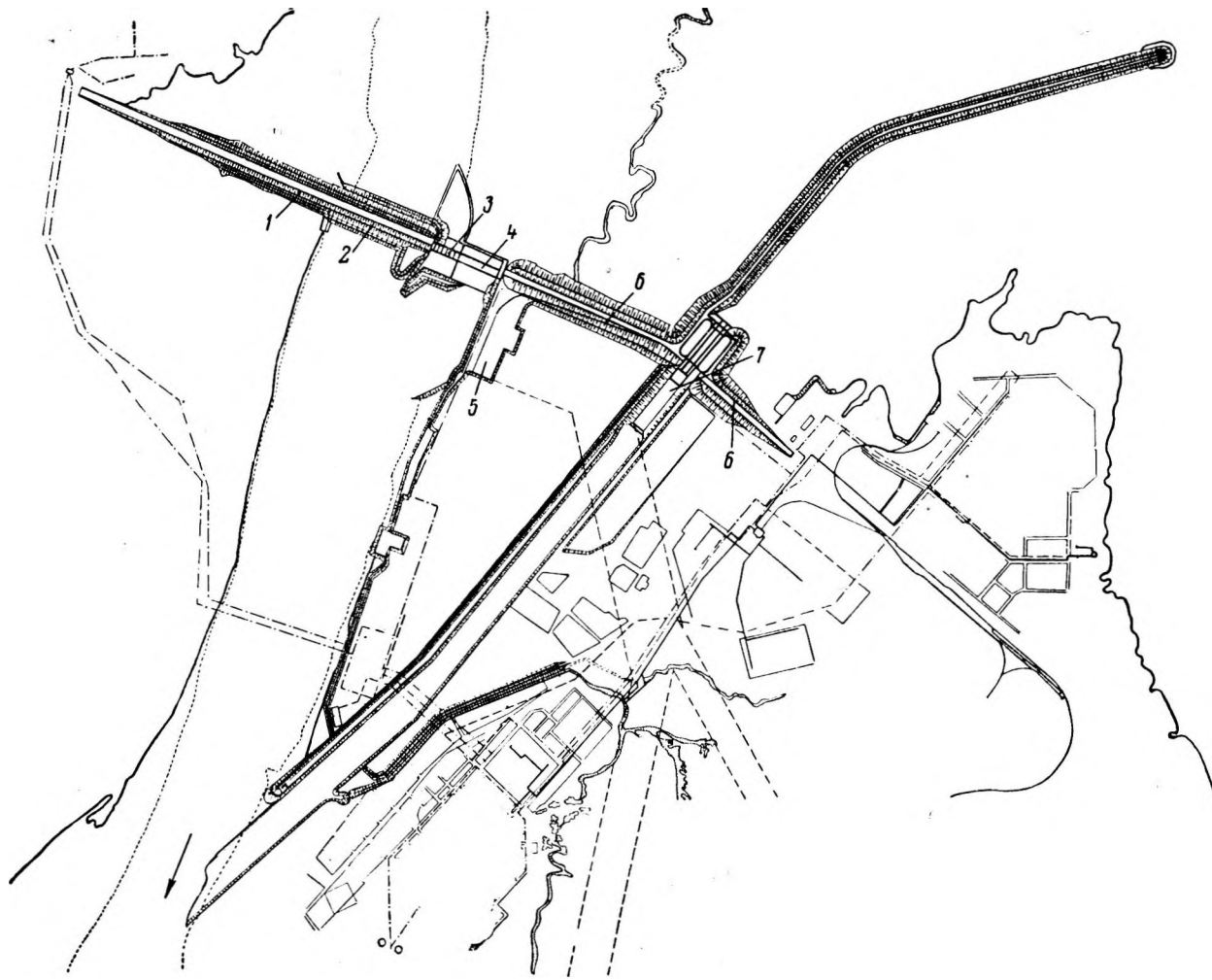
Общий вид.

грунта, а также анкерными устройствами: анкерным понуром, прикрепленным к верховой плите, и анкерной плитой, прикрепленной к низовому зубу.

Пустотелые водосливы плотины имеют во всех восьми пролетах два гребня: на отметках 87 и 94 м. Нижний временный водослив служит для пропуска паводка 1962 г. в период временной эксплуатации гидроузла и имеет профиль водослива с широким порогом. Постоянный водослив очерчен по координатам безвакуумного профиля Кригера — Офицерова с профилирующим напором 10 м. Водосливная и напорные грани жестко связаны с быками. Напорная грань имеет толщину в нижнем ярусе 2 м и в верхнем 1,5 м, водосливная грань — переменную толщину 1,5—1,7 м. Она выполнена сборно-монолитной конструкции; бетон укладывался по настилу из железобетонных балок.

Для увеличения жесткости водосливов, а также усиления связи между фундаментными плитами в середине каждого пролета выполнен контрфорс толщиной 3 м, по которому проходит температурный шов-надрез, делящий его пополам. Такая разрезка в отличие от ранее применявшейся на плотинах, где швы-надрезы располагались в плоскостях быков, позволяет обеспечить совместную работу быков с оболочкой водослива при действии на быки боковых сил. Это позволило принять малую толщину быков и резко уменьшить их армирование. Суммарная толщина быков и контрфорсов секции равна 14 м, а расстояния между ними в свету — 8,5 м. В промежутках между быками, контрфорсами и фундаментными плитами образовались четыре отсека размером 8,5X23 м. В этих отсеках расположена железобетонная анкерная плита толщиной 0,3 м, которая привязана арматурой

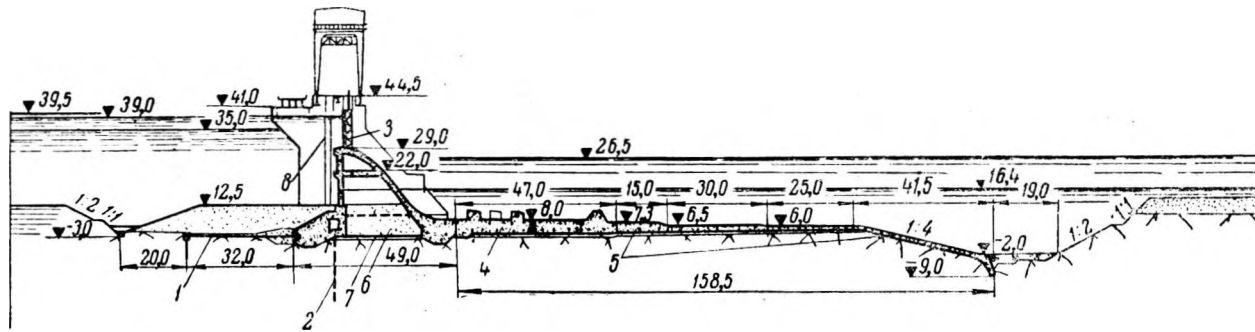




План.

1 — правобережная земляная плотина; 2 — русловая земляная плотина; 3 — водосливная плотина; 4 — здание ГЭС; 5 — ОРУ 500, 220 и 110 лкв; 6 — левобережные земляные плотины; 7 — судоходный шлюз.





Водосливная плотина. Поперечный разрез.

1 - анкерный понур; 2—дренажная скважина; 3—рабочий затвор; 4—водозой; 5—рисберма; 6—заполнение из гравийно-песчаной смеси; 7—анкерная плита; в—паз ремонтного затвора.

к низовой фундаментной плите и пригружена слоем песчано-гравийного грунта толщиной 9,5 м.

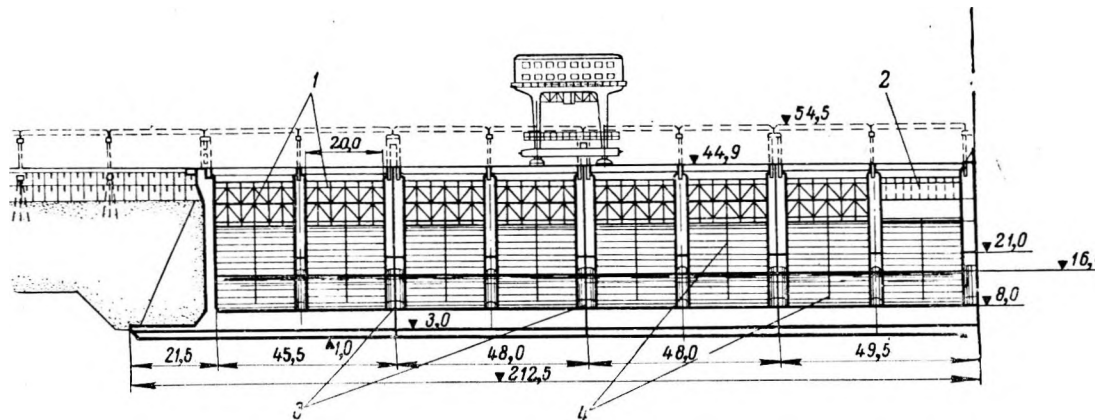
Основание плотины дренировано плоским и глубинным дренажами.

Анкерный понур плотины имеет горизонтальную железобетонную плиту длиной 32 м и толщиной 30 см и наклонный зуб глубиной 4 м или заменяющую его шпору глубиной 6,5 м.

Водобой плотины представляет собой бетонную плиту длиной 47 м и толщиной 4 м, снабженную водобойной стенкой и тремя рядами гасителей призматической формы.

Рисберма плотины состоит из горизонтальной части длиной 70 м и наклонной части длиной 40,5 м, оканчивающейся зубом и ковшом с каменной наброской.

Плотина оборудована плоскими скользящими основными и аварийно-ремонтными затворами. Для маневрирования за-



Водосливная плотина. Вид с нижнего бьефа.

1 — водосливы; 2 — мусоросбрешет; 3 — температурно-осадочные швы; 4 — температурные швы-надрезы.

творами служит козловой кран грузоподъемностью 2X 125/20 т, который перемещается по балкам из предварительно-напряженного сборного железобетона.

Водосливная плотина оборудована контрольно-измерительной аппаратурой для наблюдения за осадками, перемещениями и перекосами секций плотины, водобоя и понура, наблюдений за усилиями в арматуре понура, а также наблюдений за режимом фильтрации в основании плотины и сопряжении с земляной плотиной.

Коэффициент устойчивости водосливной части плотины с понуром на сдвиг равен 1,3; напряжения в основании от 3 до 4 кг/см<sup>2</sup>.

Максимальная высота сопрягающего устоя и подпорных стенок контрфорсного типа с земляной плотиной равна 42,5 м.

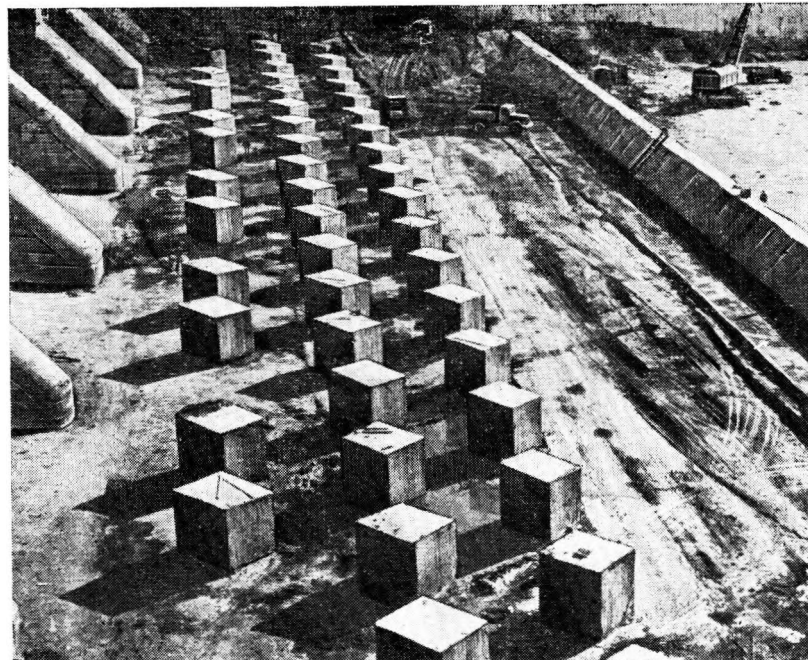
За подготовительный двухлетний период (1955—1956 гг.) построены: подъездные и внутрипостроечные транспортные пути протяженностью около 190,0 км, ЛЭП длиной 232 км, база строительной индустрии с заводами строительных материалов и ремонтно-механическими заводами, складское хозяйство, специализированные базы строительного-монтажных организаций и строительные поселки.

Строительство водосливной плотины осуществлялось в одну очередь за перемычками. Пропуск строительных расходов и судоходство осуществлялись в 1957—1961 гг. через правобережную часть русла реки шириной около 500 м, а после паводка 1961 г. — через оставленный проран шириной 300—175 м.

В период перекрытия русла р. Камы и возведения земляной плотины на участке прорана расходы реки пропускались через четыре средних пролета плотины с недостроенными водосливами.

Наполнение водохранилища началась в начале ноября 1961 г. одновременно с закрытием недостроенных пролетов плотины затворами.

Первые два агрегата гидроэлектростанции введены в эксплуатацию в конце декабря 1961 г. при промежуточном напоре 10—12 м.



Строительство плотины.

При возведении водосливной плотины применены следующие основные марки бетона: 350, 200 и 150 в 180-дневном возрасте.

Бетонная смесь приготавливалась на бетонном заводе производительностью 900 тыс. м<sup>3</sup> в год (восемь бетономешалок по 2 400 л).

Арматурные изделия изготовлялись на арматурном заводе производительностью 50 т в смену. Изготовление сборного железобетона осуществлялось на заводе и полигоне железобетонных изделий общей производительностью 50 тыс. т в год.

Бетонная смесь подавалась к месту укладки автосамосвалами. В блоки бетонирования конструктивных элементов плотины плитного характера (водобой, рисберму, фундаментные плиты и др.) бетон подавался с инвентарных мостиков авто-

самосвалами. При бетонировании конструкций типа стен (быки, контрфорсы) и высоко расположенных блоков бетон перегружался в ковши — бадьи емкостью  $1,6 \text{ м}^3$ , которые подавались в блоки гусеничными кранами или портално-стре-

ловыми кранами, расположенными на водобойной плите плотины.

Транспортировка армоконструкций опалубки и сборных железобетонных конструкций осуществлялась автомобильным транспортом.

При возведении водосливной части плотины широко применялись сборные железобетонные элементы в виде: армопанелей, включающих рабочую арматуру, балок таврового профиля или плит, выполняющих функции несущей опалубки при бетонировании перекрытий, обетонированных закладных частей пазов затворов и пр. Широко применялись также сварные армоконструкции в виде плоских пакетов и сеток и крупных пространственных армокаркасов.

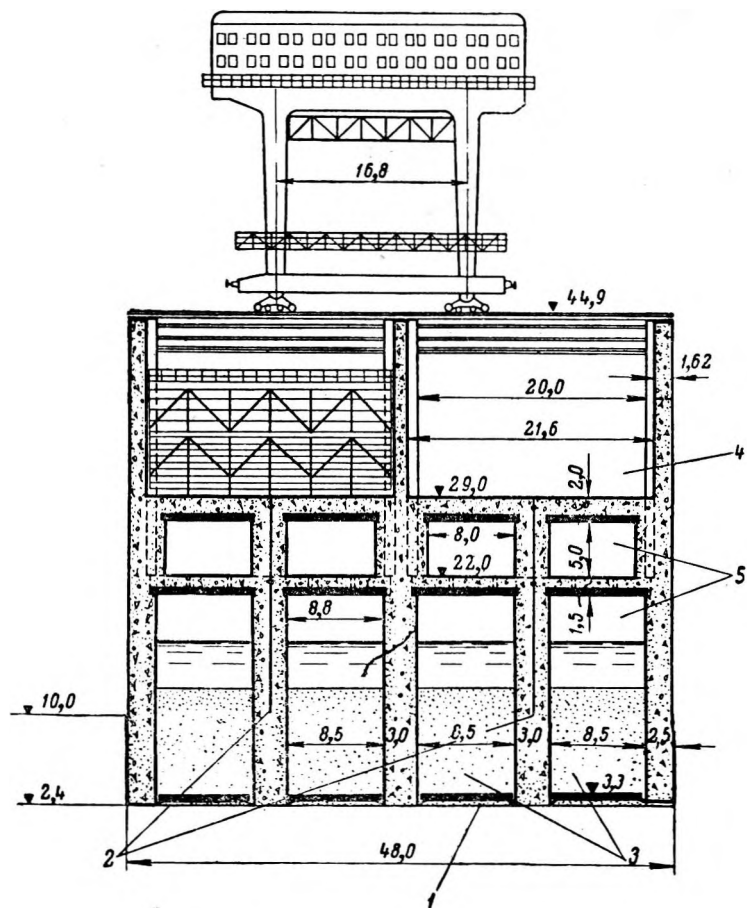
Армопанели применялись размерами  $6,8 \times 3,5 \times 0,16 \text{ м}$  весом до 11 т, армокаркасы — весом до 13 т. Опалубка применялась деревянная щитовая или в виде армопанелей.

Возведение водосливной части плотины осуществлено без устройства строительной эстакады. Установка опалубки, арматуры и сборных железобетонных конструкций производилась теми же кранами, которыми подавался в блоки бетон.

Максимальная интенсивность укладки бетонной смеси в летний период составила  $14,0 \text{ тыс. м}^3$  в месяц при интенсивности роста по высоте  $14,5 \text{ м}$  в месяц, в зимний период —  $9,0 \text{ тыс. м}^3$  в месяц.

Объемы работ по водосливной плотине, включая сопряжение с земляной плотиной, составляют: выемка мягкого грунта —  $1\,300 \text{ тыс. м}^3$ , насыпь —  $982 \text{ тыс. м}^3$ , дренажи и каменные наброски —  $55 \text{ тыс. м}^3$ , бетон и железобетон —  $251 \text{ тыс. м}^3$  (в том числе сборный и преднапряженный —  $8 \text{ тыс. м}^3$ ), арматура — 880 т, монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования — 3 000 т.

Боткинская ГЭС имеет энергетическое и транспортное назначение. Боткинская ГЭС обеспечит электроэнергией промышленные центры Удмуртской АССР. Энергия станции будет также поступать в Уральскую энергосистему, а впоследствии — в ЕЭС СССР.



Водосливная плотина. Продольный разрез.

1 — анкерная плита; 2 — температурные швы-надрезы; 3 — заполнение из песчано-гравийной смеси; 4 — водосливные отверстия; 5 — полости (39,5 — ФПУ; 39,0 — НПУ; 35,0 — УМО; 26,5 — макс. УНБ; 16,4 — мин. УНБ).



# ПЛОТИНА ПАВЛОВСКОЙ ГЭС

Павловская ГЭС построена на р. Уфе, недалеко от г. Уфы, главного города Башкирской АССР. Река Уфа впадает в р. Белую, которая является крупнейшим притоком р. Камы. Напор, создаваемый сооружениями гидроузла, 33 ж.

Длина напорного фронта 780 ж, из которых 155 ж занимают бетонные сооружения. Полезный объем водохранилища 900 млн. м<sup>3</sup> обеспечивает сезонное регулирование стока.

Среднегодовое расхождение реки в створе гидроузла равно 336 м<sup>3</sup>/сек, расчетное расхождение весеннего паводка повторяемостью 1 раз в 100 лет — 6 140 м<sup>3</sup>/сек.

В состав узла гидротехнических сооружений входят: водосливная плотина, совмещенная со зданием гидроэлектростанции, судоходный шлюз и земляные плотины—насыпная и намывная.

Строительство Павловской ГЭС велось в сложных геологических условиях.

Сильная трещиноватость и закарстованность коренных пород (известняки) потребовала обширного изучения инженерно-геологических условий района строительства и выполнения специальных противофильтрационных мероприятий. Коэффициент фильтрации в верхней зоне равен 20—90 м/сутки и снижается в русле и склонах долины до 2—3 м/сутки.

По всему фронту сооружений гидроузла устроена двухрядная цементационная завеса на глубину до двух напоров с резкой завесы в склоны долины на длину, равную восьми-

кратному действующему напору. Средний расход цемента при цементации составил 275 кг на 1 пог. м скважин.

Бетонные сооружения и земляная намывная плотина расположены в пределах залегания коренных скальных пород.

В этих условиях целесообразным решением оказалось применение водосливной плотины, совмещенной с гидроэлектростанцией (водосливная ГЭС), что привело одновременно к сокращению общего объема бетонных работ на 10%.

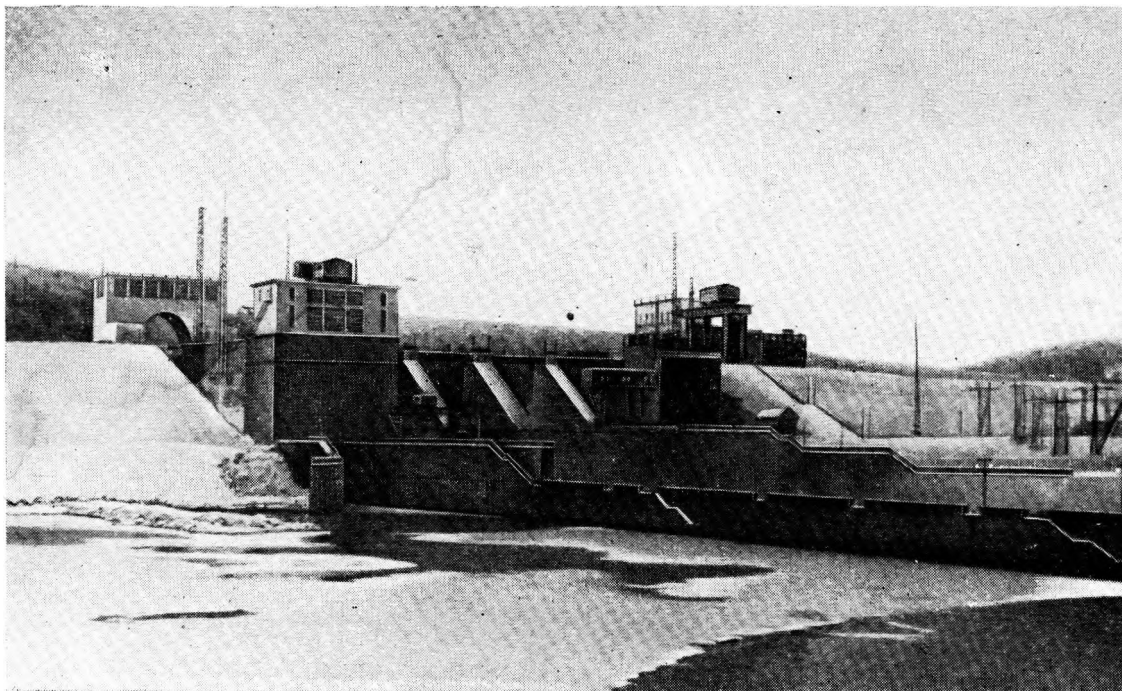
Однокамерный одноступенчатый судоходный шлюз-водосброс, используемый для пропуска пика весеннего паводка, дал возможность сократить на один пролет водосливной фронт плотины.

В каждой водосливной секции в теле плотины длиной 16 м и напором на пороге 12,3 м размещается один агрегатный блок ГЭС. Сооружение выполнено в виде железобетонной полой плотины с водосливым профилем, соответствующим компоновке встроенного машинного зала и размещению основного гидросилового оборудования.

Статическая устойчивость водосливной плотины ГЭС в поперечном направлении обеспечивается бычками-контрфорсами полигонального очертания, воспринимающими нагрузку с пролета, а в продольном направлении — железобетонной оболочкой, образованной напорной и водосливной частью и бетонным фундаментом плотины.

Наибольшая строительная высота сооружения 53 м, расстояние между бычками (в осях) — около 21 м, толщина бычков 4,6 м.





Общий вид.

Водосливные отверстия перекрыты двухсекционными плоскими колесными затворами, верхняя секция которых снабжена клапанными устройствами для сброса плавающих тел. Затворы плотины и водоприемные отверстия гидроэлектростанции обслуживаются двумя козловыми кранами.

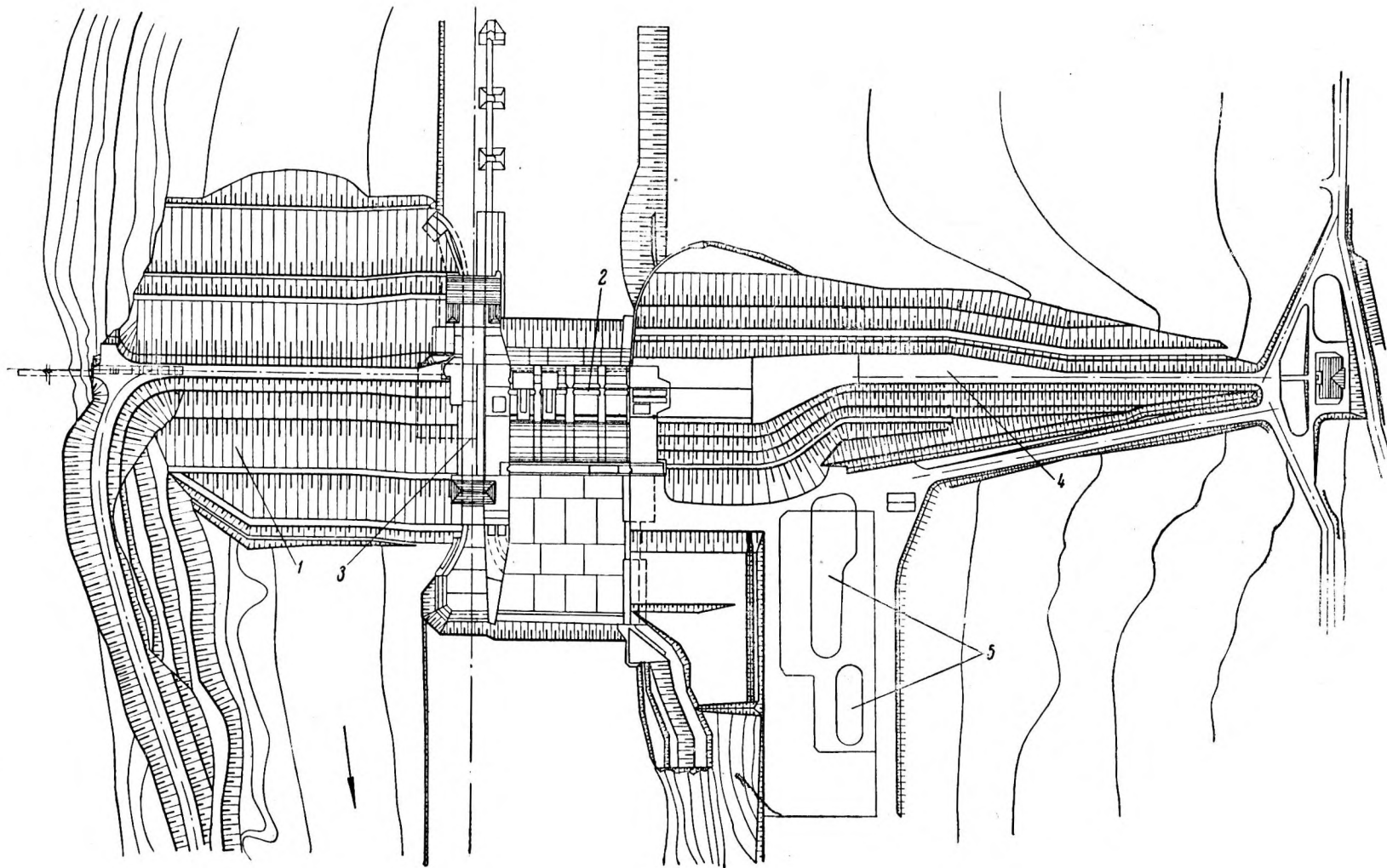
Земляная русловая плотина высотой 43 м и длиной 230 м была возведена намывным способом. В основании ее залегают те же коренные породы — закарстованные известняки, прикрытые аллювиальными гравелисто-песчаными отложениями толщиной до 2 м. Цементационная противofильтрационная завеса по оси плотины пересекает известняки на глубину до 60 м.

Для обеспечения надежного сопряжения ядра плотины с цементационной завесой первоначально предполагалось

устройство сопрягающего зуба на всю глубину разрушенной зоны известняков. Поскольку устройство зуба осложняло строительные работы по перекрытию русла и возведению плотины, были проведены специальные исследования по водопроницаемости верхней зоны коренных пород. Исследования показали, что разрушенная зона известняков подвергается интенсивному естественному кольматации, что позволило отказаться от устройства зуба.

Плотина возводилась раздельным намывом боковых призм из гравелисто-песчаных грунтов с содержанием песка до 25% и центрального ядра из мелкозернистых песков. Коэффициент фильтрации ядра составил 2—5 м/сутки, а боковых призм — 25—50 м/сутки.

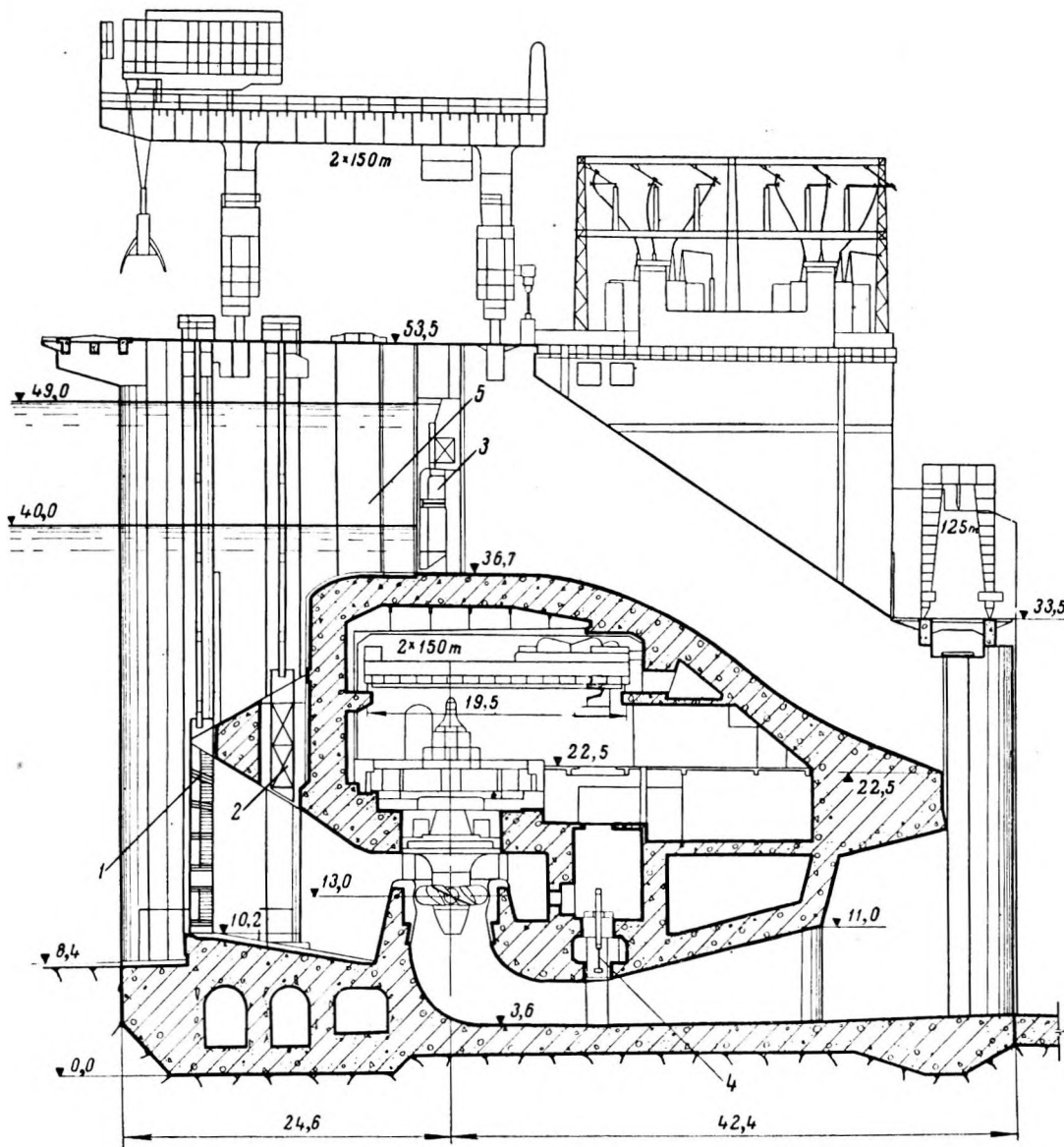
В связи с наличием в основании плотины гравелисто-



План.

1- земляная русловая плотина. 2- здание ГЭС совмещенного типа; 3-судоходный шлюз-водоброс; 4-земляная левобережная плотина; 5-ОРУ 110 и 35 кв.





Здание ГЭС совмещенного типа.

1 — решетка; 2 — ремонтный затвор; 3 — основной затвор водослива; 4 — аварийный затвор; 5 — паз ремонтного затвора.

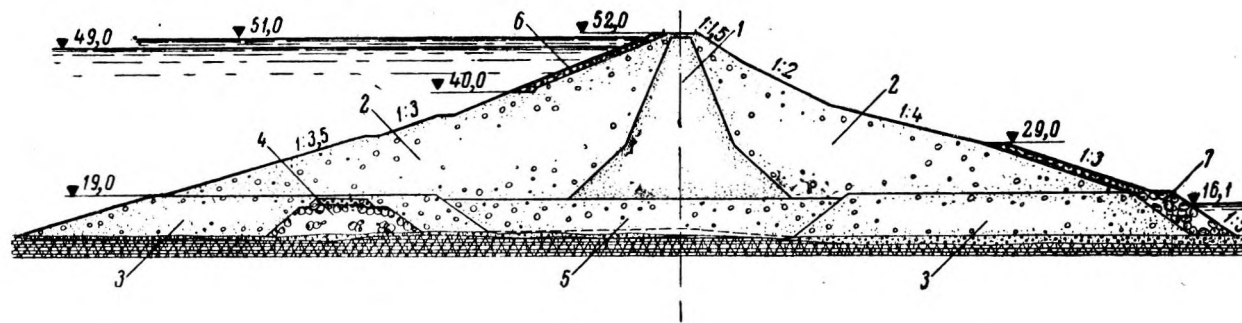
песчаных грунтов нижняя часть ядра плотины намывта из искусственной смеси (75% гравелисто-песчаных грунтов и 25% мелкозернистых песков); тем самым создавалась переходная зона от мелкозернистых грунтов ядра к крупнозернистым грунтам основания плотины.

Возведение бетонных сооружений осуществлялось в котловане, огражденном от реки ячеистой шпунтовой перемычкой (диаметр 8 м, высота 15 м).

Пропуск строительных расходов в первый период осуществлялся по естественному руслу, а в период возведения русловой плотины — через два пролета водосливной плотины и шлюз-водосброс.

Максимальная месячная производительность бетонных работ составила 20 тыс. м<sup>3</sup>. Гусеничными стреловыми кранами на базе экскаваторов СЭ-3 было уложено 48% бетона, бетононасосами — 20%, автосамосвалами — 16%, кабелькраном — 16%.

Боковые призмы русловой плотины намывались смешанным способом. Разработанные землеройными машинами гравелисто-песчаные грунты подавались в отвалы, откуда они гидромониторами смывались по бетонному лотку в зумпфы стационарных землесосов и затем по двум пульповодам диаметром 600 мм подавались на карты намыва. Мелкозернистые грунты ядра разрабатывались плавучим земснарядом типа «300-40» в карьере с подачей пульповодом в центральную часть карты намыва. Намыв производился безэстакадным способом с опереже-



Земляная плотина.

1—мелкозернистый песок; 2— гравелисто-галечный грунт; 3— зона подводного намыва; 4—каменный банкет перекрытия; 5 —основание ядра — песчано-гравелисто-галечный грунт (подводный намыв); 6—крепление каменной наброской; 7—низовой банкет (51,0—ФПУ; 49,0—НПУ; 16,1 —мин. УНБ).

нием боковых призм против центральной части для возможности формирования противодиффузионного ядра.

В период строительства проводились систематические наблюдения за осадками и деформациями бетонных сооружений с помощью высотных марок, створных знаков и щелемеров. Фильтрационный режим подземных вод в пределах сооружений изучался на весьма обширной сети пьезометрических скважин.

Были установлены незначительные размеры полной осадки бетонных сооружений (не более 25 мм) и линейных деформаций (годовой ход раскрытия шва между двумя блоками здания ГЭС длиной по 60 м каждый не превышает 20 мм в верхних ярусах сооружения и 3—5 мм в фундаментной части).

Удовлетворительная работа противодиффузионной цементационной завесы подтверждается очень небольшой вели-

чиной остаточного напора за последней (не более 3—5%). Фильтрационные процессы в теле намывной плотины, несмотря на относительно высокие градиенты в теле (до 0,7) и в основании ядра (до 0,4), протекают нормально, не сопровождаясь явлениями суффозии грунтов.

В результате трехлетней эксплуатации гидроузла в относительно суровых зимних условиях выявилось полное отсутствие сброса льда через водосливы во время пропуска весенних паводков.

При строительстве было выполнено 2,5 млн. м<sup>3</sup> земельно-скальных и около 500 тыс. м<sup>3</sup> бетонных работ, произведено 112 тыс. пог. м цементационных работ, смонтировано 16 тыс. т металлических конструкций и оборудования.

Гидроэлектростанция работает в энергосистеме Башкирской АССР и обеспечивает покрытие пиковых нагрузок системы.



# ИРИКЛИНСКАЯ ПЛОТИНА

Гидроузел расположен в Ириклинском ущелье р. Урал и образует водохранилище многолетнего регулирования емкостью 3,25 млрд.  $m^3$ .

Основное назначение объекта—водообеспечение района, выработка электроэнергии, ирригация сельскохозяйственных земель, и рыбное хозяйство.

Гидроузел состоит из: каменнонабросной глухой плотины и бетонной водосливной плотины со встроенной в нее гидроэлектростанцией, подводящего и отводящего каналов и раздельных стенок.

Глухая плотина справа примыкает к коренному склону ущелья, а слева — к раздельным стенкам и устью водосливной плотины, расположенным на скальном основании. Длина плотины 360 м, наибольшая высота 43 м. Полученный из полезной выемки камень использован для укладки в плотину и ее защитную шпору в нижнем бьефе.

Долина реки шириной 300—400 м с узкими террасами по обе стороны русла сложены скальными эффузивно-туфовыми породами, неоднородными сильно трещиноватыми с глинисто-щебенистыми прослоями от 3 до 15 см (коэффициент фильтрации— до 50 м/сутки). На дне долины и частично на склонах скальные породы покрыты аллювиальными и делювиальными отложениями мощностью 5—7 м в русле реки и 10—13 м на поймах. В русле они состоят преимущественно из гравелисто-песчаных грунтов (коэффициент фильтрации порядка 100 м/сутки), практически несжимаемых под нагруз-

кой. В поймах залегают преимущественно суглинки и супеси с разными прослоями и включениями.

Климат района континентальный. Температура зимой доходит до  $-40^\circ C$ , лето жаркое с незначительными осадками.

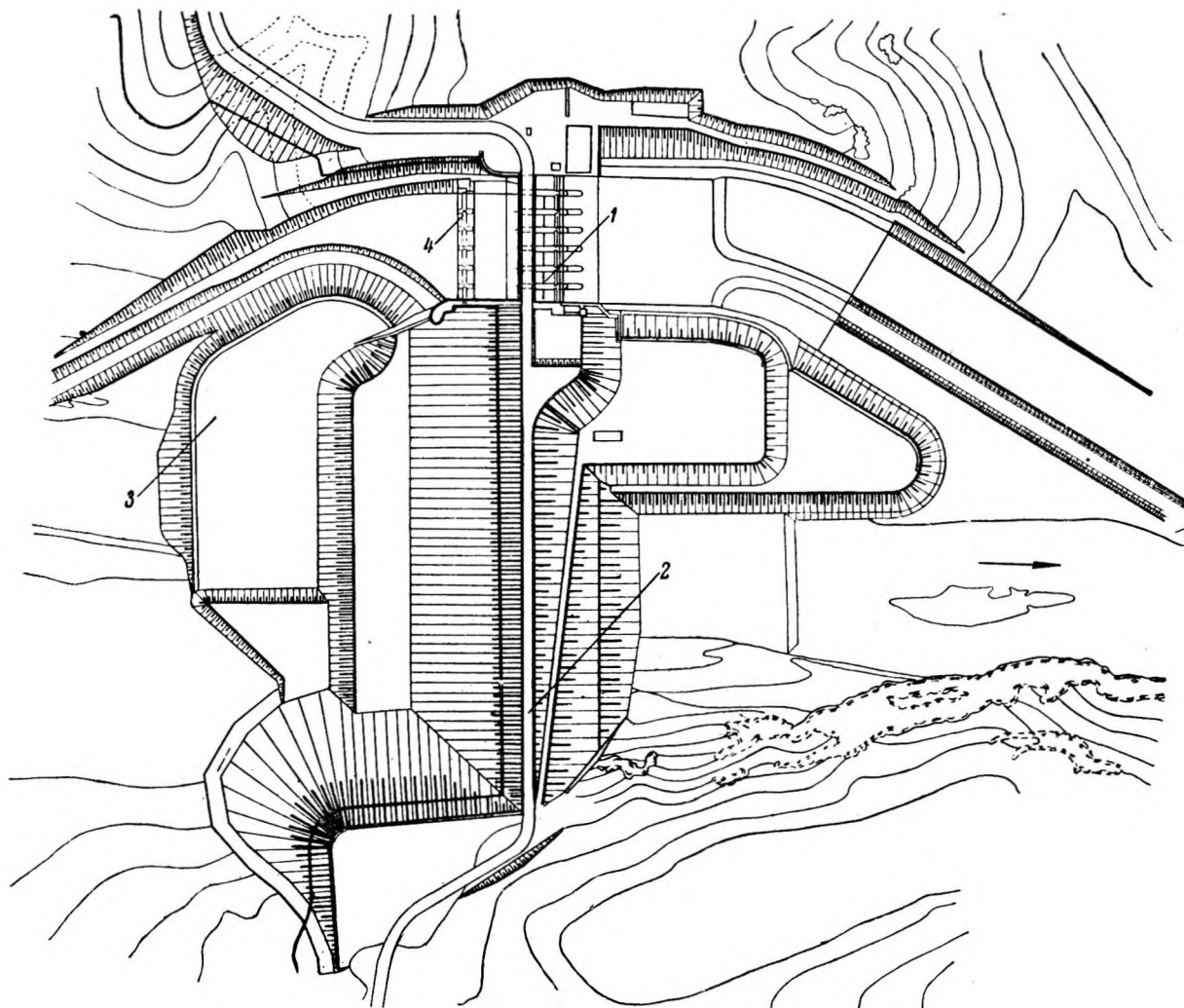
Река Урал отличается весьма неравномерным распределением годового стока: за два весенних месяца проходит до 70—80% годового стока, меженные расходы иногда падают до 1  $m^3/сек$ , тогда как максимальные паводки могут доходить до 5 000  $m^3/сек$  и более. Средний многолетний расход реки в створе плотины составляет 70  $m^3/сек$ .

Центральная часть и низовой клин каменнонабросной плотины и ее защитная шпора со стороны нижнего бьефа выполнены из каменной наброски. Верховой откос плотины и ее понурная часть выполнены из мягких грунтов.

Камень в основную призму плотины и шпору отсыпался без какой-либо сортировки с допущением до 15% мелочи диаметром менее 1 см, с отбором сильно выветрелой породы. Общая возможная осадка каменной наброски принималась 6%, в предположении, что около 80% ее произойдет в строительный период.

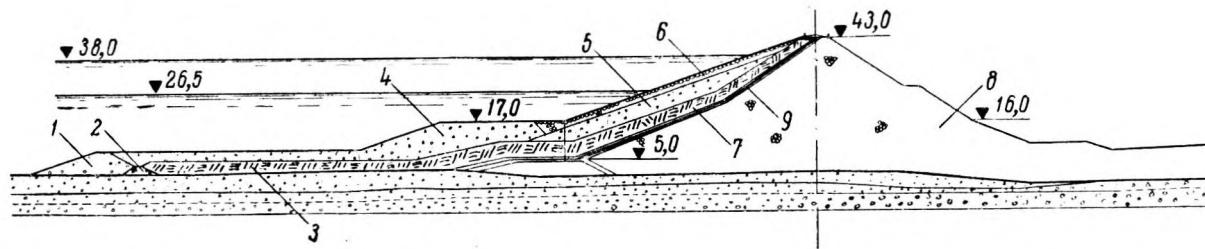
Под плотиной полностью оставлены аллювиальные отложения, удалялся лишь растительный слой. Расчетная осадка основания на русловом участке принята 3 см, а на поймах— 43 см.

Суглинистый понур плотины длиной 150 м покрывает сильно фильтрующие гравелисто-песчаные отложения русла



План.

1 — здание ГЭС совмещенного типа; 2—каменнонабросная плотина; 3—понур из суглинка; 4—временная железобетонная перемычка.



Каменнонабросная плотина.

1 — строительные перемычки; 2 — каменный банкет; 3 — понур из суглинка; 4 — отсыпка каменной мелочи; 5 — гравийно-песчаный грунт; 6 — каменная кладка; 7 — экран из суглинка; 8 — каменная наброска; 9 — обратный фильтр (38,0 — НПУ; ;23,0 — макс. УНБ; 4,5 — мин. УНБ).

реки и смыкается с суглинисто-песчаными отложениями на пойме. В верхнем бьефе понур соединяется с верховой земляной перемычкой, входящей в состав тела плотины.

Суглинистый экран толщиной 5 м внизу и 2,5 м вверху является продолжением понура. Суглинок в нем уложен со средней плотностью  $1,6 \text{ т/м}^3$ . Под экраном расположен трехслойный обратный фильтр из несортированного карьерного гравелисто-песчаного грунта толщиной 1 м.

Для ослабления боковой контактной фильтрации в примыкании к устью водосливной ГЭС и верховой раздельной стенке уложена мощная суглинистая призма вдоль тыловой грани указанных сооружений и в нее выпущены две короткие диафрагмы из бетонного устоя. В примыкании к правому коренному берегу экран уложен по береговому откосу на протяжении 100 м и закончен врезкой в скалу суглинистым зубом с цементационной завесой под ним глубиной 10 м.

Понур и экран прикрыты отсыпкой из каменной мелочи и гравийно-галечного грунта. Крепление верхового откоса осуществлено наброской крупного камня слоем 2,0 м. По гребню и наклонной берме на низовом откосе плотины устроена автодорога.

Коэффициенты запаса устойчивости верхового клина плотины на скольжение по наивыгоднейшим кривым обрушения равны 1,29 для нормального случая работы и 1,13 для случая быстрой сработки водохранилища.

Бетонная водосливная плотина имеет семь отверстий, перекрываемых плоскими колесными затворами шириной 10 м,

с напором 11,5 м. Удельные расходы на гребне водослива при пропуске паводка обеспеченностью 1 % достигают  $90 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

В теле водосливной плотины размещается машинный зал гидроэлектростанции длиной 100 м, в котором установлены четыре агрегата по 7,5 тыс. квт с радиально-осевыми турбинами и оставлены места для установки в будущем еще двух таких агрегатов.

В отсасывающих трубах гидроагрегатов установлены колесные быстродействующие затворы с гидравлическими подъемниками.

Ширина водосливной плотины — ГЭС по основанию 54 м; ее максимальная-высота до верха бычков 49 м. Водобойный колодец имеет длину 80 м; дно его заглублено относительно dna отводящего канала (рисбермы) на 4 м. Бетонные плиты днища толщиной 1,5 м прианкерены к скальному основанию.

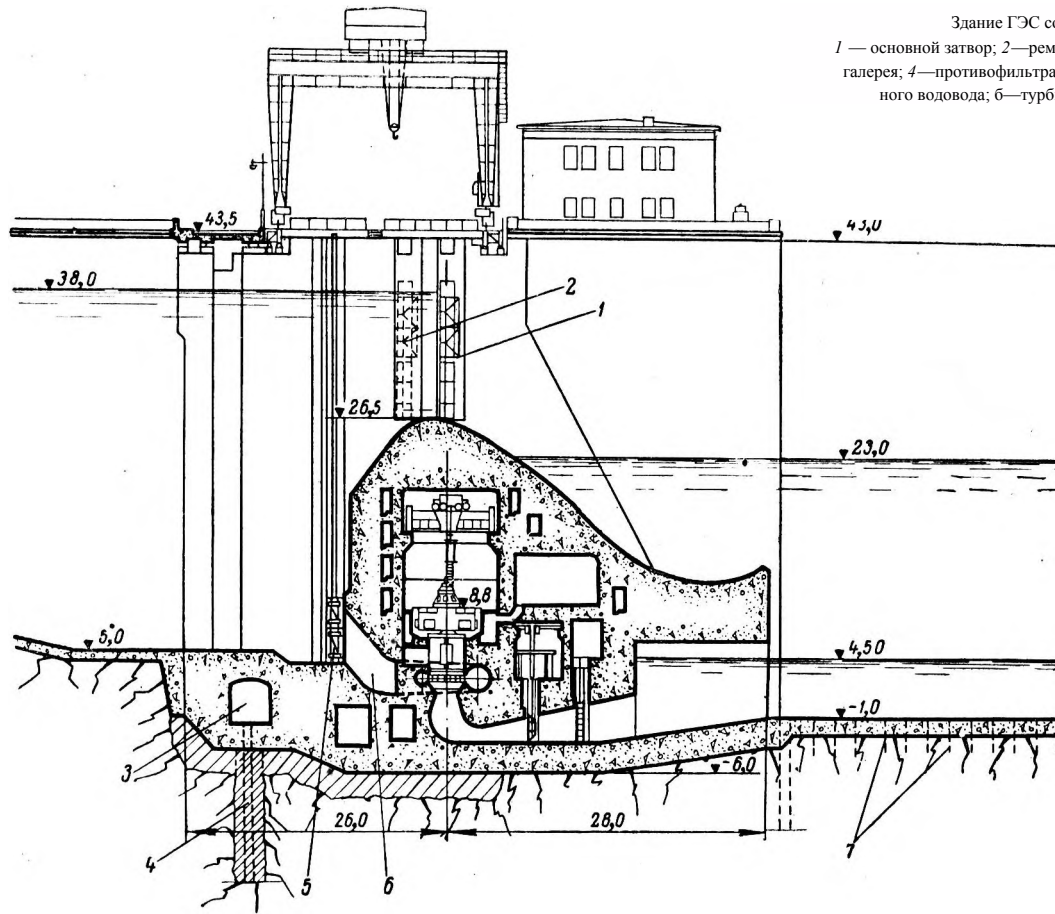
Перед водосливной плотинной была устроена временная железобетонная перемычка для создания в период строительства временного водохранилища для нужд водоснабжения.

С коренным левым берегом водосливная плотина сопрягается диафрагмой и открылком. Под диафрагмой и под напорной гранью водосброса осуществлена двухрядная цементационная завеса с расстоянием между скважинами 2 м, продолженная в верхний бьеф под верховой раздельной стенкой и в нижний бьеф — под правым устоем, до его конца.

Верховая раздельная стенка длиной около 115 м поддерживает верховой откос каменнонабросной плотины, создает плавный подвод воды к водосливам плотины и водоприемным

Здание ГЭС совмещенного типа.

1 — основной затвор; 2 — ремонтный затвор; 3 — цементационная галерея; 4 — противофильтрационная завеса; 5 — затвор турбинного водовода; 6 — турбинный водовод; 7 — анкеры.



отверстиям ГЭС, а также защищает верховой откос плотины от размыва продольными токами воды. В этих целях стенка ка длине 54 м доведена по высоте до уровня гребня набросной плотины. В бетонном массиве нижнего яруса имеется двухчковая галерея, через которую осуществлялся пропуск в нижний бьеф меженных строительных расходов. Галерея продолжена в массивах устоя водосливной плотины и частично низовой разделяющей стенкой с выводом воды в водобойный колодец.

Низовая разделяющая стенка длиной около 155 м защищает от размыва низовой откос плотины и ее шпору.

Ширина и высотное положение дна подводящего канала, имеющего длину 300 м, приняты в соответствии с условиями пропуска строительных паводков. Для подвода воды к галерее разделяющей стенки в дне подводящего канала предусмотрена прорезь — углубление шириной 10 м.

Длина отводящего канала равна 320 м, из них 80 м приходится на водобойный колодец, заглубленный на 4 м относи-



тельно дна канала. От водобойного колодца в дне канала оставлена прорезь шириной 10 м для отвода воды от турбин, причем при работе двух турбин вода проходит в пределах прорези. На протяжении раздельной стенки дно и левобережный откос канала облицованы бетоном.

В первые годы строительства выполнялись скальные работы по подрезке левого косогора ущелья для бетонных сооружений с отвозкой получаемого камня в тело плотины и резервы.

Каменная наброска производилась по фронту плотины отдельными участками с оставлением прорана в зоне русла реки для пропуска строительных расходов в первые годы строительства. Проран и пазуха устоя водосливной плотины были заделаны после укладки бетона в нижние ярусы устоя водосброса и раздельных стенок. Одновременно с этим выполнялись работы по укладке грунтов в понур глухой плотины.

Меженные и паводковые расходы в первые годы строительства пропускались по руслу реки, для чего в каменной наброске плотины оставлялся проран. С окончанием нижних ярусов раздельных стенок и устоя меженные строительные расходы пропускались в нижний бьеф по водопропускной галерее, а паводковые расходы пропускались через подготовленный каждый раз проран между раздельными стенками и устоем с одной стороны и правым скальным откосом котлована водосброса с другой стороны. В последние 2 года строительства весенние паводковые расходы пропускались через гребенку водосливной плотины — ГЭС.

Скальная выемка в котловане производилась узкими продольными полосами на полную высоту взрывным способом с закладкой взрывчатого вещества в штольни, устраиваемые у низа выемки. При взрывах скала обваливалась вниз с высоты до 40 м. Порода в виде кусков разных размеров, преимущественно некрупных, вместе с мелочью погружались экскаваторами на автосамосвалы и отвозилась в плотину или кавальеры. В тело плотины камень сваливался пионерным способом слоями по 4—5 м. Никакой сортировки и специального уплотнения камня не производилось.

Все суглинистые элементы плотины — экран, понур, водопорные призмы в концевых примыканиях, а также обратные засыпки у тыловых граней бетонных сооружений — выполнены отсыпкой суглинка в воду с естественной влажностью его в карьере 15—16%. Процесс уплотнения суглинка происходил под воздействием собственного веса и затем от последующей грунтовой пригрузки, так как использованные суглинки обладают способностью уплотняться в пластическом состоянии при незначительных давлениях и сотрясениях.

В понур суглинок отсыпался в воду пионерным способом сразу на полную его толщину отдельными поперечными полосами. В экране и концевых примыканиях суглинок укладывался слоями по 60 см отсыпкой в прудки при глубине воды 20 см.

Для крепления верхового откоса плотины в карьерах крупный камень отбирался с небольшим количеством мелких камней и перевозился на плотину автосамосвалами, где он вываливался на откос отдельными ярусами по высоте плотины.

В сооружении гидроузла заложена следующая контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры, поверхностные реперы, реперы-марки, реперы на горизонтальных бетонных плоскостях и опорные береговые реперы-тумбы. В верхнем и нижнем бьефах установлены поплавковые колодцы для фиксации горизонтов воды.

Пьезометры заложены под экраном и понуром набросной плотины, под флютбетом и водобойным колодцем бетонной плотины, по тыловым граням обоих устоев плотины и на правом берегу.

По сооружениям гидроузла выполнены следующие объемы основных работ: выемка грунта — 2,76 млн. м<sup>3</sup>, в том числе скалы — 1,7 млн. м<sup>3</sup>, насыпь грунта — <0,80 млн. м<sup>3</sup>, в том числе отсыпкой в воду — 0,36 млн. м<sup>3</sup>, каменная наброска, крепления откосов, дренажи и фильтры — 1,56 млн. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 240 тыс. м<sup>3</sup>; смонтировано металлоконструкций и подъемных механизмов 3,05 тыс. т и гидросилового и электротехнического оборудования 0,97 тыс. т.

# КИЕВСКАЯ ПЛОТИНА

Киевская гидроэлектростанция является верхней ступенью каскада ГЭС на Нижнем Днепре. Створ гидроузла расположен выше устья р. Десны; ширина долины в районе гидроузла составляет 18 км. Киевское водохранилище при полном объеме 3 730 млн.  $m^3$  и полезной емкости 1620 млн.  $m^3$  будет регулировать сток только Днепра (без Десны).

В состав сооружений гидроузла входят: здание гидростанции, совмещенное с водосливной плотиной, судоходные сооружения, земляные плотины и дамбы, гидроаккумулирующая электростанция. Сооружения гидроузла попользуются для автодорожного и железнодорожного переходов.

В районе створа коренной правый берег подходит вплотную к реке, а само русло Днепра делится островом на правобережный проток и левобережное основное русло. Правобережное примыкание осуществляется земляной плотиной, которая левым плечом примыкает к судоходному шлюзу. Между судоходным шлюзом и ГЭС намывается земляная плотина. Левобережная земляная плотина проходит по повышенным отметкам прирусловой части междуречья, поверхность которой медленно повышается по длине створа.

Водосливная ГЭС-плотина протяженностью 285,5 м, расположенная на песчаных грунтах, сопрягается с земляными плотинами посредством железобетонных ячеистых устоев. ГЭС-плотина обеспечивает пропуск расчетного максимального расхода повторяемостью 1 раз в 333 года 14 300  $m^3/сек$ , а также безаварийный пропуск паводков повторяемостью 1 раз в 10 000 лет 19 500  $m^3/сек$ . Удельные расходы на водо-

бое при пропуске расчетного расхода не превышают 50  $m^3/сек$ .

Поверхностные водосливы с широким порогом и коэффициентом расхода 0,37 пропускают расход 9 940  $m^3/сек$ , а через турбины проходит 4 360  $m^3/сек$ .

Весь фронт ГЭС-плотины разбит на 20 отверстий по 12 м. По длине ГЭС-плотина разрезана температурно-осадочными швами на пять секций; в каждой из них размещены четыре поверхностных водосброса и четыре горизонтальных агрегата.

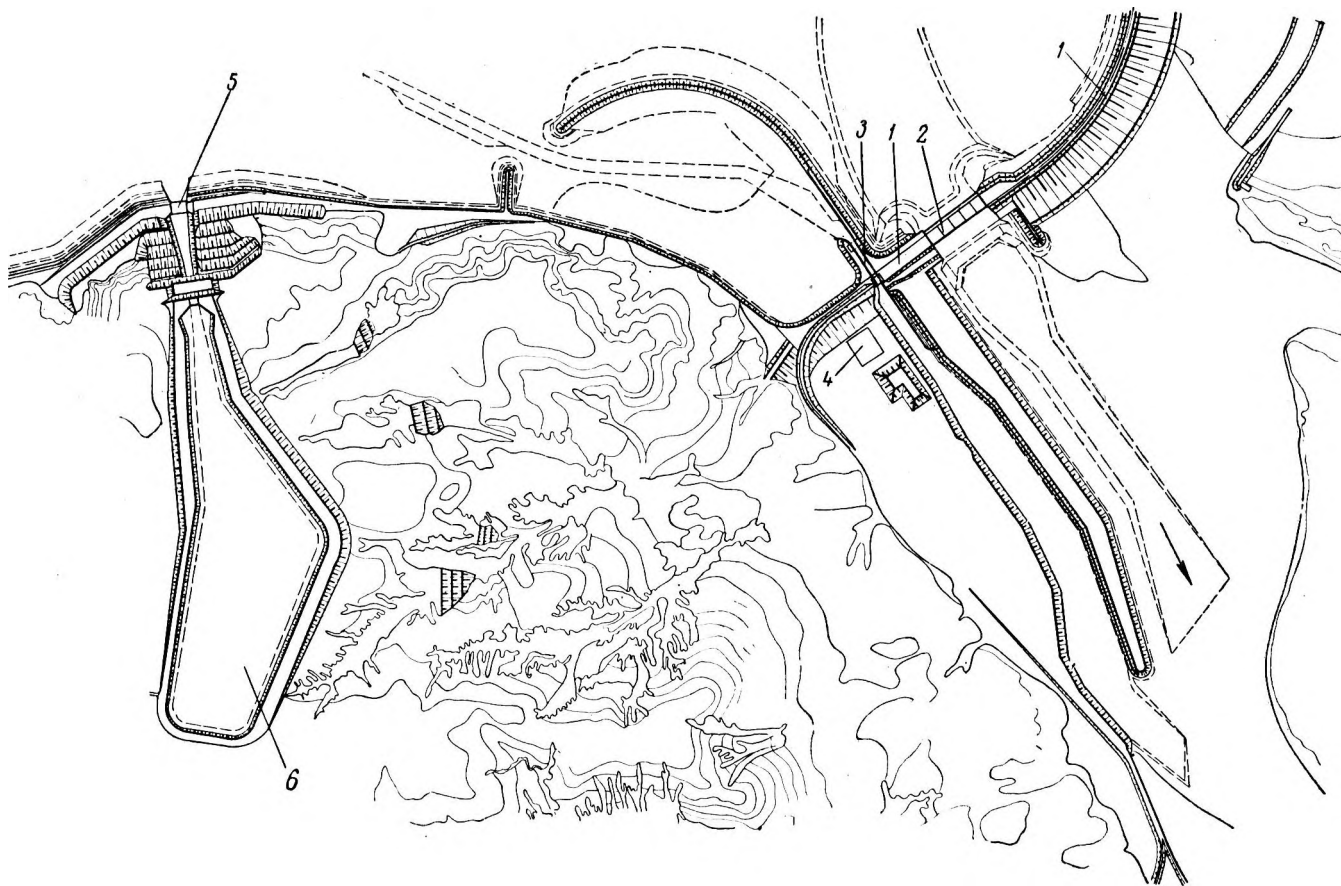
В вертикальных швах предусмотрены уплотнения из резины с утолщениями и битумные шпонки. Все промежуточные бычки секции имеют толщину 1,8 м, межсекционные—3,7 м. В теле фундаментной плиты имеется смотровая галерея, в которой размещаются насосы для откачки дренажных вод. В целях снижения фильтрационного давления на подошву ГЭС-плотины предусматриваются устройство глиняного понура длиной 24 м и забивка металлического шпунта под верхним зубом фундаментной плиты. Шпунт забивается на 2 м в верхний горизонт нижней пачки бучакских песков с коэффициентом фильтрации 3—5  $m/сутки$ . В основании фундаментной плиты с верхнего бьефа предусмотрен двухслойный обратный фильтр с выводом дренажных вод в нижний бьеф. Предпунурное крепление состоит из каменной наброски. В нижнем бьефе в состав крепления входят железобетонные водобой и рисберма, а также ковш рисбермы из каменной наброски, что должно обеспечить стабилизацию откосов во-

ронки размыва. Размыв за креплением может достигать кровли мергеля, т. е. отметки 35 м.

Фундаментная плита выполняется из монолитного железобетона. До 70% объема железобетонных конструкций выше фундаментной плиты будут выполнены из сборных элементов весом до 20—30 т и тавровых балок весом до 55 т. Расход арматуры по ГЭС-плотине в среднем составляет 85 кг/м<sup>3</sup>.

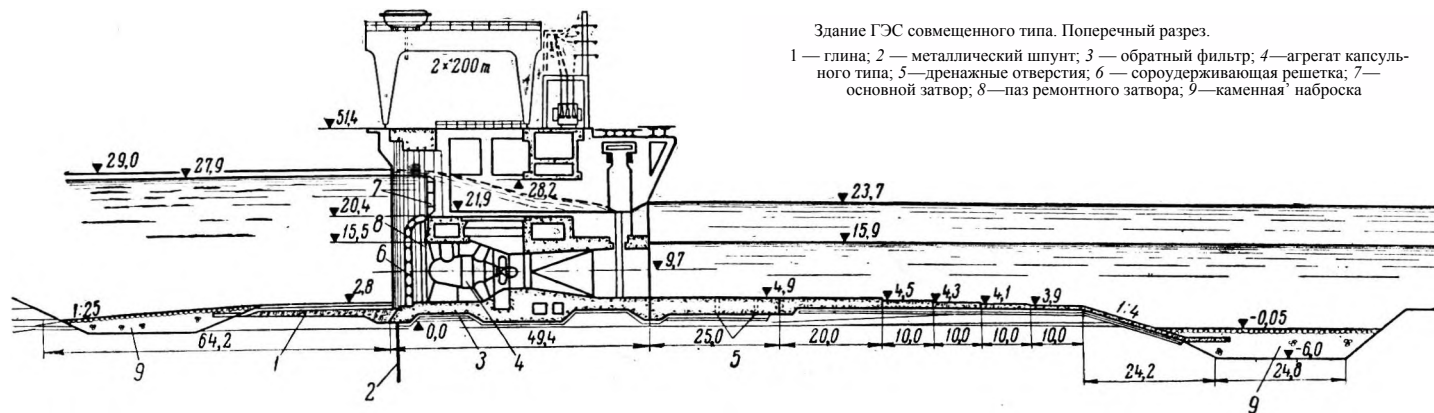
Коэффициент устойчивости против сдвига колеблется от 1,28 до 1,45 в зависимости от расчетного случая. Напряжения в основании у верхней грани 0,8—1,1 кг/см<sup>2</sup> и у нижней грани 2,1—2,9 кг/см<sup>2</sup>.

При возведении ГЭС-плотины предусматривается закладка контрольно-измерительной аппаратуры для наблюдения за фильтрационным режимом в основании, за осадками, накло-



План.

1 — земляная плотина; 2 — здание ГЭС совмещенного типа; 3 — судоходный шлюз; 4 — ОРУ 330 кВ; 5 — гидроаккумулирующая ГЭС; 6 — аккумуляющий бассейн.



нами и горизонтальными смещениями, за деформацией температурно-осадочных швов, за статической работой железобетонных конструкций.

Общая длина земляной плотины 40,9 км, а с участками безнапорной дамбы—54,0 км. Максимальная высота плотины 19,0 м.

К правому берегу плотина примыкает врезкой длиной до 200 м. На левом берегу плотина в нескольких местах прерывается возвышенными естественными навесными ветрами грядами.

В основании плотины залегают аллювиальные пески с коэффициентом фильтрации 7,5—30 м/сутки.

Плотина возводится намывом из мелкозернистого песка с коэффициентом фильтрации 20 м/сутки и объемным весом скелета 1,58—1,64 т/м<sup>3</sup>. Угол внутреннего трения: сухого — 30°, мокрого — 28°. Коэффициент устойчивости откосов: в строительный период—1,11, в эксплуатационный—1,3.

Верховой откос плотины высотой более 5—6 м от верха до бермы крепится монолитными армированными бетонными плитами толщиной 0,20—0,35 м с размерами в плане 12X12 и 14X14 м. Расход арматуры на 1 м<sup>3</sup> бетона не более 28 кг. Плиты укладываются на однослойную подготовку толщиной 0,1—0,25 м. Ниже бермы до подошвы откос уполаживается до волноустойчивого заложения 1 :50 и не крепится. На уча-

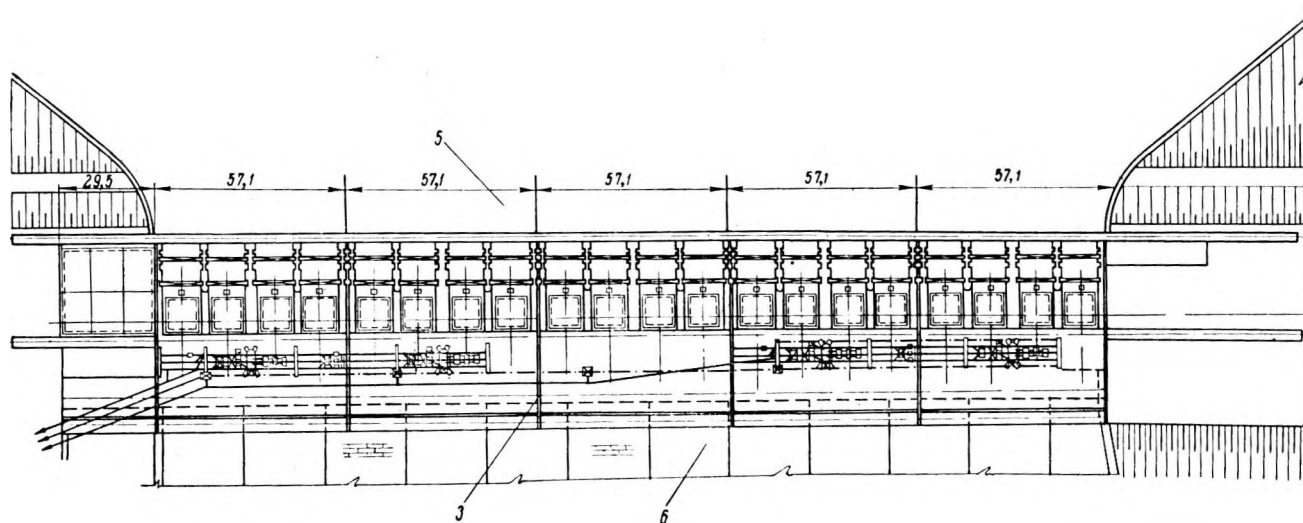
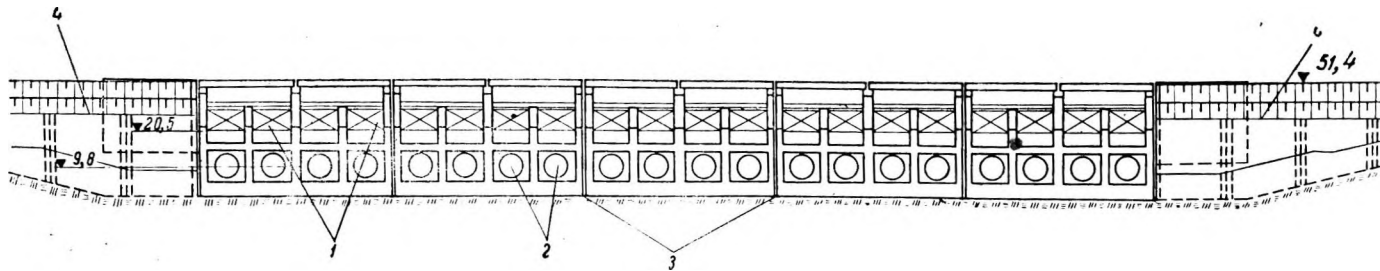
стках плотины высотой менее 5—6 м верховой откос принят без креплений с волноустойчивым заложением 1 :50. В зонах возможной интенсивной миграции грунта предусмотрены каменные буны и волноломы.

Предусмотрены облегченный трубчатый дренаж и фильтрующая пригрузка откоса 1 :4 общей толщиной 0,5—0,7 м в зоне суточного колебания горизонтов воды в нижнем бьефе. Применение облегченного дренажа представилось возможным за счет уположения низового откоса до 1 : 15—1 : 30. Все сухие откосы и гребень плотины закрепляются посевом трав, посадкой деревьев и кустарников.

Пойменная компоновка гидроузла позволяет осуществить строительство основных сооружений в одну очередь под защитой земляных ограждающих перемычек. Строительство гидроузла начато в 1960 г.

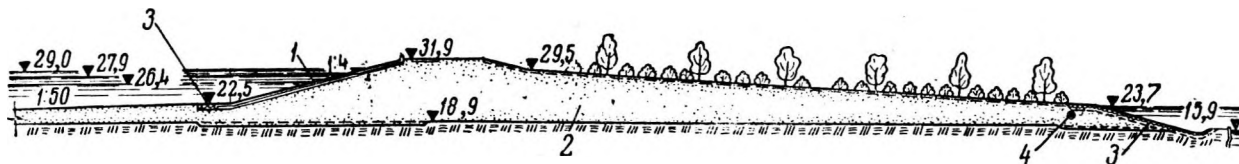
Строительство намечено осуществить в три этапа. Первый этап: 1960 г.—сентябрь 1963 г. В этот период завершаются основные работы по электроснабжению строительства, строительству дорог и подсобных предприятий, заканчивается выемка гидромеханизацией котлована шлюза с одновременным намывом ограждающих перемычек и земляной правобережной плотины; с мая 1962 г. начинается монтаж сборного железобетона по водосливной плотине-гидростанции и выполняются бетонные работы до 90%; ведутся работы по намыву





Здание ГЭС совмещенного типа

*a*—вид с нижнего бьефа; *б*—план; 1 — годосливные отверстия; 2—отверстия отсасывающих труб; 3—температурно-осадочные швы; 4—земляные плотины; 5—понур; 6—водобой.



Земляная плотина.

1 — армированные бетонные плиты; 2 — мелкозернистый песок; 3 — мощение камнем на слое щебня; 4 — трубчатый дренаж (29,0 — ФПУ; 27,9 — НПУ; 26,4 — УМО; 23,7 — макс. УНБ; 15,9 — мин. УНБ).

левобережных земляных сооружений и разработка каналов гидромеханизацией. После пропуска весеннего паводка 1963 г. будут намываться островная и русловая плотины.

Второй этап: сентябрь 1963 г. — январь 1964 г. Важнейшими работами являются перекрытие основного русла Днепра и намыв русловой плотины. С октября под защитой затворов со стороны верхнего бьефа начинается наполнение водохранилища до промежуточной отметки на 5 м ниже НПУ, что обеспечит пуск первых агрегатов при напоре 5,3 м; ведется монтаж гидрогенераторов, продолжаются работы по намыву земляных плотин, креплению напорных откосов, устройству дренажей.

Третий этап является завершающим в строительстве гидроузла. За этот период заканчивается весь комплекс работ по гидроузлу. Весенним паводком 1964 г. производится наполнение водохранилища до НПУ. С июня по декабрь 1964 г. производится пуск ГЭС на полную мощность.

Строительные расходы на первом этапе строительства пропускаются по основному руслу и пойме, стесненным перемычками. После перекрытия русла banquetом в сентябре 1963 г. расходы будут пропускаться через донные отверстия ГЭС.

Расчетные величины строительных расходов приняты следующие: весенний паводок повторяемостью 1 раз в 20 лет — 9 960 м<sup>3</sup>/сек и меженный расход — 1000 м<sup>3</sup>/сек. Поверочный расход принят для весеннего паводка повторяемостью 1 раз в 100 лет 13 100 м<sup>3</sup>/сек.

Объемы основных строительных работ следующие: выемка — 25 100 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе гидромеханизацией — 12 600 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь — 50 400 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе гидромеханизацией — 42 900 тыс. м<sup>3</sup>, наброска, дренажи и фильтры — 1 250 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 813 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе: монолитного — 623 тыс. м<sup>3</sup>, сборного — 101 тыс. м<sup>3</sup> и замоналичивающего — 89 тыс. м<sup>3</sup>.

## КРЕМЕНЧУГСКАЯ ПЛОТИНА

Кременчугская ГЭС установленной мощностью 625 тыс. *квт* входит в состав каскада ГЭС на Днепре. Ее водохранилище при полном объеме 13,5 млрд. *м<sup>3</sup>* имеет полезную емкость 9 млрд. *м<sup>3</sup>*, достаточную для осуществления полного годового и частично многолетнего регулирования стока.

Длина створа гидроузла составляет 12,4 *км*. В состав сооружений входят: здание ГЭС, водосливная плотина, судоходный шлюз и земляная плотина. Сооружения гидроузла используются для железнодорожного и автомобильного переходов.

Основанием бетонных сооружений являются порфировидные граниты. В основании земляной плотины залегают аллювиальные пески мощностью в пойме от 5 до 16 *м*, на второй террасе — от 17 до 28 *м*.

Основание бетонных сооружений врезано в толщу гранитов и располагается в зоне средней и малой трещиноватости. Среднее значение предела прочности скалы — около 800 *кГ/см<sup>2</sup>*. Средний коэффициент фильтрации 2,79 *м/сутки*.

Бетонная водосливная плотина высотой 36,0 *м* и длиной 191,5 *м* примыкает с травой стороны непосредственно к зданию гидростанции и с левой к островной земляной плотине. Водосливная плотина сопрягается с земляной посредством сопрягающего устоя.

Длина водосливно-го фронта плотины определена из условия пропуска расчетного паводка повторяемостью 1 раз в 1000 лет, равного с учетом трансформации паводка водохранилища 25 400 *м<sup>3</sup>/сек*. Через водосливную плотину сбрасывается

20 350 *м<sup>3</sup>/сек* и через турбины 5 050 *м<sup>3</sup>/сек*. Водосливной фронт разбит на 10 отверстий по 16 *м*. По длине плотина разрезана температурно-осадочными швами, которые отрезают бычки от водослива.

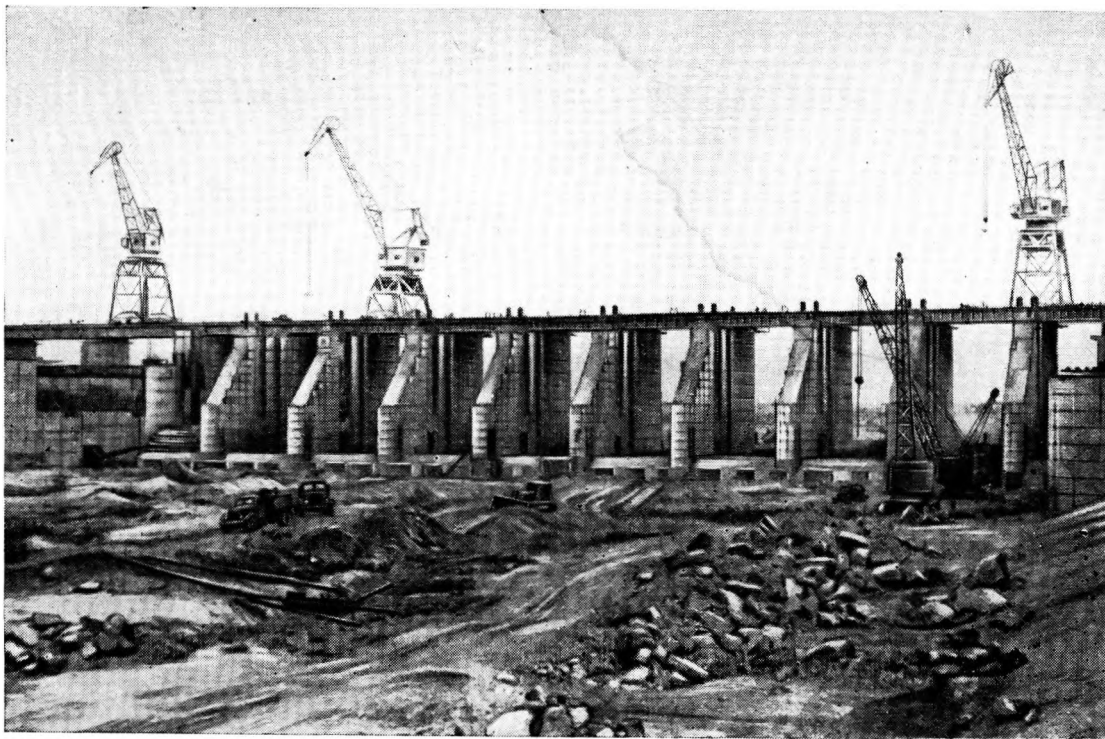
Массив тела плотины не армирован и только по водосливной грани уложена арматурная сетка, предназначенная для предупреждения и уменьшения раскрытия температурно-осадочных трещин. Расход арматуры на 1 *м<sup>3</sup>* 3,4 *кг*.

Ширина бычков 3,5 *м*. При бетонировании бычков широко применялись плиты-оболочки и массивные бетонные облицовочные блоки. Бычки армированы по условиям прочности пространственными армофермами со стороны верхнего бьефа и в средней части с пазовыми конструкциями. Установка закладных частей в пазах была выполнена методом бесштрабного бетонирования.

В теле водослива и бычков проходит галерея для инспекционного осмотра состояния бетона, сбора и отвода фильтрующейся воды, размещения дренажного коллектора и выводов контрольно-измерительной аппаратуры.

Вертикальные швы перекрыты уплотнениями из профильной резины толщиной 1 *см* и шириной 25 *см* с утолщениями на концах и в середине.

Для гашения энергии потока, удельный расход которого составляет 106 *м<sup>3</sup>/сек* на 1 *пог. м*, устроен водобойный колодец глубиной 3,5 *м* с прорезным порогом, установленным на расстоянии 2,5 *м* от носка плотины. Для снижения фильтрационного давления на подошву плотины устроен вертикаль-



Строительство плотины.

ный дренаж из одного ряда скважин глубиной 17 м и диаметром 107 мм. Устье скважин выходит в уложенный в дренажной галерее коллектор, отводящий воду в нижний бьеф.

При высокой естественной плотности пород (незначительной трещиноватости) устройства сплошной цементационной противофильтрационной завесы не потребовалось. Однако возможность наличия отдельных трещин и зон с повышенной водопроницаемостью заставила произвести бурение и цементацию сетки разведочных скважин с шагом 4 м.

Сборный железобетон в конструкциях водосливной плотины применялся в виде плит-оболочек, массивных бетонных облицовочных блоков, предварительно напряженных балок

моновых переходов, тротуарных консолей и пр. Общий объем сборных элементов составил около 4 тыс. м<sup>3</sup>.

Коэффициенты устойчивости против сдвига для катастрофического случая составляют для водослива 1,1, для бычка 1,15. Напряжения в подошве не превышают на низовой грани водослива 1,6 кГ/см<sup>2</sup>, бычка — 9,7 кГ/см<sup>2</sup>. На верховой грани бычков допущены незначительные растягивающие напряжения порядка 1,1 кГ/см<sup>2</sup>.

На водосливной плотине установлена контрольно-измерительная аппаратура для наблюдений за фильтрацией воды в основании плотины и швах, за давлением потока на водосливную грань и гаситель энергии, для измерения общих де-



формаций в плотине и напряжений в арматуре бычков и анкерах.

Земляная плотина общей протяженностью 10,7 км состоит из следующих участков: основного, перекрывающего русло и поймы Днепра и примыкающего к устью водосливной плотины и левому берегу и двух небольших участков на правом берегу — между зданием ГЭС и шлюзом и между шлюзом и правым берегом.

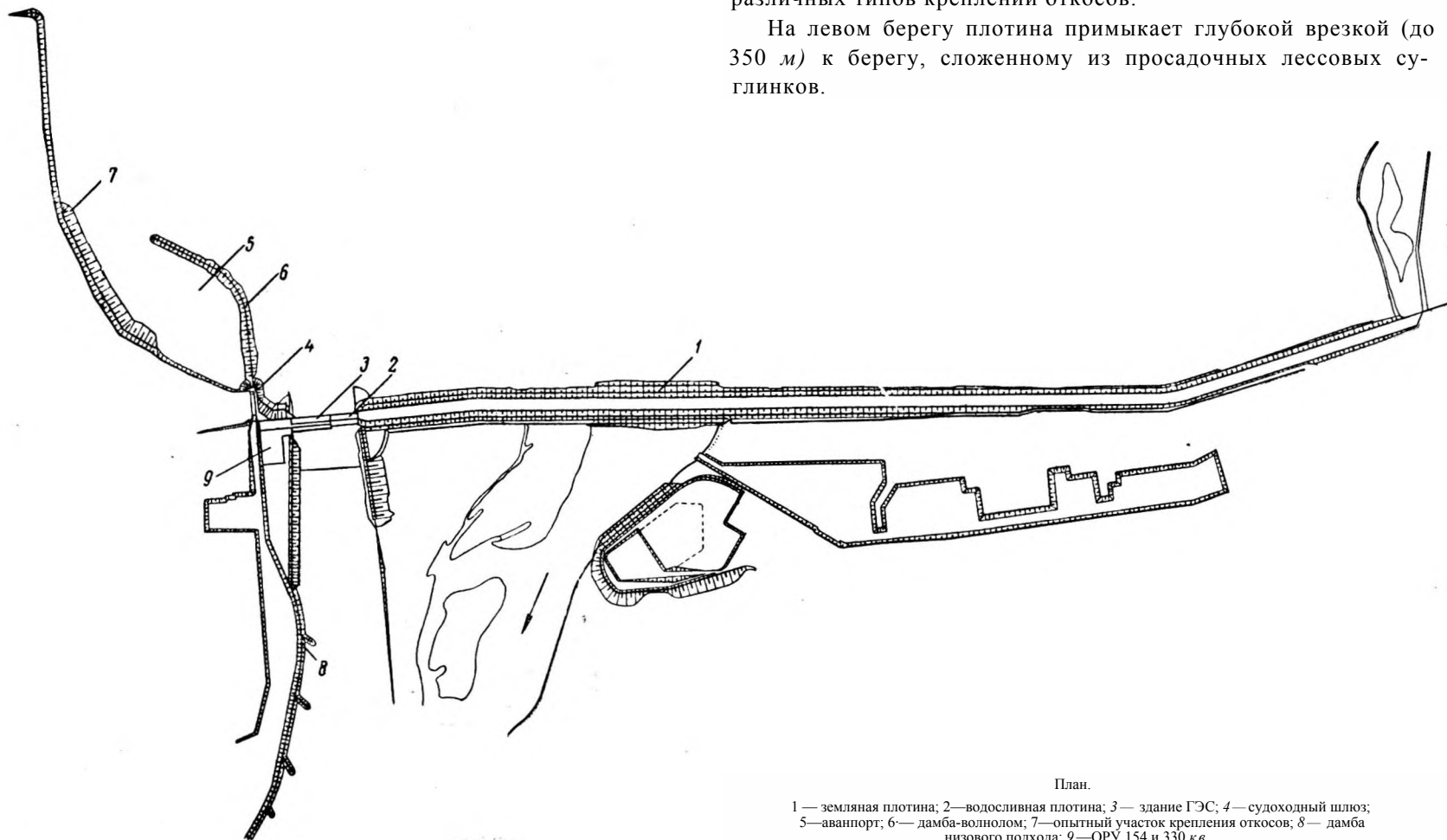
Максимальная высота плотины 29,5 м, верховой откос 1 : 4—1 : 5 и низовой откос 1 : 2,25—1 : 4.

Расчетная высота волны 3,8 м, ветровой нагон 1,20 м.

В основании плотины залегают аллювиальные мелкозернистые -пески с коэффициентом фильтрации 7—20 м/сутки мощностью 6—18 м, подстилаемые мергелем.

На правом берегу плотина примыкает к Табурищенскому мысу, на котором создан опытный участок для исследования различных типов креплений откосов.

На левом берегу плотина примыкает глубокой врезкой (до 350 м) к берегу, сложенному из просадочных лессовых суглинков.

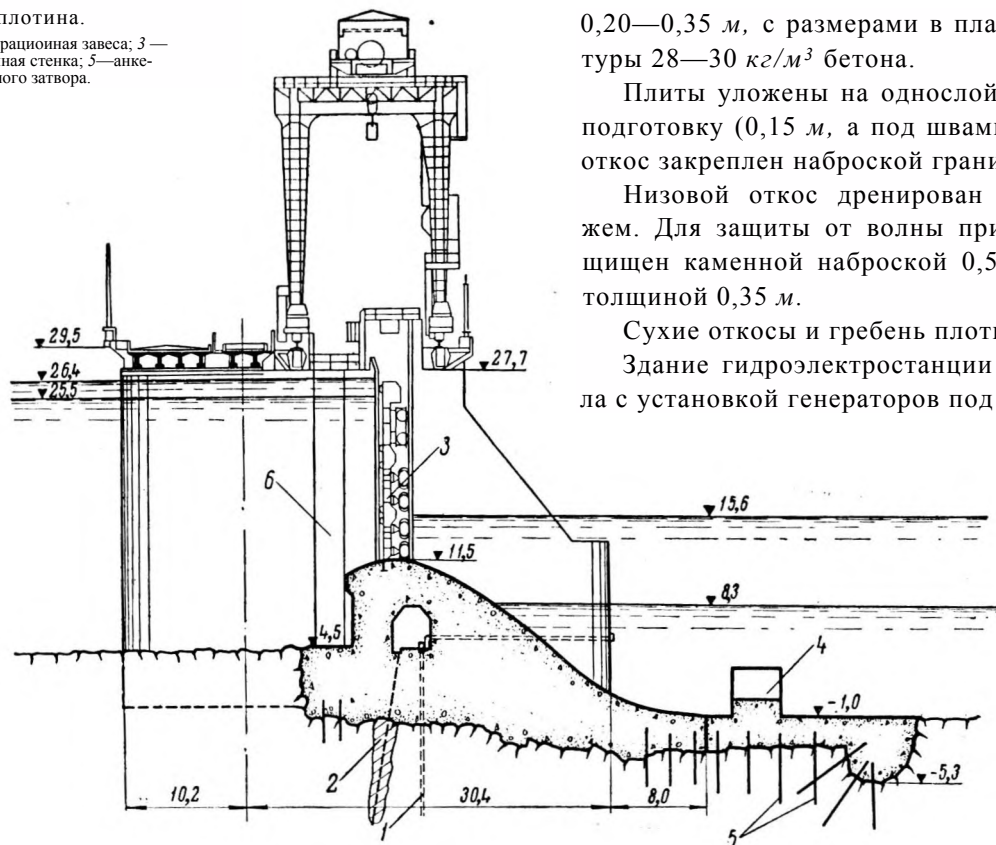


План.

1 — земляная плотина; 2 — водосливная плотина; 3 — здание ГЭС; 4 — судовой шлюз; 5 — аванпорт; 6 — дамба-волнолом; 7 — опытный участок крепления откосов; 8 — дамба низового подхода; 9 — ОРУ 154 и 330 кв.

### Водосливная плотина.

1 — дренаж; 2 — противофильтрационная завеса; 3 — основной затвор; 4 — водобойная стенка; 5 — анкеры; 6 — паз ремонтного затвора.



Плотина намыта из песчаных мелкозернистых прнтоф. Коэффициент фильтрации 15—20 м/сутки. Объемный вес скелета 1,58—1,64 т/м<sup>3</sup>, за исключением намытого иод воду руслового участка, где он составляет 1,41 —1,50 т/м<sup>3</sup>. Угол внутреннего трения при естественной влажности 30°, под водой 28°30'. Осадки основания и тела плотины стабилизировались в основном за строительный период.

Коэффициенты устойчивости откосов в строительный период 1,15—1,24, в эксплуатационный: низового— 1,35, верхового— 1,80. Верховые откосы от верха до бермы закреплены монолитными бетонными армированными плитами толщиной

0,20—0,35 м, с размерами в плане 14X14 м и расходом арматуры 28—30 кг/м<sup>3</sup> бетона.

Плиты уложены на однослойную фильтровую щебеночную подготовку (0,15 м, а под швами — 0,3 м). От бермы до низа откос закреплен наброской гранитной массы.

Низовой откос дренирован закрытым трубчатым дренажем. Для защиты от волны при паводках низовой откос защищен каменной наброской 0,5—0,8 м на двух слоях щебня толщиной 0,35 м.

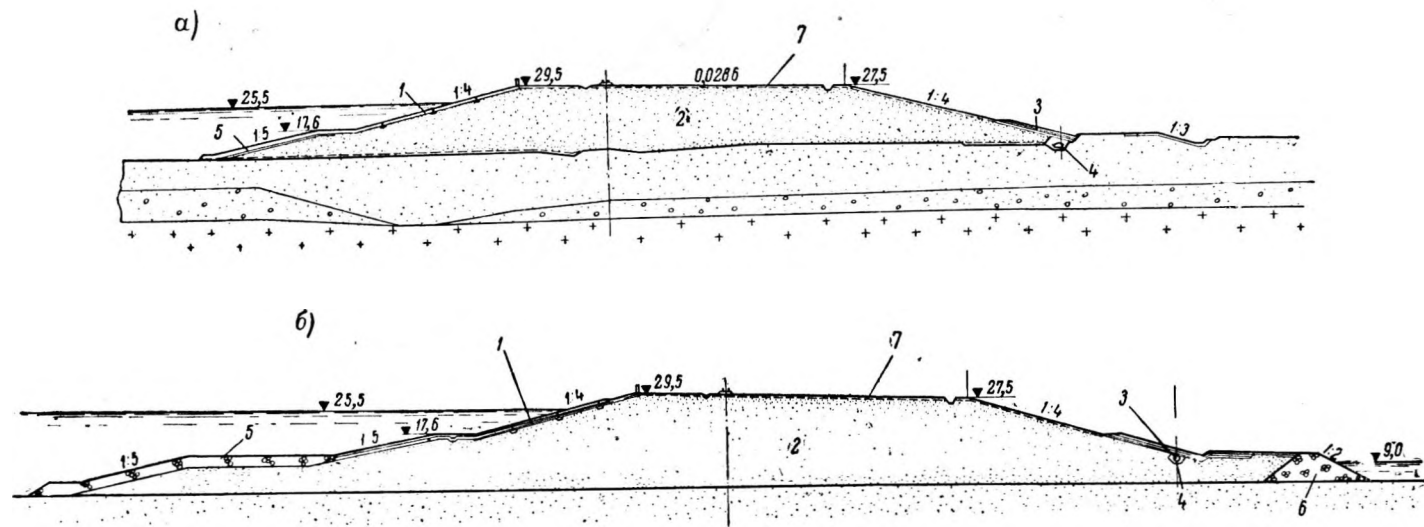
Сухие откосы и гребень плотины укреплены посевом трав.

Здание гидроэлектростанции построено без машинного зала с установкой генераторов под специальными колпаками

с обслуживанием 500-г козловым краном. Монтажная площадка закрытая, но с разборной кровлей и низким расположением пола. В здании ГЭС установлены 12 агрегатов с поворотнлопастными турбинами.

Строительство гидроузла осуществлялось в четыре этапа.

Первый этап: апрель 1954 г.—октябрь 1959 г., т. е. с начала строительства до перекрытия основного русла Днепра и затопления котлована бетонных сооружений. К концу этого этапа, т. е. к моменту разборки перемычек и затоплению котлована, было выполнено 73,1 % всех бетонных работ, в том числе: по зданию гидростанции и водосливной плотине — 90%,



Земляная плотина.

а — левобережная часть; б — русловая часть; — железобетонные плиты на щебне; 2 — мелкозернистый песок; — наклонный дренаж; 4 — трубчатый дренаж с обратным фильтром; 5 — каменная наброска; 6 — каменный банкет; 7 — одерновка (26,4 — ФПУ; 25,5 — НПУ; 15,6 — макс. УНБ; 8,3 — мин. УНБ).

по судоходным сооружениям — 78% и по креплению напорных откосов земляных плотин — 50%.

Второй этап — октябрь — 31 декабря 1959 г. В этот период было перекрыто русло Днепра, наполнено водохранилище до отметки 71,00 и в ноябре — декабре осуществлен пуск первых двух агрегатов при напоре 7 м.

Третий этап — январь — апрель 1960 г. В течение этого периода выполнены работы, необходимые для обеспечения наполнения водохранилища весной 1960 г. до отметки 78,00.

Четвертый этап — май 1960 г.—декабрь 1961 г. Завершены все работы по гидроузлу и водохранилищу. К сентябрю 1961 г. все 12 агрегатов введены в эксплуатацию, а водохранилище наполнено до проектной отметки.

На первом этапе строительные расходы пропускались по левому руслу Днепра и пойме, сжатой перемычками и насыпями левобережной плотины; после закрытия левого протока

меженные расходы пропускались через гребенку водосливной плотины. Судоходство в этот период осуществлялось по временному судоходному каналу и через шлюз при пониженной отметке порога верхней головы.

Расчетные величины строительных расходов были приняты следующие: весенний паводок повторяемостью 1 раз в 20 лет — 15 000 м<sup>3</sup>/сек, меженный расход повторяемостью 1 раз в 100 лет — 2 500 м<sup>3</sup>/сек. Поверочный расход был принят для весеннего паводка повторяемостью 1 раз в 100 лет 20 300 м<sup>3</sup>/сек.

На строительстве выполнены следующие объемы работ: выемка мягких грунтов 23 800 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе гидромеханизацией — 18 600 тыс. м<sup>3</sup>, выемка скалы — 870 тыс. м<sup>3</sup>, насыпей — 36 000 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе гидромеханизацией — 32 900 тыс. м<sup>3</sup>, бетона и железобетона — 1 250 тыс. м<sup>3</sup>, креплений камнем и дренажей — 1 780 тыс. м<sup>3</sup>.

# ПЛОТИНА ДНЕПРОВСКОЙ ГЭС имени В. И. ЛЕНИНА

Днепровская гидроэлектростанция имени В. И. Ленина является первой гидроэлектростанцией, построенной на Днепре по плану ГОЭЛРО для электроснабжения Донецко-Криворожского района. ГЭС была введена в действие в 1932 г. Созданное ею водохранилище объемом 3 млрд.  $m^3$  перекрыло порожистый участок реки и сделало возможным сквозное судоходство по Днепру. Мощность ГЭС 650 тыс. *квт*, среднегодовая выработка электроэнергии 3,6 млрд. *квт · ч*. Максимальный напор ГЭС составляет 38,5 м.

Общая длина подпорного фронта сооружений гидроузла 1 300 м. В состав гидроузла входят: водосливная и глухие бетонные гравитационные плотины, здание ГЭС с открытым распределительным устройством, судоходный трехкамерный шлюз и порт в верхнем бьефе.

Плотина Днепровской ГЭС расположена на участке, позволяющем по геологическим и топографическим условиям использовать весь перепад порожистой части Днепра. Скальные берега обеспечивают в этом месте (хорошее примыкание плотины к берегу, а наличие в русле островов, разбивающих русло на три протока, облегчило условия производства работ.

Гидрологический режим Днепра характеризуется неравномерностью распределения стока в году. Основная масса воды (64%) проходит в период весеннего половодья в течение 4 мес. Пик паводка проходит в конце апреля — начале мая. Продолжительность ледостава 115 дней. Расчетные паводковые расходы повторяемостью 1 раз в 1 000 лет 39 700  $m^3/сек$ .

В створе (гидроузла русло и берега Днепра сложены докембрийскими кристаллическими породами, высокопрочными гранито-гнейоами и гранитами.

Бетонная водосливная плотина гравитационного типа (длина по гребню 760 м, высота 62 м) криволинейного очертания в плане обеспечивает пропуск значительных паводковых расходов за счет увеличения водосливногo фронта.

Плотина имеет 47 водосливных отверстий шириной по 13 м, перекрытых плоскими затворами высотой 9,7 м и весом 42 т. Пропускная способность одного отверстия при нормальном подпорном уровне 820  $m^3/сек$ . Маневрирование затворами производится с помощью двух порталных 200-г кранов.

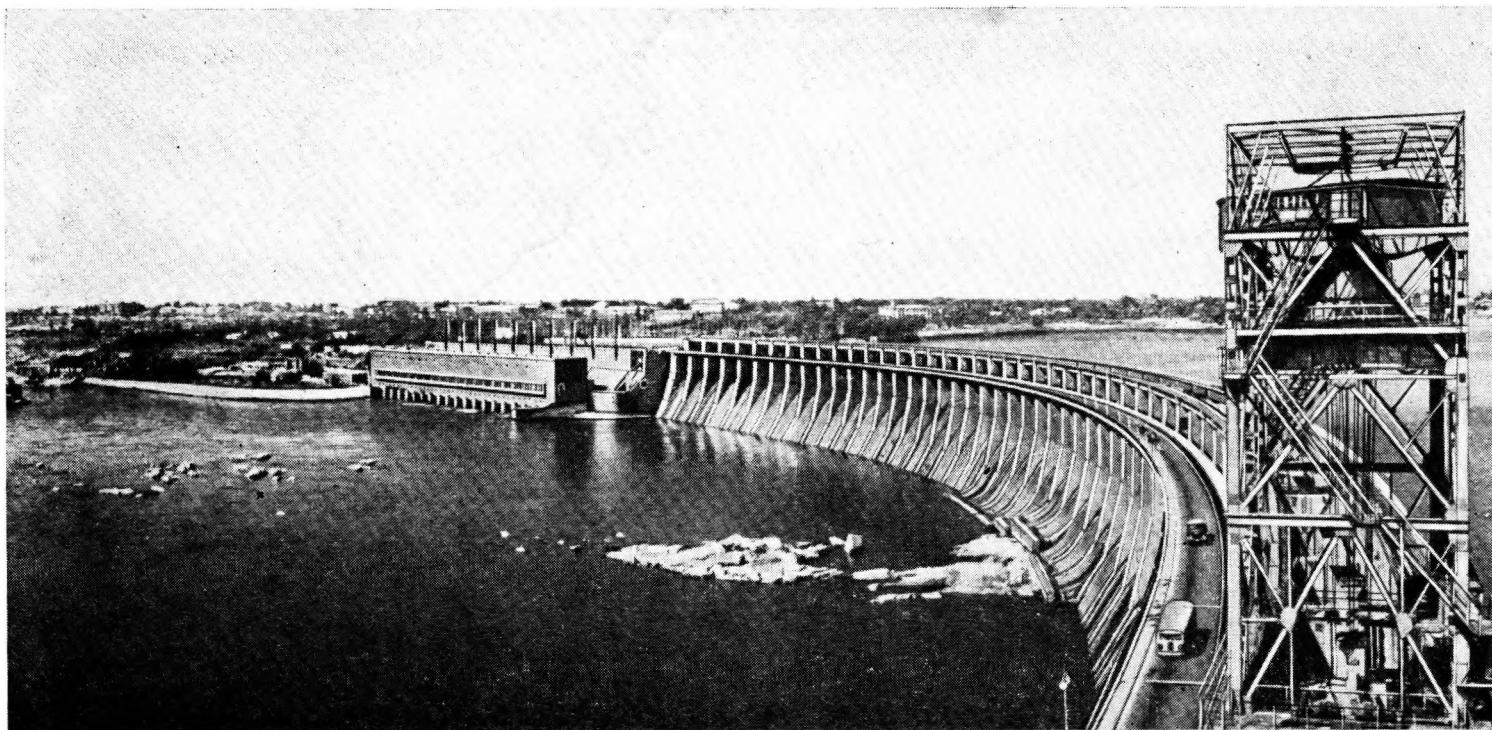
Со стороны правого берега водосливная плотина примыкает к сопрягающему устью гидроэлектростанции, а со стороны левого берега — к верхней голове шлюза посредством глухой бетонной плотины. Напорная грань плотины вертикальна.

Сопряжение водосливной грани с нижним бьефом осуществляется посредством водосливногo носка и обеспечивает наименьшие размывающие скорости в нижнем бьефе вследствие образования поверхностного прыжка.

В теле плотины предусмотрена дренажная система, состоящая из вертикальных дрен диаметром 16 см, расположенных на расстоянии 6,0 м от верховой (грани плотины и двух смотровых галерей.

Собранная по дренам вода стекает в продольный кювет



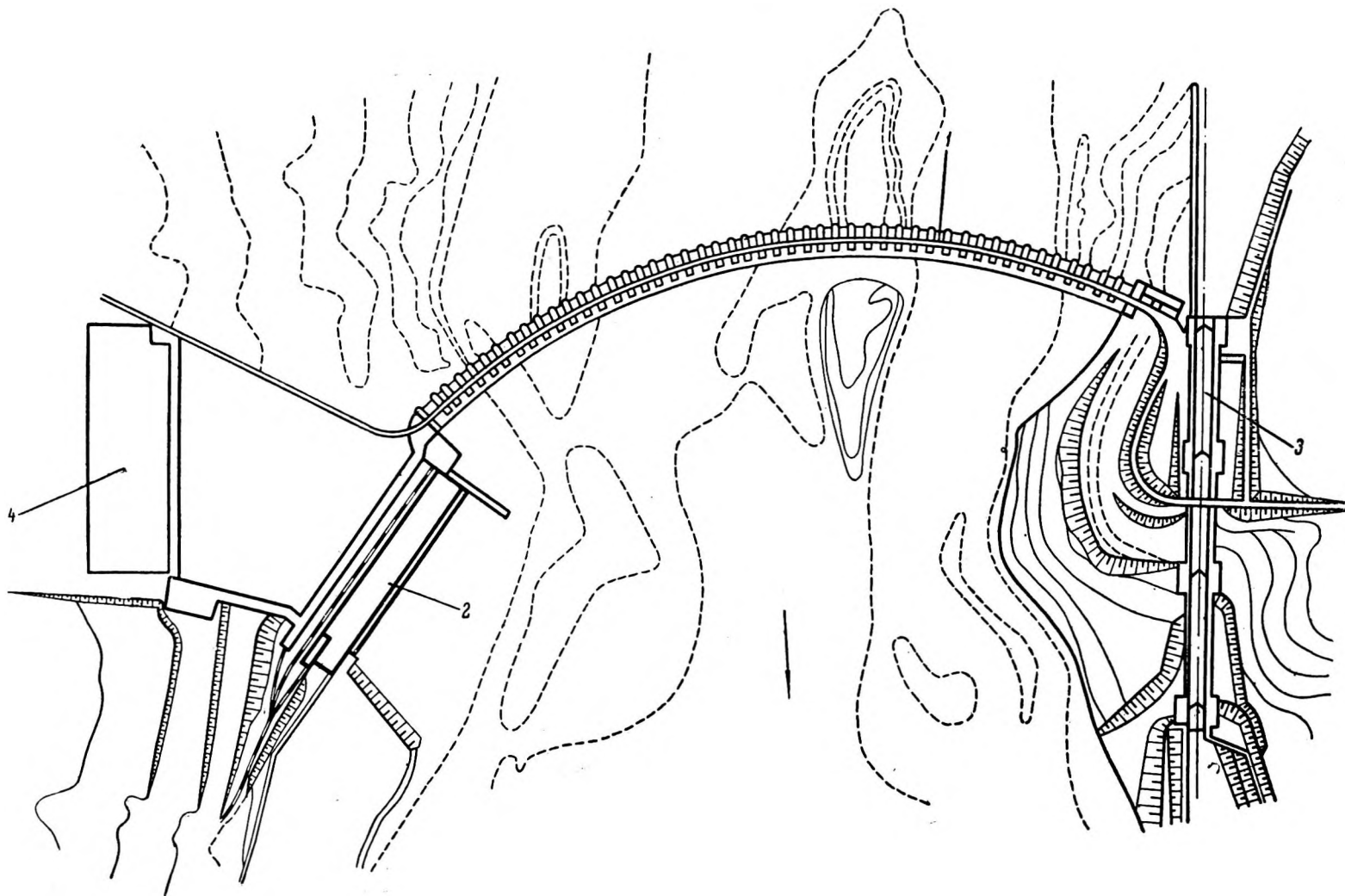


Общий вид.

нижней галереи, откуда она отводится в нижний бьеф посредством поперечных водоотводных труб диаметром 50 см, расположенных по одной в каждом пролете. В верхнем конце трубы под полом нижней галереи имеется отстойник размером 1,3X0,3 м и глубиной 0,5 м, перекрытый съемной бетонной плитой. Верхняя смотровая галерея шириной 3,5 м имеет потолок полуциркульного очертания радиусом 1,75 м. Высота галереи по осевой линии 3,5 ж. Нижняя смотровая галерея имеет ширину 1,5 ж и высоту 2,2 ж.

Быки плотины для усиления профиля выдвинуты в сторону верхнего бьефа на 4,5 м от напорной грани плотины. В выступающих частях быков расположены пазы для временных затворов, за которыми после разборки перемычки производилась бетонировка пролетов плотины.

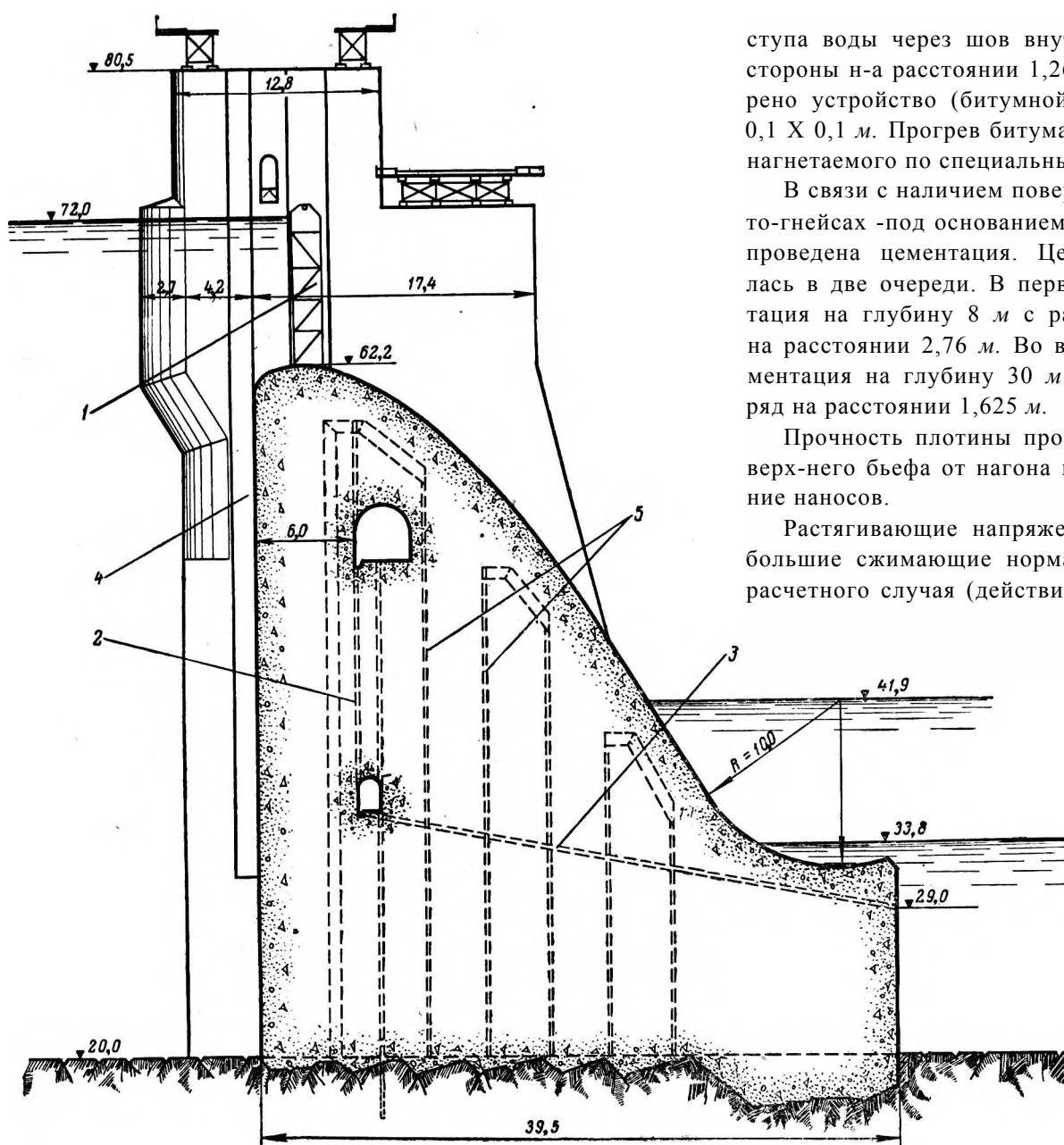
Тело плотины разбито температурными швами по граням быков и по осям пролетов на секции длиной 6,5 и 3,25 ж. Поверхность температурного шва вдоль наружной грани плотины имеет оклеечную гидроизоляцию. Для предотвращения до-



План.

1 — водосливная плотина; 2 — здание ГЭС; 3 — судоходный шлюз; 4 — ОРУ,





ступа воды через шов внутрь бетонного массива с верхней стороны н-а расстоянии 1,26 м от -напорной грани предусмотрено устройство (битумной шпонки. Размер шпонки в плане 0,1 X 0,1 м. Прогрев битума осуществляется посредством пара, нагнетаемого по специальным трубам.

В связи с наличием поверхностной трещиноватости в гранито-гнейсах -под основанием плотины в его верхней части была проведена цементация. Цементация основания осуществлялась в две очереди. В первую очередь производилась цементация на глубину 8 м с расположением скважин в три ряда на расстоянии 2,76 м. Во вторую -очередь производилась цементация на глубину 30 м с расположением скважин в один ряд на расстоянии 1,625 м.

Прочность плотины проверена на повышение уровня воды верх-него бьефа от нагона воды и волны на 1,1 м и на давление наносов.

Растягивающие напряжения в плотине отсутствуют. Наибольшие сжимающие нормальные напряжения для основного расчетного случая (действие собственного веса, воды при повышенном горизонте, -наносов) составляют  $9,8 \text{ кг/см}^2$ , наименьшие—  $2,5 \text{ кг/см}^2$ . Коэффициент устойчивости плотины на сдвиг без учета сцепления бетона со скалой при нормальных условиях эксплуатации равен единице.

Водосливная плотина.

- 1 — основной затвор; 2—дренажные трубы; 3— водоотводящая труба; 4 паз временных щитов; 5—контрольные трубы (72,0 — НПУ; 41,90—макс. УНБ; 33,80— мин. УНБ).

Общий объем бетона, уложенного в плотину, составляет 732 тыс.  $m^3$ . Армирование (конструктивное) предусмотрено на водосливном носке, а также по периметру смотровых галерей и вертикальных шахт, соединяющих верхнюю и нижнюю смотровые галереи.

Бетонирование плотины Днепровской ГЭС осуществлялось по ярусной схеме с перевязкой вертикальных строительных швов. Высота блоков принималась ранной 2 м, длина не превышала 10 м.

Здание ГЭС приплотинного типа расположено у правого берега. В «ем установлены девять агрегатов по 72 тыс.  $квт$  с радиально-осевыми турбинами. Прямоугольные входные отверстия водоприемника размером 6,5х9,5 м оборудованы вертикальными сороудерживающими решетками, ремонтным заграждением и быстродействующими затворами. Напорные трубопроводы диаметром 7,62 м, проложенные в бетоне сооружения в пределах переходного участка, (армированы в нижней части, при подходе к спиральной камере имеют металлическую облицовку.

С береговой стороны к зданию ГЭС примыкает глухой участок бетонной плотины длиной 251 м.

При возведении Днепровской ГЭС было выполнено около 1,5 млн.  $m^3$  земляных и 1,9 млн. вокальных работ; бетона и железобетона уложено 1,2 млн.  $m^3$ ; общий вес установленных металлоконструкций составил 16 тыс. т. Срок строительства 4,5 года.

Во время Отечественной войны гидроэлектростанция была разрушена фашистскими оккупантами. Восстановлена в период 1944—1949 гг. В 1947 г. ДнепроГЭС снова вступила в строй.

При восстановлении пришлось разобрать около 240 тыс.  $m^3$  бетона и железобетона и демонтировать почти 30 тыс. т оборудования и металлоконструкций.

Предполагается увеличение установленной мощности ДнепроГЭС до 1,4 млн.  $квт$ . Для этого потребуется сократить существующую водосливную плотину, используя часть пролетов под водоприемники дополнительно устанавливаемых шести агрегатов по 125 тыс.  $квт$ .



# ДНЕПРОДЗЕРЖИНСКАЯ ПЛОТИНА

Днепродзержинская гидростанция установленной мощностью 350 тыс. *квт* расположена на Днепре у северо-западной окраины г. Днепродзержинска. Длина створа гидроузла составляет 7,5 км. В состав сооружений гидроузла входят: здание ГЭС, бетонная водосливная плотина, судоходный шлюз, земляные плотины и дамбы обвалования долины р. Орели. Долина реки имеет высокий правый берег и низменный левый берег, представляющий широкую (до 15—20 км) пойму, затопляемую на большей части в период весенних паводков. (Полный объем водохранилища 2 500 млн. *м<sup>3</sup>*.)

Бетонные сооружения располагаются на сложной гранито-гнейсами скальной площадке правобережной поймы. Глубина залегания скальных пород изменяется от 5 до 15 м.

Основанием земляных плотин служат аллювиальные пески, супеси и суглинки, местами с гравием и галькой, залегающие на поверхности коренного массива.

Водопроницаемость зоны интенсивного выветривания коренных пород вследствие наличия глинистых образований незначительна и характеризуется коэффициентом фильтрации 0,1—0,5 *м/сутки*. На участках крепкой трещиноватой скалы коэффициент фильтрации возрастает до 1 *м/сутки*.

Сбросной расход гидроузла повторяемостью 1 раз в 1 000 лет составляет 24 700 *м<sup>3</sup>/сек*, из которых через водосливную плотину сбрасывается 21 280 *м<sup>3</sup>/сек* и через турбины 3 420 *м<sup>3</sup>/сек*.

Бетонная водосливная плотина имеет 10 отверстий по 16 м. По длине плотина разрезана температурно-осадочными шва-

ми, которые делают водосливное отверстие пополам. Массив тела плотины не армирован и только по водосливной грани уложена арматурная сетка, предназначенная для предупреждения и уменьшения раскрытия температурно-усадочных трещин.

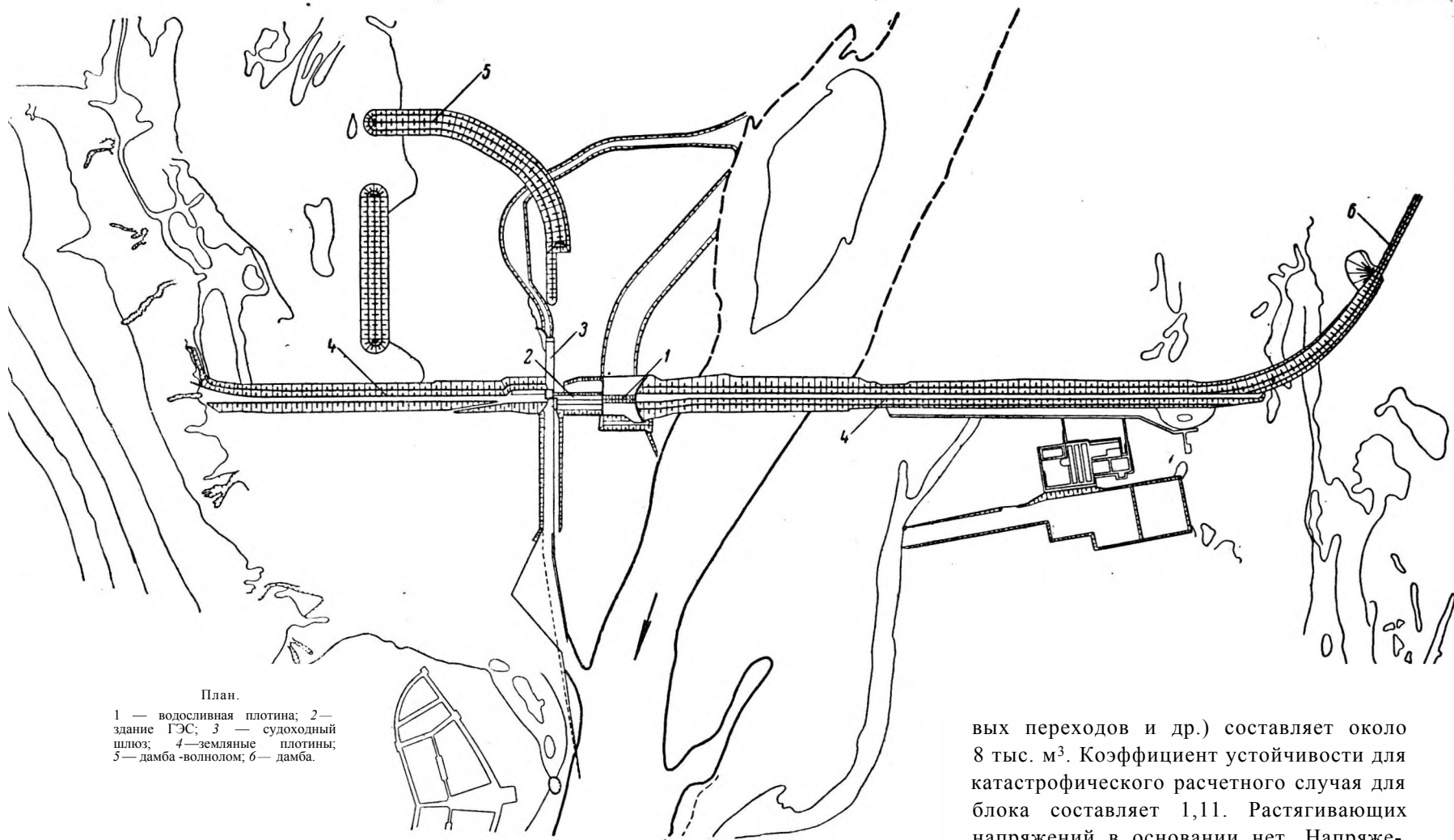
При бетонировании бычков шириной 3,5 м применялись плиты-оболочки. Армирование бычков произведено по условиям прочности пространственными армофермами с содержанием арматуры 24,7 *кг/м<sup>3</sup>*. Установка закладных частей в пазах выполнялась методом бесштрабного бетонирования.

В теле водослива и бычков проходит галерея для инспекционного осмотра состояния бетона, сбора и отвода фильтрующейся через бетон и уплотнения воды, а также для размещения дренажного коллектора и контрольно-измерительной аппаратуры.

Температурно-осадочные швы перекрыты уплотнениями из двух рядов профильной резины толщиной 1 см и шириной 25 см с утолщениями на концах и в середине.

На водобое устроен ряд гасителей высотой 6 м, установленных на расстоянии 29 м от конца водосливной части плотины. Длина бетонного крепления дна реки ниже водосливной части плотины составляет от 57 до 98 м.

Для снижения фильтрационного давления на подошву плотины устроен вертикальный дренаж основания из одного ряда скважин глубиной 11 и 15 м и диаметром 200 мм с шагом 2—1 м. Устье скважин выходит в уложенный в дренажной галерее коллектор, из которого дренирующаяся вода откачивается в нижний бьеф. Ввиду наличия сильной трещинова-



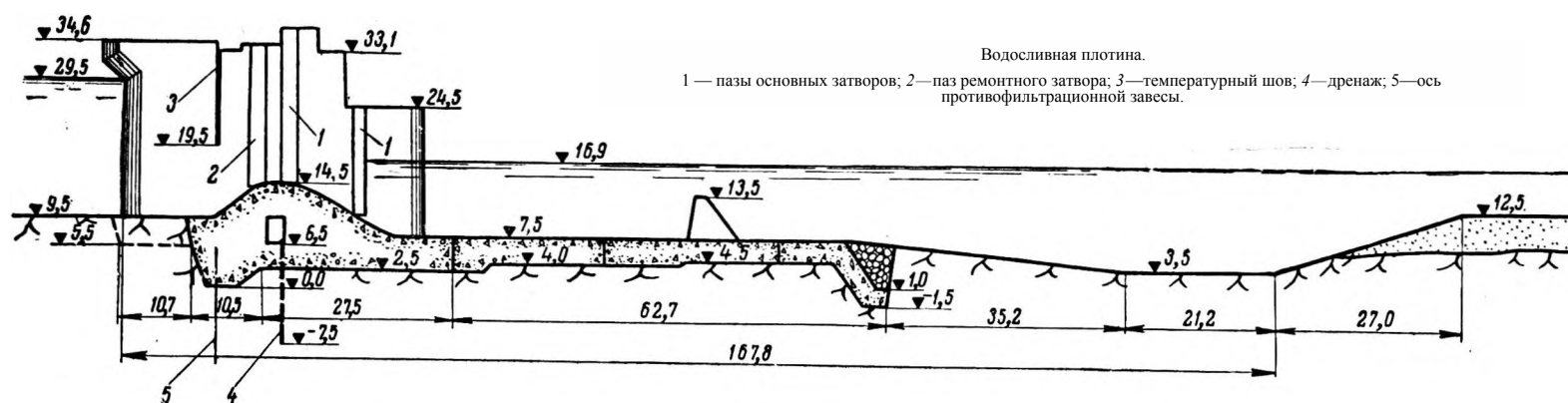
План.

1 — водосливная плотина; 2 — здание ГЭС; 3 — судоходный шлюз; 4 — земляные плотины; 5 — дамба-волнолом; 6 — дамба.

тости в основании водосливной плотины потребовалась сплошная противофильтрационная цементационная завеса, состоящая из трех рядов скважин с шагом 3 м, расположенных в шахматном порядке. Общий объем сборных железобетонных конструкций (плиты-оболочки, массивные бетонные облицовочные блоки, предварительно-напряженные балки мосто-

вых переходов и др.) составляет около 8 тыс. м<sup>3</sup>. Коэффициент устойчивости для катастрофического расчетного случая для блока составляет 1,11. Растягивающих напряжений в основании нет. Напряжения по подошве плотины не превышают 3,48 кГ/см<sup>2</sup>.

На водосливной плотине и водобое установлена контрольно-измерительная аппаратура для наблюдения за фильтрацией воды в основании плотины в швах, за давлением потока на гаситель энергии в нижнем бьефе, для измерения общих деформаций и осадок, а также напряжений в арматуре бычков.



В здании гидроэлектростанции расположено восемь агрегатов с поворотными лопастными турбинами. Надводная часть здания ГЭС не имеет машинного зала, генераторы закрыты специальными колпаками. Агрегаты обслуживаются козловым краном грузоподъемностью 500 т.

Общая длина земляной плотины 6,87 км, а с Орельской дамбой 35,4 км. Максимальная высота плотины 22 м, заложение откосов: верхового — 1 : 4—1 : 5, низового — 1:4,

В основании плотины залегают мелкозернистые аллювиальные пески с коэффициентом фильтрации 15—20 м/сутки мощностью от 10 до 30 м. На правобережном участке пески на глубине 14—20 м подстилаются глинами и разрушенными гранитами.

К правому берегу, сложенному из лессовидных просадочных грунтов, плотина примыкает врезкой длиной до 250 м. На левом берегу плотина примыкает к Орельской дамбе, являющейся продолжением плотины.

Плотина возведена намывом из мелкозернистого песка с коэффициентом фильтрации 15—20 м/сутки и объемным весом скелета 1,59—1,63 т/м<sup>3</sup>. Угол внутреннего трения: мокрого — 28°, сухого — 29—30°.

Верховой откос от верха до бермы крепится монолитными армобетонными плитами толщиной 0,20—0,35 м с расходом арматуры на 1 м<sup>3</sup> бетона не более 30 кг. Плиты укладываются

на однослойную фильтровую подготовку толщиной 0,20—0,25 м. Ниже бермы до подошвы плотины откос крепится каменной наброской толщиной 0,7 м на слое щебня и ниже — горной массой толщиной 0,7—1,0 м. Сухие откосы закреплены посевом трав.

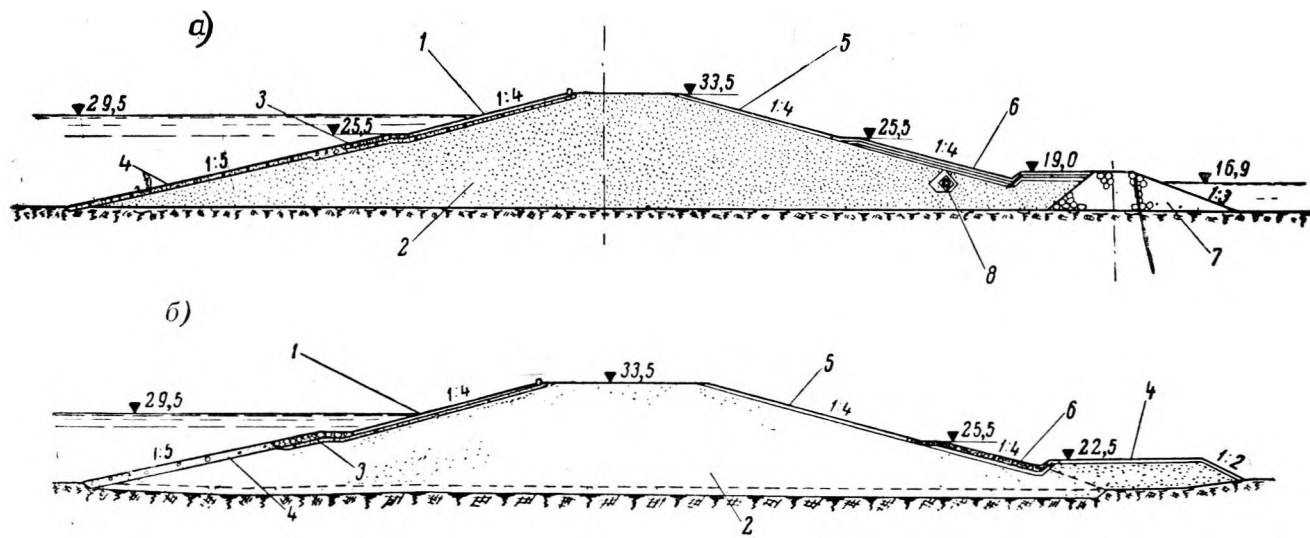
Низовой откос дренируется наклонным дренажем, выполняемым из двухслойного щебеночного фильтра толщиной 0,4 м, прикрытого сверху наброской камня толщиной 0,6—1,0 м. На русловом участке дренаж запроектирован комбинированного типа: насланный тех же размеров и трубчатый диаметром 0,6 м с трехслойным обратным фильтром.

Весь период строительных работ по возведению гидроузла разделяется на три основных этапа.

На первом этапе выполнены в основном работы по строительству подсобных предприятий, жилого поселка, подъездных дорог и линий электроснабжения.

Намыты земляные перемычки и осушен котлован, начаты бетонные работы по гидроузлу; строительные расходы пропускаются по основному руслу и пойме, стесненной перемычками.

Второй этап — период от начала бетонных работ до разборки перемычек и затопления котлована. Закончено строительство подсобных предприятий и жилья и выполняется основная часть бетонных и земляных работ.



Земляная плотина.

*a* — русловая часть; *б* — правобережная часть; 1 — армированные бетонные плиты на слое щебня; 2 — мелкозернистый песок; 3 — каменная наброска на слое щебня; 4 — наброска из горной массы; 5 — одерновка с посевом трав; 6 — мощение камнем по наклонному фильтру; 7 — каменный банкет; 8 — трубчатый дренаж с трехслойным фильтром (29,5—НПУ; 16,9—мин. УНБ).

Третий этап начнется с разборки перемычек и затопления котлована в сентябре 1962 г. и перевода расходов реки на бетонные сооружения — водосливную плотину. Производятся намыв русловой плотины и наполнение водохранилища до промежуточной отметки на 2 ж ниже НПУ, обеспечивающей пуск первых агрегатов. Окончательное наполнение водохранилища намечается на весну 1963 г., а ввод всех агрегатов в эксплуатацию — на протяжении 1963—1964 гг.

Для первого и второго этапов работ, т. е. на период ведения работ в котловане, в качестве расчетного расхода при выборе отметки гребня перемычек приняты весенние расходы повторяемостью 1 раз в 20 лет  $15\,600\text{ м}^3/\text{сек}$  с поверкой на расход повторяемостью 1 раз в 100 лет  $21\,000\text{ м}^3/\text{сек}$ .

Для третьего этапа строительства, когда расходы проходят через плотину, в качестве расчетного принят максимальный расход для середины июня по данным наблюдений.

Основные объемы земляных работ как по выемкам, так и

по насыпям выполняются гидромеханизацией. Бетонные работы выполняются укладкой при помощи гусеничных и башенных кранов и непосредственно с автосамосвалов.

Скальные работы в котлованах под бетонные сооружения производились с помощью взрывов колонковых зарядов в скважинах с оставлением защитного слоя 0,5—0,7—1 м. На скальных работах был внедрен короткозамедленный способ взрывных работ.

Объемы работ по сооружению гидроузла составляют: выемка мягкого грунта —  $25\,810\text{ тыс. м}^3$ , в том числе гидромеханизацией —  $15\,450\text{ тыс. м}^3$ , выемка скалы —  $950\text{ тыс. м}^3$ , насыпь и обратная засыпка —  $28\,500\text{ тыс. м}^3$ , в том числе гидромеханизацией —  $26\,900\text{ тыс. м}^3$ , бетона и железобетона —  $870\text{ тыс. м}^3$ , в том числе сборного и преднапряженного —  $42\text{ тыс. м}^3$ , каменных набросок для креплений откосов и берм —  $960\text{ тыс. м}^3$ .



# КАХОВСКАЯ ПЛОТИНА

Каховская гидроэлектростанция является нижней ступенью Днепровского каскада. Полный напор ГЭС 16,4 м, мощность 318 тыс. *квт* при среднегодовой выработке 1 435 млн. *квт - ч*. Общая длина подпорного фронта гидроузла составляет 3,8 км, из них земляных плотин — 3,1 км. В состав гидроузла входят: бетонная водосливная плотина длиной 440 м, здание ГЭС совмещенного типа, судоходный шлюз, земляные плотины и ирригационный водозабор.

Бетонные сооружения располагаются на левобережной пойме. С берегами бетонные сооружения сопрягаются посредством левобережной и русловой земляных плотин.

Полный объем водохранилища 18,2 млрд. м<sup>3</sup>, из которых полезный объем составляет 6,8 млрд. м<sup>3</sup> при высоте сработки водохранилища на 3,3 м. Зарегулированный сток реки используется комплексно для энергетики, судоходства и ирригации. Среднее количество осадков составляет 350 мм в год. Из общего среднегодового стока 52 км<sup>3</sup> на весеннее половодье приходится 60—75%.

В районе створа гидроузла ширина долины Днепра составляет 2,3 км, ширина русла — 1 км. Оба берега реки сложены ракушечными, мергелистыми и другими известняками. Водопроницаемость толщи известняков правого берега невелика: коэффициент фильтрации — около 17 м/сутки. В известняках левого берега имеются значительная трещиноватость и кавернозность; коэффициент фильтрации их изменяется в пределах 250—600 м/сутки. Пойма реки с поверхности сложена мелкозернистыми лесками с включением илстых су-

песей и илов. Илы повсеместно подстилаются мелкозернистыми песками, на которых располагаются бетонные сооружения гидроузла.

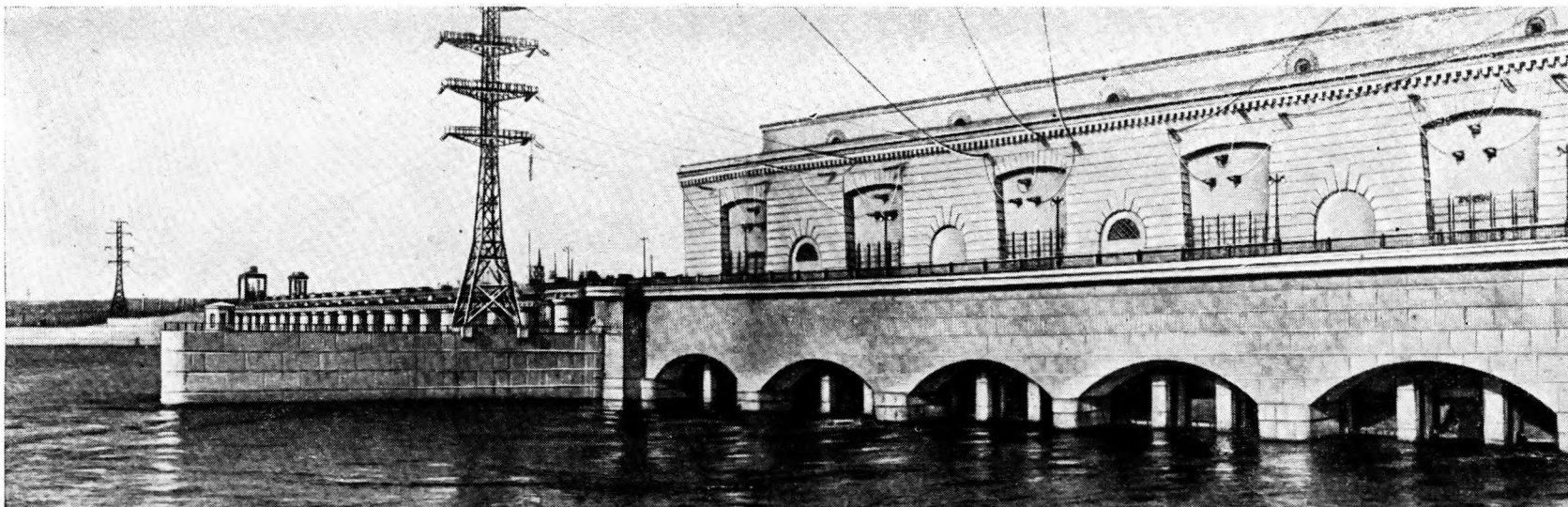
Водосливная плотина примыкает с левой стороны непосредственно к зданию ГЭС и с правой—к русловой земляной плотине. Основанием плотины служат однородные мелкозернистые пески с содержанием частиц размером 0,1 — 0,25 мм до 70%, коэффициентом фильтрации 27 м/сутки и коэффициентом сдвига 0,45. Под слоем песков залегает толща лиманно-морских илов.

Расчетные паводковые расходы повторяемостью 1 раз в 1 000 лет 24 500 м<sup>3</sup>/сек и 1 раз в 10000 лет 32 600 м<sup>3</sup>/сек.

Водосливная плотина распластанного профиля из армированного бетона имеет 28 отверстий длиной по 12,0 м, перекрытых плоскими колесными затворами 12х9,5 м. В качестве аварийно-ремонтного ограждения предусмотрены плоские сдвоенные затворы. Затворы обслуживаются двумя козловыми кранами грузоподъемностью 125/30 т.

Водосливной массив размещается в центральной части секции. Для повышения устойчивости секции на сдвиг в верхний бьеф выдвинута фундаментная плита. Противофильтрационный подземный контур создан устройством водонепроницаемого понура из суглинка длиной 50 м и верхового металлического шпунтового ряда, заглубленного на 18 м. Шпунт сопрягается с фундаментной плитой посредством битумной шпонки, допускающей осадку плотины.

В целях, предотвращения суффозионных явлений в песках



Общий вид.

основания у низовой грани плотины забит второй шпунтовой ряд на глубину 8 м. Шпунтовые ряды также забиты в основании подпорных стенок, примыкающих к водосливной плотине и зданию ГЭС.

По длине водосливная плотина разрезана температурно-осадочными швами на 10 секций, из которых девять включают по три водосливных отверстия, а одна, у здания ГЭС, включает одно отверстие. Каждая секция длиной 47 м имеет два ограничивающих секцию полубычка толщиной по 2,5 м и два промежуточных бычка толщиной по 3 м. В целях снижения температурных напряжений и предотвращения появления усадочных трещин секции разрезаны у бычков температурными швами, проходящими до верха фундаментной плиты. Ширина межсекционных температурно-осадочных швов 20 см с уменьшением до 2—4 см в пределах фундаментной плиты.

Водобой плотины представляет собой массивную железобетонную плиту длиной 32 м и толщиной 4,0 м, в конце которой располагаются гасители—прорезной порог высотой 2 м.

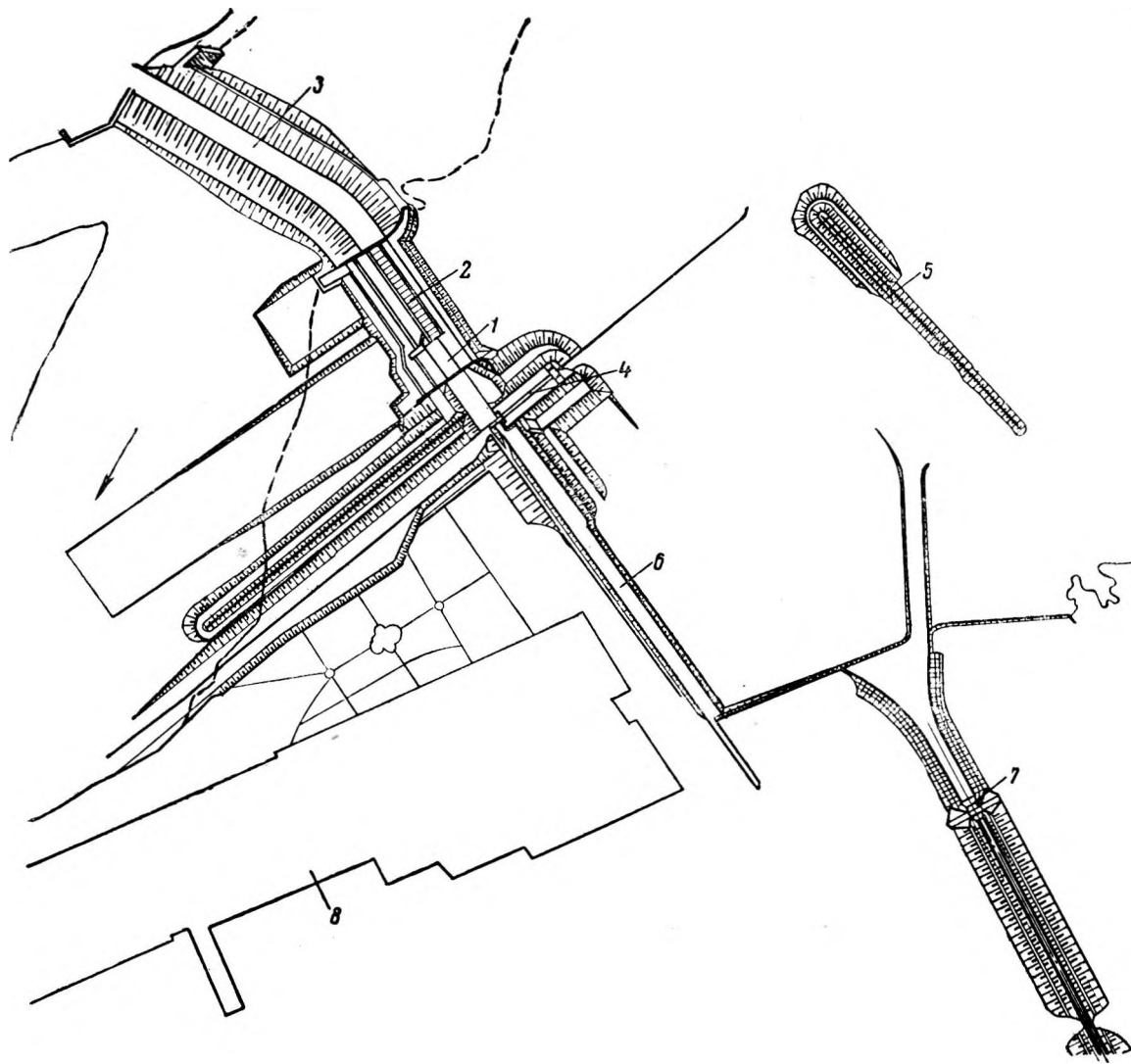
Прорезы шириной 1 м выполнены через 2 м. По длине плотины водобой разрезан швами на отдельные плиты через 20 м.

Рисберма длиной около 70 м выполнена из бетонных плит толщиной от 2,5 м в начале до 2 м в конце. Низовой зуб рисбермы выполнен ячеистого типа из металлического шпунта, что позволило увеличить расчетный расход на 1 пог. м рисбермы до 61 м<sup>3</sup>/сек.

Ниже зуба рисбермы по дну котлована сделана наброска из камня для укрепления откосов воронки размыва.

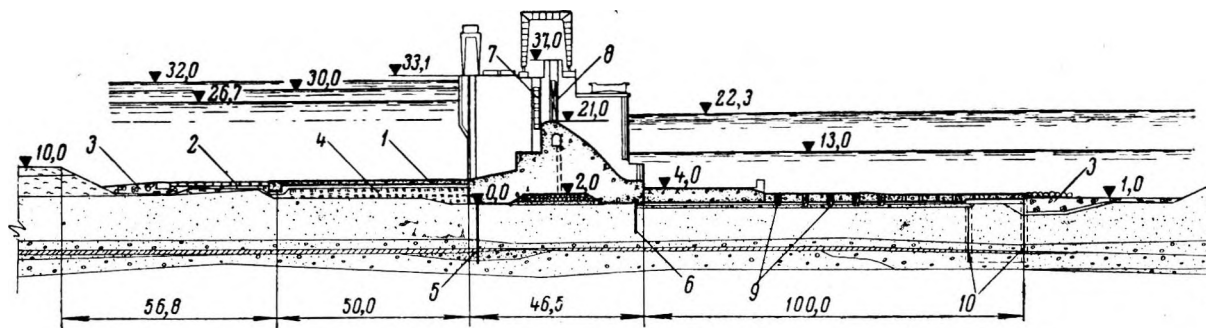
Дренаж в основании плотины состоит из двух слоев обратного фильтра общей толщиной 90 см и заполненных камнем дренажных колодцев диаметром 0,8 м.

Дренажные колодцы отводят воду из дренажа основания плотины в магистральный трубопровод, проложенный по всей длине смотровой галереи размером 2,0X2,5 м. Дренажная вода из трубопровода сбрасывается в нижний бьеф выводами из каждой секции. Галерея служит также для обора воды, профильтровавшейся через швы и бетон, и отвода ее



План.

1—здание ГЭС; 2—водосливная плотина; 3— русловая земляная плотина; 4—судоходный шлюз; 5—дамба-волнолом;  
6—левобережная земляная плотина; 7— ирригационный водозабор; 8—поселок.



Водосливная плотина,

1—бетонные плиты; 2—армированные плиты; 3—каменная наброска; 4—суглинок; 5—верховой шпунт; 6—низовой шпунт; 7—ремонтный затвор; 8—основной затвор; 9—дренажные отверстия; 10—зуб ячеистой конструкции из металлического шпунта.

в сливной приямок отдельного бычка, откуда она откачивается насосами в нижний бьеф.

Устойчивость водосливной плотины на сдвиг определялась по плоскости подошвы основания и по поверхности серых глин, залегающих ниже основания на 40 м. В условиях нормальной эксплуатации коэффициент устойчивости на сдвиг равен 1,53. Максимальные расчетные напряжения по основанию у верхней грани фундаментной плиты 4,6  $\text{кГ/см}^2$  и у нижней грани 3,3  $\text{кГ/см}^2$ .

Водосливная плотина оборудована контрольно-измерительной аппаратурой (грунтовые динамометры, арматурные и бетонные телетензометры, реперы и марки, пьезометры) для определения давлений на грунт, напряжений в бетоне и арматуре, уровней фильтрационного потока, осадок, раскрытия температурно-осадочных швов и пр.

В первый период строительства перемычками ограждались котлован водосливной плотины, здания станции и шлюза. В этот период строительные расходы пропускались через русло реки, несколько стесненное перемычками. Во второй период строительства, по окончании основных строительных работ в котловане, перемычки разбирались и строительные расходы пропускались через гребенку плотины и донные водосбросы здания ГЭС.

В этот период русло реки перекрывалось устройством каменного банкета наброской камня в текущую воду и последующим намывом первой очереди земляной русловой плотины.

В последний — третий — период строительства производилось закрытие гребенки под защитой эксплуатационных затворов и специальных заграждений. Пропуск строительных расходов (меженных) в это время осуществлялся через донные водосбросы здания ГЭС. В период строительства гидроузла судоходство осуществлялось сначала по стесненному руслу реки, а затем через шлюз, как через канал (бед шлюзования).

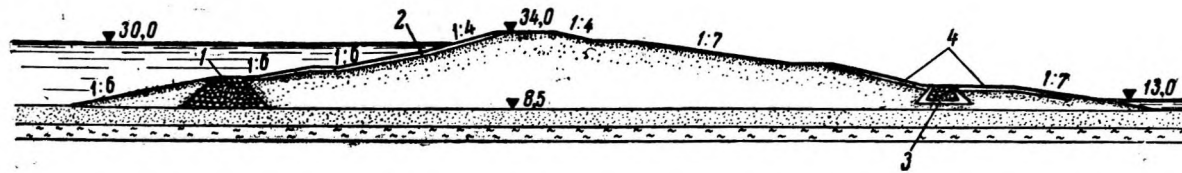
Бетон для большей части конструкций водосливной плотины применялся марок «140» и «200» на пуццолановом порланд-цементе.

Лицевые поверхности бычков, полубычков и устоев выполнены в плитах-оболочках из бетона марки «260».

Общий объем бетона, уложенного в основные сооружения Каховского гидроузла, составил 1 400 тыс.  $\text{м}^3$ , в том числе: в плотину — 640 тыс.  $\text{м}^3$ , в здание гидростанции — 400 тыс.  $\text{м}^3$ , в шлюз с подходами к нему — 310 тыс.  $\text{м}^3$ .

Объем земляных работ по гидроузлу 35 млн.  $\text{м}^3$ . Вес металлического шпунта и металлоконструкций 40 тыс. т.





Земляная плотина.

1 — каменный банкет; 2—железобетонные плиты 0,5 м; 3 — дренажная призма; 4 — мощение камнем (32,0 —ФПУ; 30,0—НПУ; 26,7—УМО; 22,3 —макс. УНБ; 13,0—мин. УНБ).

При укладке бетонной смеси в первые ярусы основных сооружений, понур, рисберму и водобой широко применялись" автосамосвалы и типовые инвентарные мостики, переставляемые кранами. Часть бетонной смеси на пониженных отметках была уложена также гусеничными и башенными кранами с бадьями емкостью 1,5 и 3 м<sup>3</sup>.

Объем блоков, бетонлируемых с помощью мостиков, достигал 3 тыс. м<sup>3</sup> при интенсивности укладки бетонной смеси до 150 м<sup>3</sup>/ч. Автосамосвалы сбрасывали бетонную смесь в бункера, откуда она по виброхоботам попадала в блоки бетонирования. Уплотнение бетонной смеси производилось вибраторами.

Значительный объем бетонной смеси в блоки водосливной плотины и здания ГЭС был уложен со строительной металлической эстакады высотой 22 м, расположенной параллельно оси створа со смещением от продольной оси бетонных сооружений в сторону нижнего бьефа на 20,5 м. На эстакаде были уложены две нитки железной дороги нормальной колеи для движения мотопоездов и подкрановые пути для перемещения портално-стреловых кранов. По железной дороге передвигались 60-т платформы, каждая с четырьмя трехкубовыми бадьями, а по подкрановым путям — портално-стреловые 10-г краны с вылетом стрелы 40 м. Подача бетонной смеси с эстакады в блоки бетонирования осуществлялась в основном по виброхоботам, подвешенным к пролетному строению эстакады. В блоки, расположенные вне зоны действия виброхоботов, бетонная смесь подавалась с помощью порталных кранов.

Максимальная интенсивность укладки бетонной смеси,

(равная 70 тыс. м<sup>2</sup> в месяц, была достигнута в мае, июне и сентябре 1954 г.

Поверхности бетона, подверженные воздействию потока (водослив плотины), обрабатывались вакуумированием. Для этой цели использовались вакуум-установки и инвентарные вакуум-щиты.

При бетонировании в зимний период применялись утепленная опалубка, паропрогрев блоков с помощью калориферов и утепление бадей.

Натурные исследования контактных напряжений в основании бетонных сооружений (плотина, подпорные стенки и здание ГЭС) производились 128-струнными грунтовыми динамометрами мембранного типа, заложенными на глубину 10 см от подошвы сооружений. Напряжения в среднем составляют 4—5 кг/см<sup>2</sup> при максимуме в отдельных точках 10 кг/см<sup>2</sup>.

Намывная русловая земляная плотика из мелкозернистых песков длиной 1,2 км имеет наибольшую высоту 30 м. Среднее заложение откосов плотины 1 : 6. Основанием плотины служат илы мощностью от 2,5 до 7 м, покрытые сверху песчаными и песчано-илистыми отложениями. Плотность намытого песчаного грунта характеризуется средним объемным весом скелета 1,6 т/м<sup>3</sup> с расчетным углом внутреннего трения 28°.

Расход фильтр анионной воды в условиях нормальной эксплуатации составляет 0,1 л/сек на 1 пог. м длины плотины. Верховой откос плотины, подверженный воздействию волн высотой 2,5—3,0 м, защищен покрытием из армобетонных плит толщиной 0,50 м.

Строительный банкет из каменной наброски для перекрытия русла Днепра расположен со стороны верхового откоса плотины и вошел в состав тела плотины.

Дренажные устройства плотины состоят из каменного банкета у низового откоса, вокруг которого укладывается обратный двухслойный фильтр. Фильтрационная вода отводится в нижний бьеф ленточными дренами, расположенными через 100 м по длине плотины.

Каменный банкет высотой 3,5 м возведен на предварительно намытом песчаном грунте.

Учитывая наличие илов в основании, после каменного

банкета устроена песчаная пригрузка основания длиной 80 м с откосом 1 : 7.

Пуск первых трех агрегатов Каховской ГЭС был осуществлен в 1956 г., а в 1956 г. вступили в строй остальные агрегаты.

Гидроэлектростанция значительно улучшила условия энергоснабжения промышленности и сельского хозяйства юга Украины и имеет большое значение для орошения засушливых земель на юге Украины и в Крыму, а также создала глубоководный судоходный путь от Черного моря до Днепропетровска.

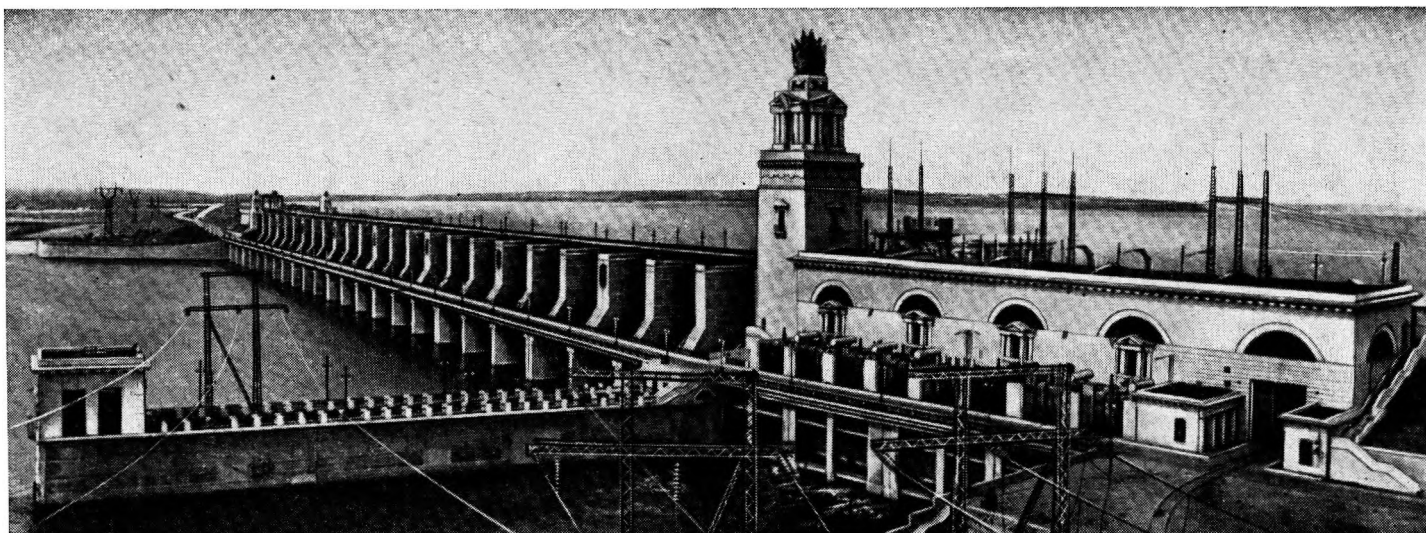
## ЦИМЛЯНСКАЯ ПЛОТИНА

Цимлянский гидроузел, расположенный на р. Дон в 327 км от его устья, входит в состав общего комплекса сооружений Волго-Донского водного пути и водноэнергетического использования нижнего течения р. Дона.

Водохранилище Цимлянского гидроузла на протяжении около 170 км является частью водного пути по р. Дон от створа гидроузла до выхода в р. Дон у г. Калача соединительного судоходного канала между Волгой и Доном. Кроме того, водохранилище служит источником для орошения засушливых земель по рр. Нижнему Дону, Салу и Манычу (в основном

самотечным способом) и земель в районах, прилегающих к Цимлянскому водохранилищу и Волго-Донскому судоходному каналу (машинным способом), а также создает условия для выработки на гидростанции электроэнергии и повышения судоходных глубин на участке р. Дона ниже гидроузла за счет пропуска через турбины повышенных зарегулированных расходов реки.

Основанием сооружений служат аллювиальные, в основном песчаные, грунты, подстилаемые третичными песчано-глинистыми породами. На левобережных надпойменных тер-



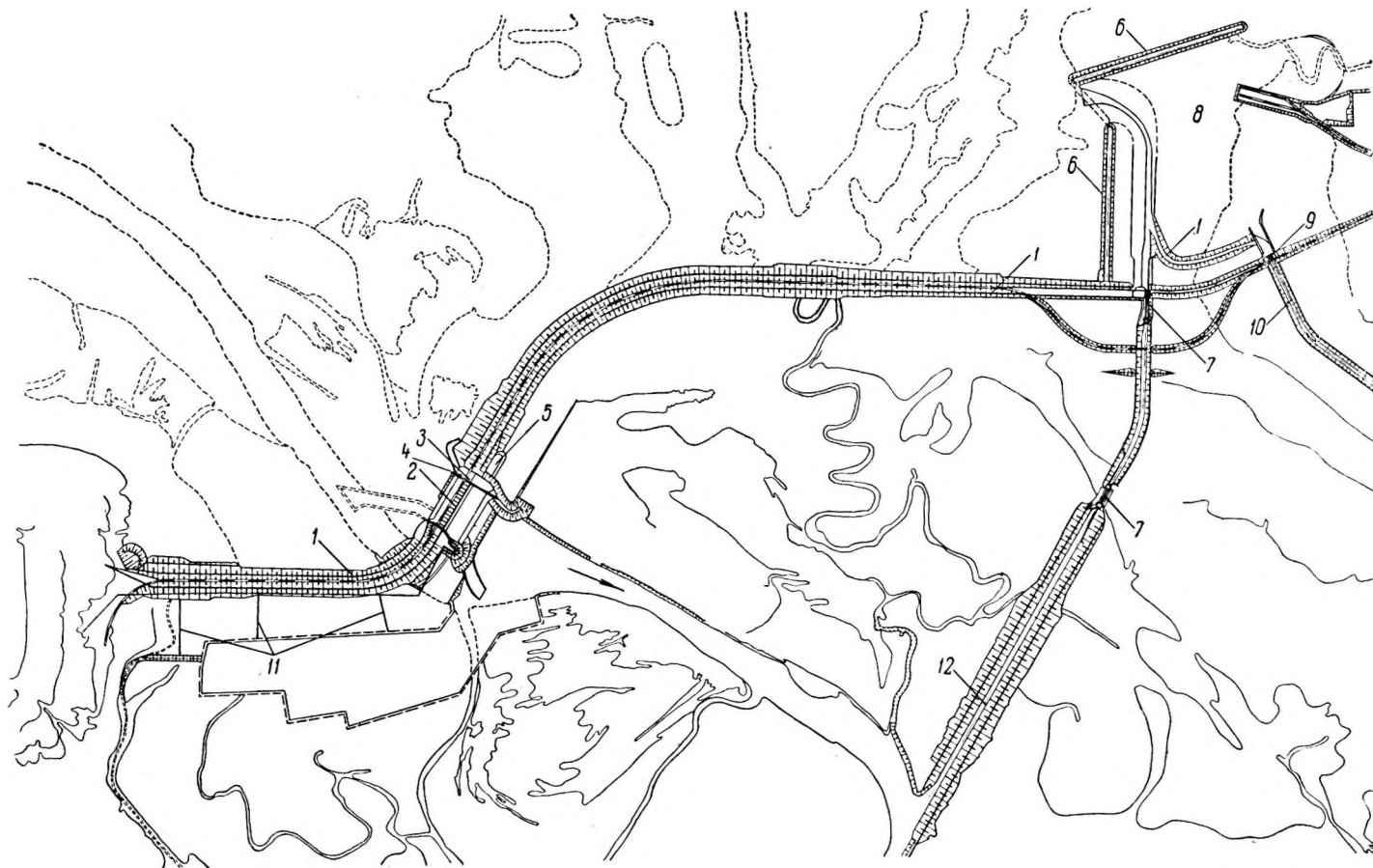
Общий вид.

расах, полого поднимающихся от реки, по створу сооружений на протяжении около 9,5 км аллювиальные грунты прикрыты просадочными лёссовидными суглинками. На правом крутом и высоком берегу коренные третичные породы почти выходят на поверхность, будучи прикрыты слоем делювия.

В состав сооружений гидроузла входят: гидроэлектро-

станция с рыбоподъемником, бетонная водосливная плотина, земляная плотина, судоходные шлюзы, порт, лесобазы, головное сооружение магистрального оросительного канала, мосты и дороги.

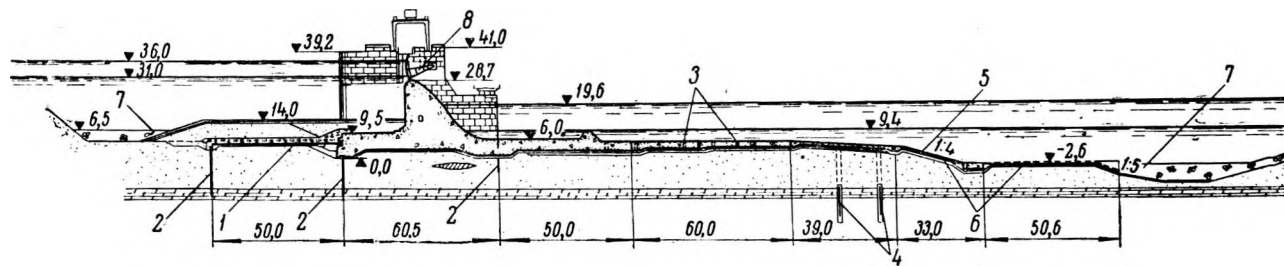
Водосливная плотина и ГЭС расположены рядом на левобережном участке поймы; это позволило большую часть



План

1 земляные плотины; 2— водосливная плотина; 3— здание ГЭС; 4 — рыбоподъемник; 5—ОРУ 220 и 110 кВ, 6—дамбы; 7 судоходный шлюз; 8 — порт; 9—водозабор; 10— магистральный канал, 11— консольный сброс; 12—судоходный канал.





Водосливная плотина.

1 — анкерный понур; 2 — х.стллли чesки й шпунт; 3 — дренажные колодцы; 4 — разгрузочные скважины; 5 — железобетонные плиты; 6 — трех-  
слойный обратный фильтр; 7 — пригрузка камнем; 8 — основной затвор.

строительных работ по ним выполнить в первую очередь при пропуске расходов реки по старому руслу. Расположение указанных сооружений у левого берега удобно также по условиям производства работ в связи с устройством подсобных строительных предприятий на левом пологом берегу. Судоходные шлюзы расположены в деривационном канале на левом берегу. Левее шлюзов размещено головное сооружение главного оросительного канала.

Полный объем водохранилища равен  $21,85 \text{ км}^3$ , а полезный объем —  $10,85 \text{ км}^3$ . Площадь водохранилища составляет  $2\ 610 \text{ км}^2$ . Наибольшая ширина его  $38 \text{ км}$ , наибольшая глубина  $30 \text{ м}$ .

Среднегодовой сток реки  $24 \text{ км}^3$ , среднегодовой расход  $760 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Максимальный расчетный расход реки в створе гидроузла повторяемостью 1 раз в 1 000 лет равен  $17200 \text{ м}^3/\text{сек}$ ; из них через турбины ГЭС проходит  $1\ 100 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а остальной расход сбрасывается через водосливную плотину.

Установленная мощность гидроэлектростанции  $164,2 \text{ тыс. квт}$  (четыре главных агрегата по  $40 \text{ тыс. квт}$  и вспомогательный  $4,2 \text{ тыс. квт}$ , работающий на расходе воды, пропускаемом через рыбоподъемник). Среднегодовая выработка составляет  $660 \text{ млн. квт} \cdot \text{ч}$ .

Главные агрегаты состоят из поворотнолопастных турбин диаметром  $6,6 \text{ м}$  и генераторов мощностью  $50 \text{ тыс. квт}$ , напряжением  $10,5 \text{ кв}$ . Повысительные однофазные трансформаторы

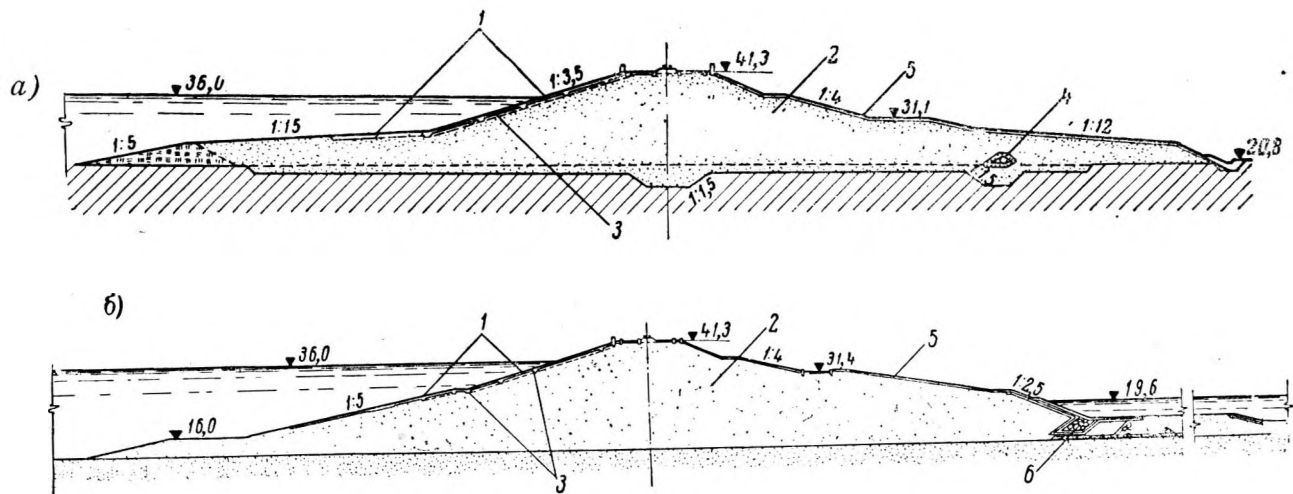
расположены над отсасывающими трубами и другими помещениями ГЭС со стороны нижнего бьефа. Открытое распределительное устройство  $220$  и  $110 \text{ кв}$  размещено на берегу. Монтажная площадка устроена на левом берегу и является продолжением здания станции.

Водосливная бетонная плотина разбита на 24 пролета шириной по  $16 \text{ м}$ , перекрываемые сегментными затворами. Подъем затворов и их опускание производятся двумя передвижными  $75\text{-т}$  козловыми кранами. Ремонтно-аварийными затворами служат три двухсекционных плоских колесных щита, устанавливаемые теми же козловыми кранами в пазы бычков перед основными затворами.

Особенностью водосливной плотины Цимлянского гидроузла является ее расположение на легкоразмываемых грунтах: мелко- и среднернистых песках.

Общая длина плотины между лицевыми гранями правобережного устоя и раздельной стенки у ГЭС  $482,5 \text{ м}$ . Водосливная плотина по длине разделена температурно-осадочными швами на секции длиной по  $61 \text{ м}$ , включающие по три пролета водослива, по два промежуточных бычка толщиной по  $3,75 \text{ м}$  и крайние полубычки толщиной по  $2,75 \text{ м}$ .

Анкерный понур представляет железобетонную плиту, пригруженную сверху слоем суглинка и песка высотой  $8,4 \text{ м}$  с бетонным креплением поверху. Железобетонная плита заанкерена в фундаментную плиту водослива и повышает устойчивость последнего на сдвиг.



Земляная плотина.

а — пойменная часть; б — русловая часть; 1—бетонные плиты; 2—мелкозернистый песок; 3—трехслойный ленточный фильтр; 4—закрытый дренаж; 5—щебеночное покрытие; 6—открытый дренаж (36,0—НПУ; 31,0—УМО; 19,6—макс. УНБ; 9,4—мин. УНБ).

Водобой имеет длину 50 м. Гашение энергии происходит здесь за счет затопления прыжка и расщепления сжатой донной струи струенаправляющими пирсами, расположенными в начале водобоя. В конце водобоя устроена водобойная стенка, а в конце рисбермы — предохранительный откос, защищенный от подмыва каменной наброской.

При пропуске расчетного паводка удельный расход на водосливе достигает  $42 \text{ м}^3/\text{сек}$  на 1 пог. м и на рисберме  $35 \text{ м}^2/\text{сек}$  на 1 пог. м. Максимальные скорости воды на водобое достигают при сходе с водослива  $20 \text{ м}/\text{сек}$ , за водобойной стенкой —  $5,0 \text{ м}/\text{сек}$ , в конце рисбермы —  $2,5\text{—}3 \text{ м}/\text{сек}$  и за предохранительным откосом— $1,2\text{—}1,5 \text{ м}/\text{сек}$ .

Общее протяжение земляной плотины составляет 12,75 км; объем насыпи в ней равен 32 млн.  $\text{м}^3$ . За исключением концевых участков на левом и правом берегах, она выполнена намывным способом из мелких и среднезернистых песков двусторонним намывом. В связи с тем, что грунты основания земляной плотины имеют низкие показатели сопротивления сдвигу (особенно на левом берегу), тело намывной плотины

имеет распластанный профиль с отношением ширины основания к высоте от 8,4 до 14.

Дренаж земляной плотины выполнен закрытого типа и состоит из дренажной призмы с водосборной железобетонной трубой. На правобережной пойме устроен дренаж открытого типа с наружным каменным банкетом. Для снятия фильтрующего напора в грунте основания в нижнем бьефе за плотиной устроен примерно на половине длины ее вертикальный дренаж, состоящий из разгрузочных скважин с применением трубчатых секций из пористого бетона.

Крепление верхового откоса выполнено бетонными плитами толщиной от 0,50 до 0,20 м.

Судоходные шлюзы гидроузла в количестве двух расположены на левом берегу в деривационном канале общим протяжением 5,5 км. Первый (от водохранилища) шлюз размещен частично в теле земляной плотины; второй шлюз расположен на расстоянии 1,6 км от первого, образуя отдельный бьеф. Шлюзы однокамерные с камерами железобетонной конструкции докового типа с разрезкой днища по его

середине. Головы шлюзов выполнены с неразрезными днищами.

Работы по строительству гидроузла были выполнены в основном за период с 1949 по 1952 г.

Выемка котлована под водосбросную плотину, гидроэлектростанцию и отводящий канал велась с применением главным образом земснарядов типов «300-40» и «100-35». Удаление сухих грунтов при расчистках под основание земляной плотины в котлованах шлюзов, при устройствах каналов и пр. выполнялось скреперами емкостью 6 м<sup>3</sup>, экскаваторами-лопатами с емкостью ковшей в основном 3 м<sup>3</sup>, и экскаваторами-драглайнами с емкостью ковшей 3,0 м<sup>3</sup>.

Возведение земляной намывной плотины произведено плавучими земснарядами типов «500-60» и «300-40».

Участки насыпной земляной плотины выполнялись скреперами с укаткой катками.

На приготовление бетонной смеси работали три автоматизированных бетонных завода: первый — производительностью 4 000 м<sup>3</sup>/сутки (восемь бетономешалок по 2 400 л), второй — производительностью 1 800 м<sup>3</sup>/сутки (шесть бетономешалок по 1 200 л) и третий — производительностью 600 м<sup>3</sup>/сутки (две бетономешалки по 1 200 л).

Принятая в проекте общая схема организации и производства бетонных работ по водосливной плотине и зданию ГЭС предусматривала подачу бетонной смеси в блоки бетонирования по строительной металлической эстакаде (длина

700 ж, высота 23,5—27,5 м) с бетоновозным кольцевым движением.

Подача бетонной смеси с эстакады производилась виброхоботами и 10-г портално-стреловыми кранами в количестве 8 шт. Суточная укладка через виброхоботы достигала 3 000 м<sup>3</sup>, а максимальная месячная — 58 000 м<sup>3</sup> при наличии 120 комплектов виброхоботов.

Подвоз бетона при этом производился мотовозами на 40—50-г платформах в 3-м<sup>3</sup> бадьях. В остальные части сооружений укладка бетона производилась кранами на гусеничном ходу с подвозкой бетона в 1,5-м<sup>3</sup> бадьях. Те же средства использовались для подвозки и установки арматурных конструкций, плит-оболочек, опалубки и пр.

На шлюзах для укладки бетона применялись 3-г порталные краны, вантовые деррики, транспортеры, бетононасосы и другие механизмы с подвозкой бетона на автомашинах в 1 -м<sup>3</sup> бадьях и автосамосвалах.

Бетонирование крепления откоса земляной плотины производилось с помощью гусеничных кранов и вибрототков.

Объем основных работ по сооружениям гидроузлов: земляные работы: а) выемка—30,5 млн. м<sup>3</sup>; б) насыпь—43,1 млн. м<sup>3</sup>; бетонные и железобетонные работы — 1891 тыс. м<sup>3</sup>; металлоконструкции и механизмы — 11,3 тыс. г; металлический шпунт—13,9 тыс. г; каменные крепления — 842 тыс. м<sup>2</sup>; гравийные крепления — 131 тыс. м<sup>2</sup>; фильтры и банкеты — 1 192 тыс. м<sup>3</sup>.

# ДУБОССАРСКАЯ ПЛОТИНА

Узел сооружения Дубоссарской ГЭС мощностью 40 тыс. *квт* расположен на р. Днестре.

В состав сооружений гидроузла входят: левобережная земляная плотина, здание ГЭС совмещенного типа, водосливная бетонная плотина и правобережная земляная плотина. Протяженность сооружения гидроузла по створу составляет 913 м. Сооружения гидроузла используются для автодорожного перехода.

Полный объем водохранилища 485 млн. м<sup>3</sup>, полезный — 213 млн. м<sup>3</sup>.

Створ сооружений пересекает долину р. Днестра в суженой ее части шириной 0,9 км. Русло р. Днестра шириной 200—450 ж расположено близ правого склона долины, круто поднимающейся до 80 ж, образуя слабо наклонную площадку с плавным повышением к водоразделу. Левый берег долины более низкий и пологий, террасированный.

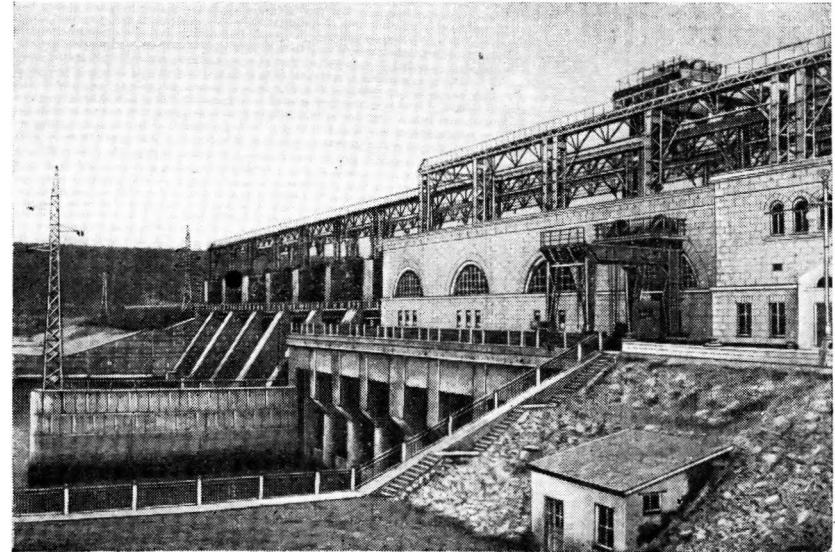
Бетонная водосливная плотина протяженностью 133 ж расположена на левобережной пойме и частично в русле реки, примыкая на пойме к зданию ГЭС и со стороны реки к земляной плотине.

Основанием водосливной плотины служит гравийно-галечный слой мощностью 7—8 м, подстилаемый глинистыми мергелями и трещиноватыми карбонатными породами. Средняя величина коэффициента фильтрации гравийно-галечного слоя составляет 100 м/сутки. В верхней части на глубину 4—5 м коренные породы сильно трещиноваты и имеют тот же коэффициент фильтрации; с глубиной трещиноватость затухает.

Водосливная плотина гравитационного типа с уширенной фундаментной плитой имеет восемь отверстий по 13 м.

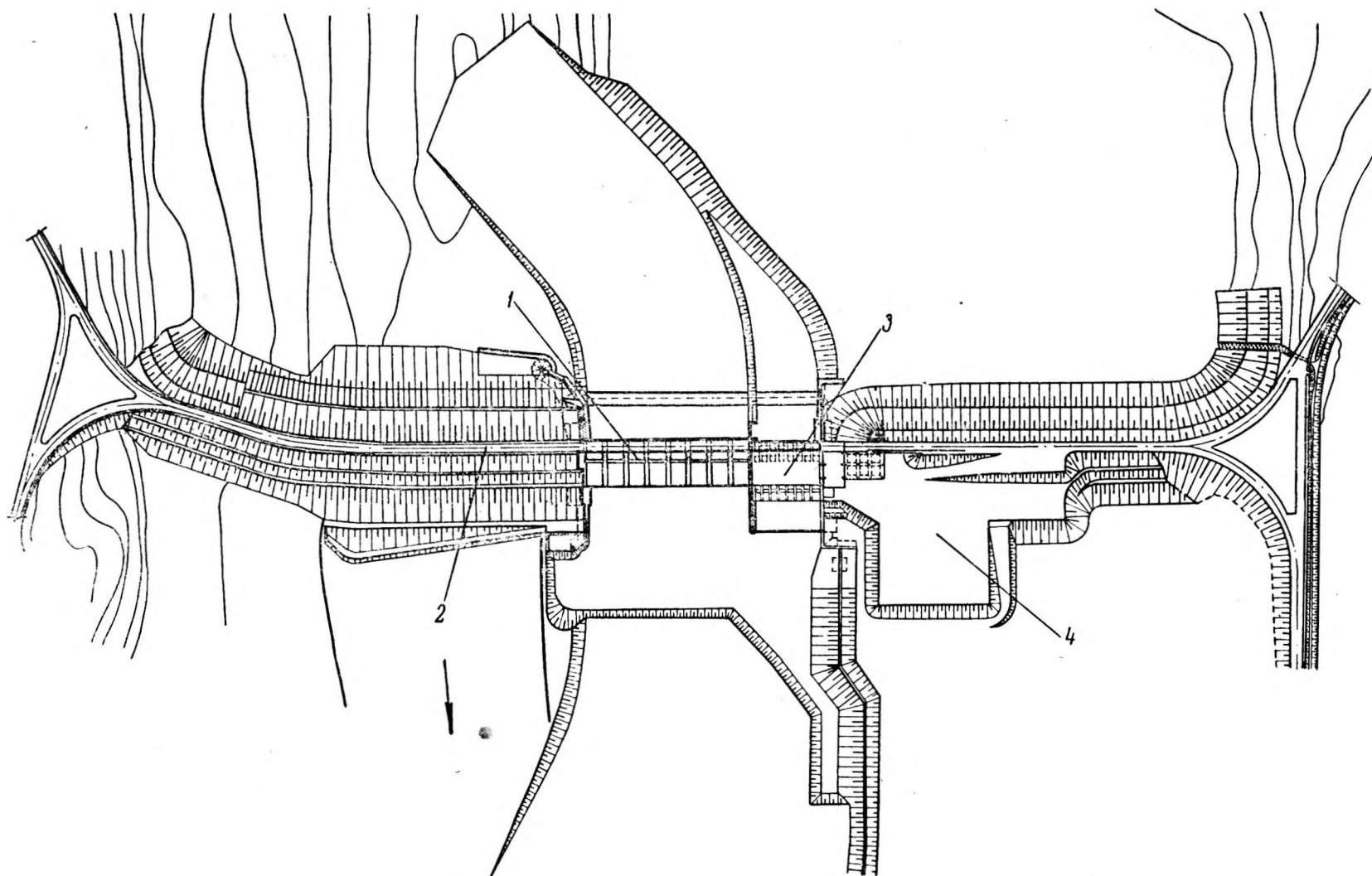
Максимальный расчетный расход повторяемостью 1 раз в 1 000 лет с учетом трансформации паводка водохранилищем составляет 8 200 м<sup>3</sup>/сек. При этом через плотину проходит расход 6 400 м<sup>3</sup>/сек, через водосбросы гидростанции — 1 700 м<sup>3</sup>/сек и через турбины ГЭС — 100 м<sup>3</sup>/сек.

Плотина разрезана по середине бычков температурно-осадочными швами через два пролета на четыре блока дли-



Общий вид.



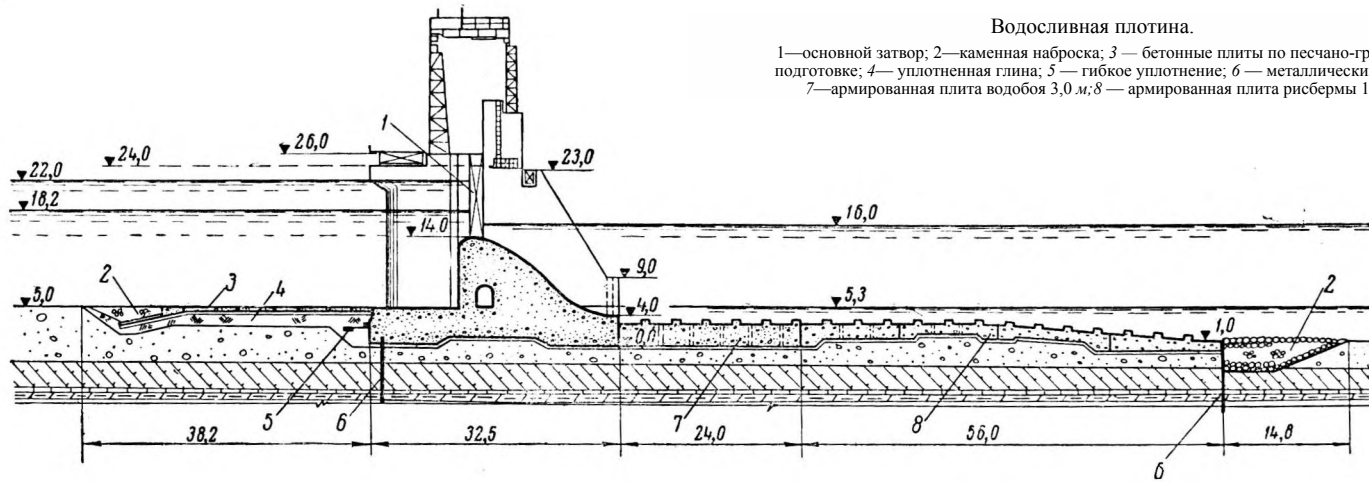


План.

1 — водосливная плотина; 2 — земляная плотина; 3 — здание ГЭС; 4 — РУ 110 кв.

### Водосливная плотина.

1—основной затвор; 2—каменная наброска; 3—бетонные плиты по песчано-гравийной подготовке; 4—уплотненная глина; 5—гибкое уплотнение; 6—металлический шпунт; 7—армированная плита водобой 3,0 м; 8—армированная плита рисбермы 1,5 м.



ной по 33 м. Толщина разрезных бычков 4,0 м, промежуточных — 3 м.

Армирование фундаментной плиты и бычков произведено по условиям прочности армонакетами. В водосливной части плотины армирована только водосливная грань сеткой для предупреждения и уменьшения раскрытия усадочных трещин. Средний расход арматуры составляет 24 кг/м<sup>3</sup>.

В теле плотины расположена галерея для инспекционного осмотра состояния бетона, сбора и отвода профильтровавшей воды и размещения выводов контрольно-измерительной аппаратуры. Маневрирование затворами производится двумя мостовыми кранами, расположенными на металлической эстакаде.

Подземный контур плотины развит за счет устройства понура из суглинистых грунтов с креплением бетонными плитами, металлического шпунта под основанием плотины, прорезающего гравийно-галечный слой, и цементационной завесы, расположенной в трещиноватой зоне коренных пород.

За плотиной осуществлено крепление, состоящее из армированной водобойной плиты и рисбермы общей длиной 80 м и рисбермы из каменной наброски.

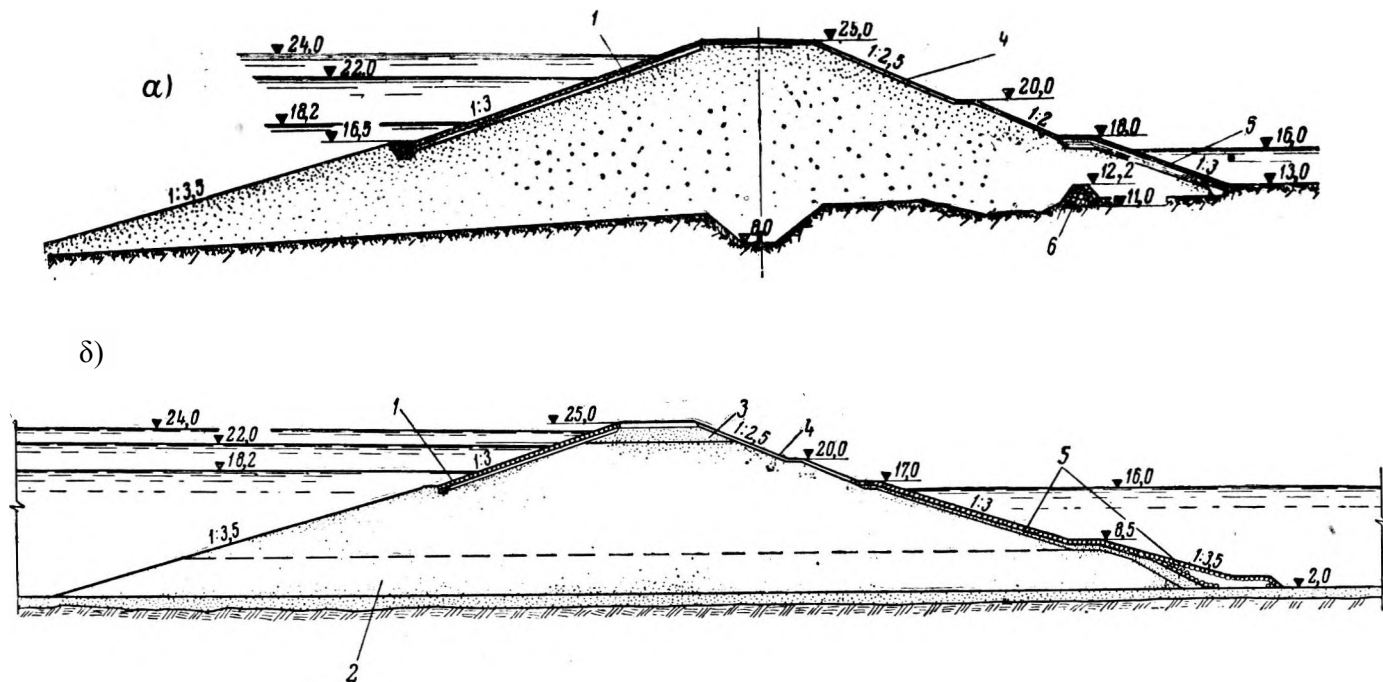
В конце бетонной рисбермы забит металлический шпунт до кровли коренных пород. На всем протяжении водобойной плиты размещены ленточные гасители высотой 0,5 м.

В расчетах плотины учитывалась сейсмичность района VII баллов. Коэффициент запаса устойчивости против сдвига для нормального эксплуатационного случая составляет 1,41 и для катастрофического — 1,09. Напряжения в основании не превышают 3,12 кг/см<sup>2</sup>. Коэффициент трения бетона по гравийно-галечному слою принят 0,5.

На водосливной плотине установлена контрольно-измерительная аппаратура для наблюдения за фильтрацией воды в основании и швах плотины, давлением потока на водосливную грань и водобой, деформациями в швах и осадками сооружения.

Здание гидроэлектростанции — совмещенного типа с водосбросами, расположенными над камерами турбин. В здании ГЭС установлены четыре агрегата. Крепление в нижнем бьефе выполнено из армированных бетонных плит и каменной наброски.

Левобережная земляная плотина длиной 355 м перекрывает левобережную пойму, примыкая к склону долины и с



Земляная плотина

а — пойменная часть; б — русловая часть; 1 — мощение на слое щебня; 2 — зона подводного намыва; 3 — насыпь; 4 — озёрновка с посевом трав; 5 — крупная галька по наклонному фильтру; 6 — трубчатый дренаж (24,0 — ФПУ; 22,0 — НПУ; 18,2 — УМО; 16,0 — макс. УНБ; 5,3 — мин. УНБ).

другой стороны к зданию ГЭС. Правобережная плотина перекрывает правобережную пойму и русло р. Днестра и делится на пойменную длиной 139 м и русловую длиной 257 м.

Основанием пойменных плотин служат аллювиальные суглинки, русловой — мелкозернистые пески. Пойменные плотины возведены насухо из местных суглинков, русловая — способом гидромеханизации из местных песков.

Все плотины возведены одного профиля. Напорный откос переменного заложения от 1 : 3 до 1 : 4; в намывном профиле имеется берма. Низовой откос с заложением 1 : 2,5 и 1:3 имеет две бермы. В насыпных плотинах предусмотрено сопряжение зубом с грунтом основания.

Крепление верхового откоса выполнено мощением толщиной 0,40 м на слое щебня. Низовой откос закреплен в верх-

ней части одерновкой в клетку с травосеянием, ниже — мостовой по наклонному фильтру. В теле плотины заложен трубчатый дренаж.

Сопряжение левобережной плотины со склоном выполнено зубом из суглинка и бетонным экраном, расположенными по склону в верхнем бьефе и перекрывающими выходы гравийно-галечного слоя в водохранилище. Сопряжение правобережной плотины со склоном выполнено глубоким зубом, прорезающим всю глыбовую толщу и врезанным в верхнюю зону коренных пород.

Расчеты устойчивости земляных плотин произведены с учетом сейсмичности VII баллов. Коэффициенты запаса устойчивости составляют для насыпных плотин: для эксплуатационного случая 1,78 и катастрофического—1,20; коэффициент

запаса устойчивости для намывной плотины составляет для эксплуатационного случая 1,86 и для катастрофического 1,29.

На земляных плотинах установлена контрольно-измерительная аппаратура для наблюдения за осадками и положением депрессионной кривой.

Строительство сооружений гидроузла выполнено в течение 1950—1954 гг.

В первом году возводились подсобные предприятия и жилой поселок строительства, а также линия электропередачи и подъездные дороги.

Во втором году было закончено в основном строительство подсобных предприятий и жилья, а также построены ограждающие перемычки и начаты работы по отсыпке земляной плотины и укладке бетона в водосливную плотину и здание ГЭС. Начата выемка грунта отводящего канала.

В третьем году произведена укладка бетона в фундаментную плиту водосливной плотины, в бычки и служебный мост до проектных отметок; продолжались земляные работы по отводящему и строительному каналам и бетонные работы по зданию ГЭС. Кроме того, в третьем году выполнялись цементация основания гидроузла, устройство зуба и насыпь правобережной плотины. Начато возведение русловой плотины способом гидромеханизации.

В четвертом году перекрыто русло Днестра и закончены все работы, позволяющие начать наполнение водохранилища. В конце года пущены первые два агрегата. Остальные агрегаты были введены в эксплуатацию в мае 1955 г.

Котлован бетонных сооружений ограждался перемычками комбинированной конструкции. Верховая и низовая перемычки— земляные, продольная перемычка — ряжевая с экраном на верховой грани из металлического шпунта с песчаной пригрузкой.

В качестве максимального расчетного строительного расхода был принят ливневой паводок повторяемостью 1 раз в 20 лет  $3\ 100\ м^3/сек$  с поверкой на ливневой расход  $4\ 700\ м^3/сек$  повторяемостью 1 раз в 100 лет. На период закрытия гребенки за расчетный принят расход  $500\ м^3/сек$ .

Строительные расходы до момента разборки перемычек пропускались через основное русло, несколько сжатое продольной перемычкой.

Бетонная смесь укладывалась башенными гусеничными и деррик-кранами, а также автосамосвалами.

На строительстве были выполнены следующие объемы работ: выемка—1416 тыс.  $м^3$ , в том числе гидромеханизацией— 511 тыс.  $м^3$ , насыпь— 1046 тыс.  $м^3$ , в том числе гидромеханизацией— 400 тыс.  $м^3$ , бетона — 141 тыс.  $м^3$ .



# ИНГУРСКАЯ ПЛОТИНА

Строящаяся в Грузии Ингурская гидроэлектростанция представляет собой комплекс энергетических сооружений, состоящий из основной ГЭС мощностью 1 400 тыс. *квт* и двух Перепадных ГЭС общей мощностью 232 тыс. *квт*, расположенных на отводящем тракте основной ГЭС. Суммарная среднегодовая выработка энергии всех трех ГЭС составляет 5 280 млн. *квт - ч*.

В состав сооружений Ингурской ГЭС входят: арочная плотина высотой 301 м, напорный деривационный туннель длиной 15,6 км, уравнильный резервуар, двухниточный подземный турбинный водовод, подземный машинный зал с шестью агрегатами, отводящий безнапорный туннель длиной 2,2 км и отводящий канал длиной 24 км.

Плотина образует водохранилище полным объемом 1.550 млн. *м<sup>3</sup>* и полезной емкостью 1 250 млн. *м<sup>3</sup>*.

Климатические условия района характеризуются теплым влажным климатом субтропической зоны со среднегодовой температурой воздуха 14°С и высотой атмосферных осадков до 2 100 мм в год. Среднемесячная температура наиболее теплого месяца составляет 23°С, а наиболее холодного 5°С. Температура воды р. Ингури колеблется в пределах от 6,5 до 8°С при максимальной 14—16°С.

Среднегодовой расход воды в створе плотины составляет 156 *м<sup>3</sup>/сек*.

Участок створа плотины сложен массивными прочными известняками баррема, имеющими общее простираение примерно вдоль створа плотины и падающими в сторону ниж-

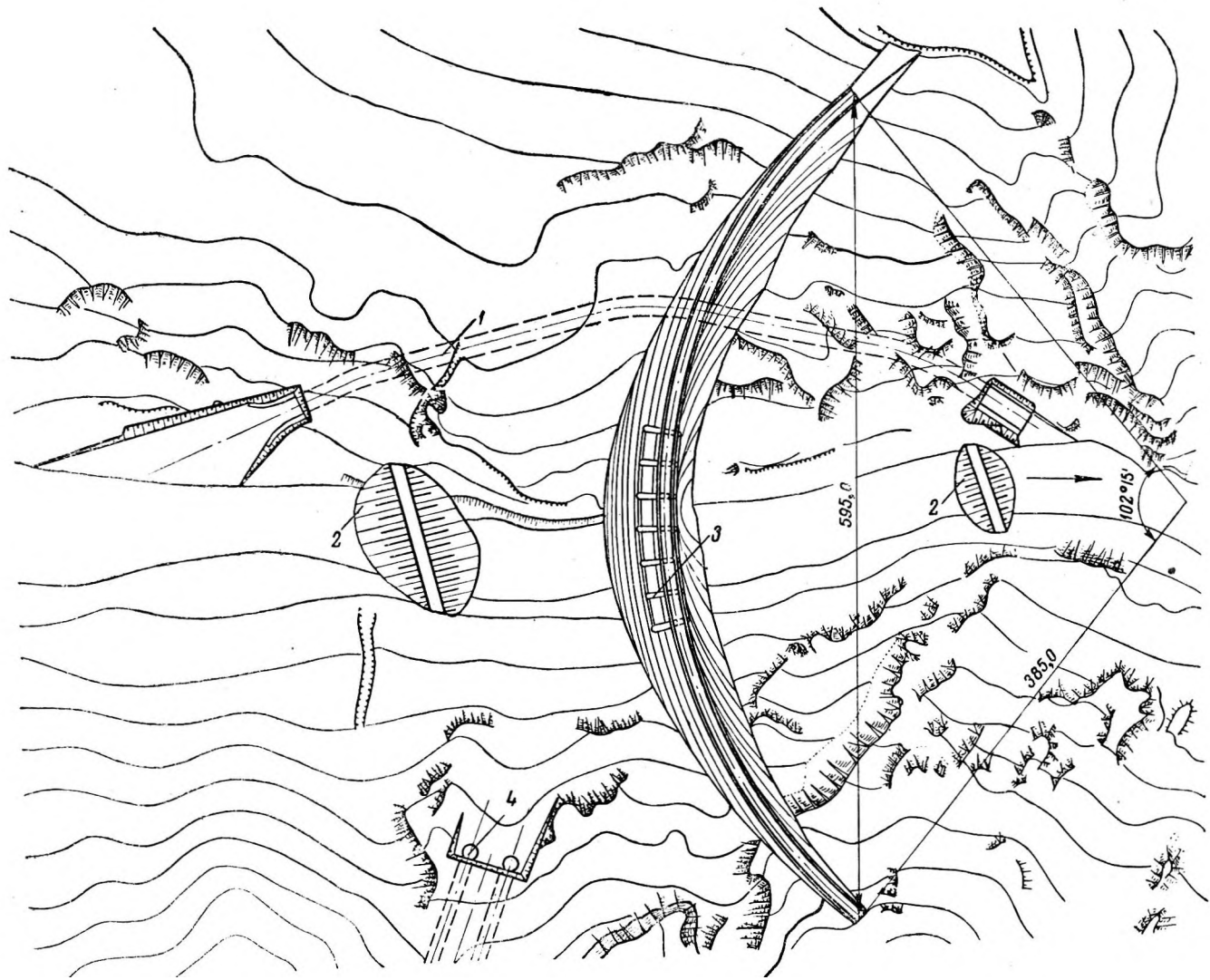
него бьефа под углом 50—70°. Известняки на склонах и у их подножья покрыты частично делювиально-аллювиальными отложениями, а в русле реки — аллювиальными валунно-галечными отложениями, мощностью до 38 м.

Среднее удельное водопоглощение пород на правом берегу составляет 0,9 *л/мин*, в пойменно-русловой части долины — 0,6 *л/мин* и на левом берегу не превышает 0,41 *л/мин*. Физико-механические свойства известняков основания характеризуются следующими показателями: объемный вес 2,7 *т/м<sup>3</sup>*, средний предел прочности в сухом состоянии 1 370 *кг/см<sup>2</sup>* и во влажном 1 023 *кг/см<sup>2</sup>*, модуль упругости породы 450 000 *кг/см<sup>3</sup>* (определен сейсмическим способом).

Ширина ущелья на отметке НПУ достигает примерно 600 м.

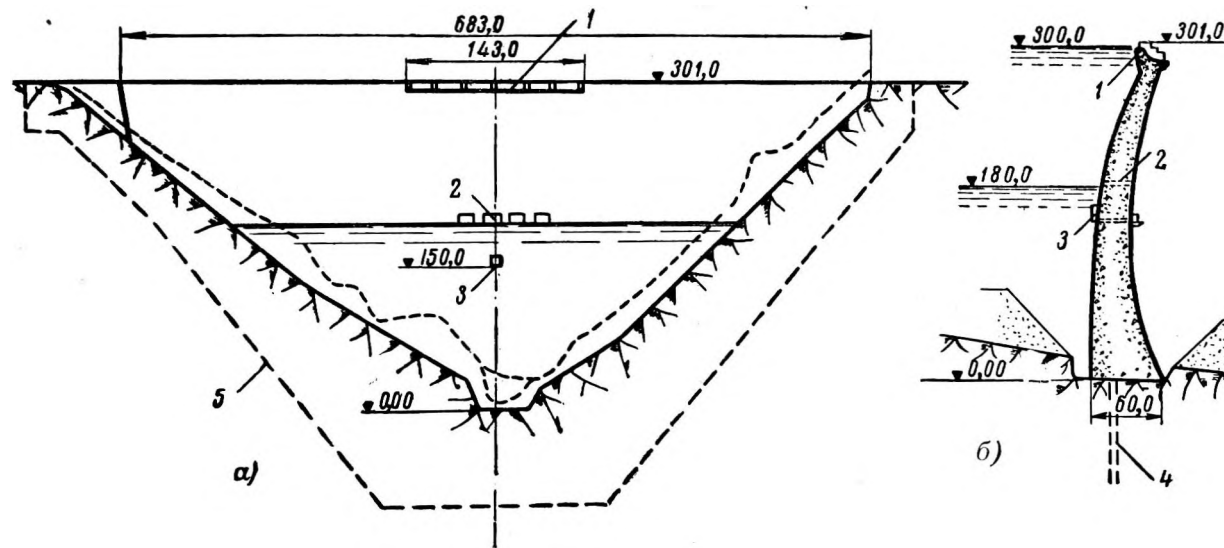
Для уменьшения объемов работ арочная плотина принята асимметричной; максимальная разница между углами правого и левого берегов достигает 12°; максимальный центральный угол равен 102° 15' при радиусе 385 м. Минимальный центральный угол на отметке дна реки равен 57° при радиусе 109 м. Для компенсации асимметрии и улучшения примыкания на левом берегу предусмотрен устой. Отношение хорды к высоте арочной плотины составляет 2,0, а отношение длины по гребню к высоте — 2,29.

Арочная плотина двойкой кривизны наклонена в сторону нижнего бьефа; толщина ее по гребню 10 м, а по низу 60 м. Для снижения напряжений, передаваемых на скальное основание, арки уширяются к пятам.



План.

1 — строительный туннель; 2 — строительные перемычки; 3 — водослив; 4 — водоприемник деривационного туннеля.



Разрезы: продольный по оси плотины (а) и поперечный (б).

1 — водослив; 2 — временный водосброс; 3 — водоспуск; 4 — противофильтрационная завеса; 5 — контур противофильтрационной завесы (300,0 — НПУ; 180,0 — УМО).

Проектный объем бетонной кладки равен 3 млн. л<sup>3</sup>, объем скальной выемки — 500 тыс. м<sup>2</sup>.

Размеры арочной плотины уточняются на основании более точных расчетов и модельных исследований.

В основании плотины устраиваются укрепительная цементация, а также двухрядная противофильтрационная цементационная завеса максимальной глубиной 90 м.

Паводковый расход повторяемостью 1 раз в 1 000 лет составляет 2 120 м<sup>3</sup>/сек, из которых 1 500 м<sup>3</sup>/сек сбрасывается через водослив на гребне плотины, а остальной объем воды аккумулируется в водохранилище.

Водослив имеет шесть отверстий по 18 м, оборудованный вододействующими затворами высотой 3,5 м. Дальность отлета струи от основания плотины 70—80 м.

Для периодических пусков воды из водохранилища в период эксплуатации и удовлетворения водопотребителей в нижнем бьефе в теле плотины устраивается водоспуск. Строительство плотины предусматривается в две очереди.

В первую очередь плотина возводится на высоту около 200 м и пуск ГЭС первой очереди осуществляется при промежуточном напоре.

В фундаментной части плотины устраиваются два временных отверстия, оборудованные затворами с гидropодъемниками, для пропуска расходов реки после закрытия строительного туннеля. Впоследствии эти отверстия заполняются бетоном.

Во вторую очередь достраивается остальная часть плотины. При этом строительные расходы реки пропускаются через четыре оставленные в верхней части первой очереди плотины временные отверстия без затворов, впоследствии заполняемые бетоном.

Сооружение арочной плотины начинается с проходки на левом берегу строительного туннеля длиной 517 м, рассчитанного на пропуск паводка повторяемостью 1 раз в 20 лет, равного 930 м<sup>3</sup>/сек. Сечение туннеля овальное с уширенным дном шириной 15 м.

Одновременно с проходкой строительного туннеля начинается разработка склонов ущелья под бортовые примыкания арочной плотины.

Разработка склонов намечена ярусами сверху вниз с перемещением взорванной породы бульдозерами и спуском породы по наклонным штольням. По окончании проходки строительного туннеля начинается отсыпка перемычек, после чего разрабатывается котлован русловой части экскаватором с погрузкой породы в 25-г автосамосвалы.

Укладка бетонной смеси намечена четырьмя параллельными 25-г кабельными кранами. Бетонная смесь от бетонного завода, расположенного примерно на отметке гребня плотины, на левом берегу, доставляется силовыми автобусами в зону действия кабель-кранов и разгружается в 8-м<sup>3</sup> бадьи.

Укладку бетонной смеси в русловую часть арочной плотины (пробку) намечено производить четырьмя башенными кранами с металлической эстакады. Доставка бетонной смеси в этом случае будет производиться от того же бетонного завода 10-г автосамосвалами.

Укладка бетонной смеси в тело плотины производится

50-см слоями длинными блоками на всю ширину плотины, ограниченными по длине сквозными вертикальными швами, устраиваемыми через 15 м. Высота блоков меняется по высоте плотины от 1,5 до 3 м. Блоки бетонируются в металлической передвижной опалубке. Разравнивание и уплотнение бетона в блоке производится бульдозерами, оборудованными навесными пакетами вибраторов. Охлаждение бетонных массивов намечено трубчатое водяное.

Бетонное хозяйство состоит из: бетонного завода производительностью 240 м<sup>3</sup>/ч (восемь бетономешалок по 2 400 л), складов заполнителей и цемента, компрессорной, бетонной лаборатории, холодильной установки, установки по изготовлению дробленого льда и насосной. Гравий охлаждается холодной водой; часть воды в бетономешалке заменяется дробленным льдом.

Заполнители поступают на бетонный завод по канатным дорогам от гравийного сортировочного завода, расположенного вблизи гравийного карьера на правом берегу р. Ингури. Для получения недостающего песка на заводе имеется пескодробильная установка.



# ЛАДЖАНУРСКАЯ ПЛОТИНА

Ладжанурская гидроэлектростанция в Грузинской ССР использует сток рр. Цхенис-Цкали и Ладжанури. На р. Цхенис-Цкали построена бетонная водозаборная плотина; сток реки поступает в канал длиной около 1 км, а затем по безнапорному туннелю длиной 5,2 км — в г. Ладжанури. Арочная плотина на р. Ладжанури создает водохранилища общей емкостью 25 млн. м<sup>3</sup> для суточного и недельного регулирования стока обеих рек. Полезная емкость водохранилища 18 млн. м<sup>3</sup> при высоте сработки 16 м.

Климат района теплый, среднегодовая многолетняя температура в районе арочной плотины составляет +12,5° С, среднемесячная температура в июле — августе колеблется в пределах 22—24° С при максимуме 41°С.

В состав гидроузла входят: бетонная арочная водосливная плотина, водоприемник деривационного туннеля с донными промывными галереями, переходящими в промывной туннель диаметром 3,8 м, и малая арочная плотина в нижнем бьефе для создания водобойного колодца.

Деривационный напорный туннель диаметром 5,5 м и длиной 2,5 км подает воду к турбинам, установленным в подземном машинном зале.

Для отвода р. Ладжанури в строительный период были сооружены строительный туннель диаметром 6 м и верховая земляная перемычка у входного портала туннеля с напорным откосом, покрытым бетонной облицовкой.

Перед началом наполнения водохранилища строительный туннель был перекрыт бетонной пробкой.

В теле арочной плотины предусмотрены водоспуски, предназначенные для пропуска строительных расходов в период после устройства бетонной пробки в строительном туннеле, а также для возможности опорожнения водохранилища в период эксплуатации.

Створ плотины расположен в узком каньоне, сложенном известняками. Плотина состоит из арки, перекрывающей ущелье, и бетонной пробки в ее основании.

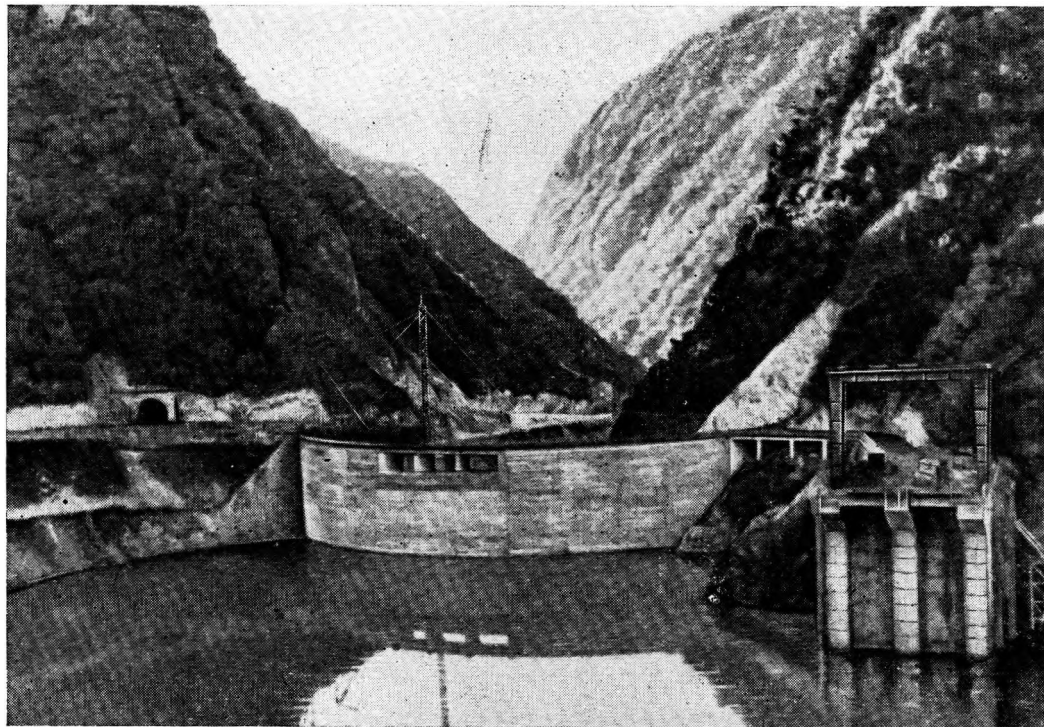
Арочная плотина выполнена в виде монолитной конструкции двойкой кривизны, заделанной по периметру.

Плотина бетонная с конструктивным армированием трех верхних арок для образования антисейсмического пояса.

Строительная высота плотины 69 м, из них арочная часть имеет высоту 49 м. Толщина плотины у гребня 2,5 м и внизу у пробки 7,6 м. Нижняя утолщенная часть (пробка имеет высоту до 20 м) выполнена круговой формы в плане и представляет собой сводчатый клин с переменной толщиной от 13 м у основания до 10,8 м у сопряжения с арочной частью плотины.

Длина плотины по гребню составляет 127 м, а длина хорды — около 100 м. Соотношение хорды к высоте 2,04. Отношение толщины арки понизу к высоте, т. е. коэффициент стройности, 0,15. Радиусы арок переменные от 59,5 до 36,6 м внизу. Центральные углы арок меняются соответственно от 125 до 78°. Поперечный профиль плотины наклонен в сторону нижнего бьефа на 9,4 м.

На гребне арочной плотины размещены три водосливных



Общий вид.

отверстия с пролетом по 7 м, обеспечивающие сброс паводковых вод до 120 м<sup>3</sup>/сек.

В нижнем бьефе для гашения энергии сбрасываемой через водослив воды устроен водобойный колодец, где в качестве порога построена экспериментальная малая трехшарнирная арочная плотина высотой 15 м, толщиной 0,5 м и длиной по гребню 22,5 м.

Разрезка плотины на блоки бетонирования принята столбчатой. Плотина была разделена вертикальными усадочными швами на 13 секций, шириной по 10 м каждая.

Уплотнение швов было выполнено металлическими листами; в плоскости каждого шва устанавливались системы труб для первичной и вторичной цементации.

Ввиду необходимости заполнения водохранилища омоноличивание швов плотины пришлось провести в начале зимнего сезона, когда процесс раскрытия строительных швов еще не закончился; после окончания этого процесса была выполнена вторичная цементация швов.

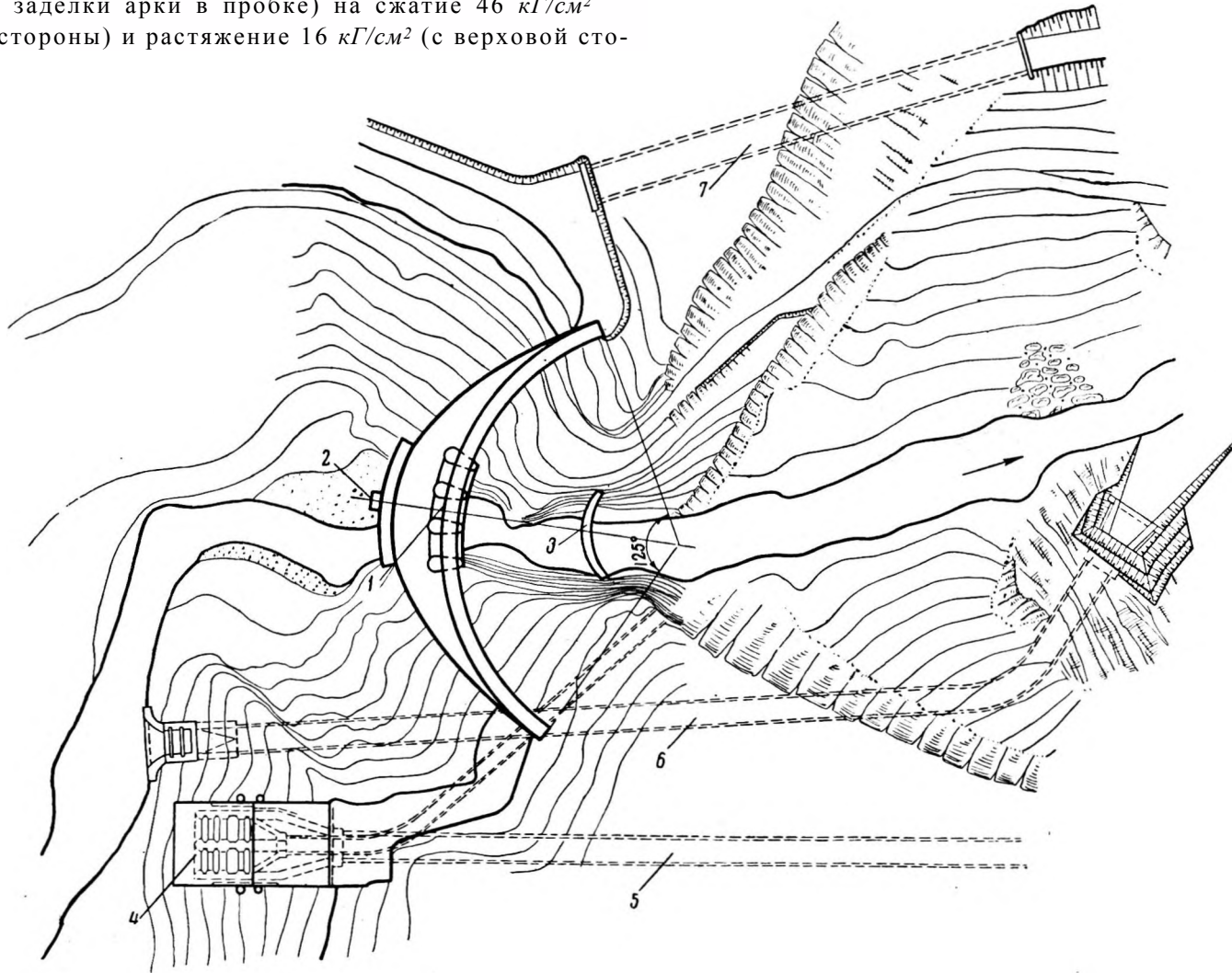
Для борьбы с фильтрацией в основании и бортах плотины устроена двухрядная цементационная завеса глубиной 30—40 м.

При проектировании плотины были выполнены статические расчеты по методу чистой арки. В основу расчета положены следующие характеристики известняков основания: модуль упругости 170 000 кГ/см<sup>2</sup>, модуль полной деформации (включая остаточные) 80 000 кГ/см<sup>2</sup>, временное сопротивление

ние на сжатие  $800—1\ 200\ \text{кг/см}^2$ , коэффициент Пуассона (роны). В арках максимальные напряжения получены в пятах: (в условиях естественного залегания)  $0,2—0,3$ , коэффициент сжатие —  $40\ \text{кг/см}^2$  и растяжение —  $8\ \text{кг/см}^2$ .  
 упругого отпора  $600\ \text{кг/см}^3$ .

По данным расчетов максимальные напряжения в консо- земельно-скальных —  $40\ 000\ \text{м}^3$  и бетонных —  $25\ 000\ \text{м}^3$ .  
 ли (в месте заделки арки в пробке) на сжатие  $46\ \text{кг/см}^2$   
 (с низовой стороны) и растяжение  $16\ \text{кг/см}^2$  (с верховой сто-

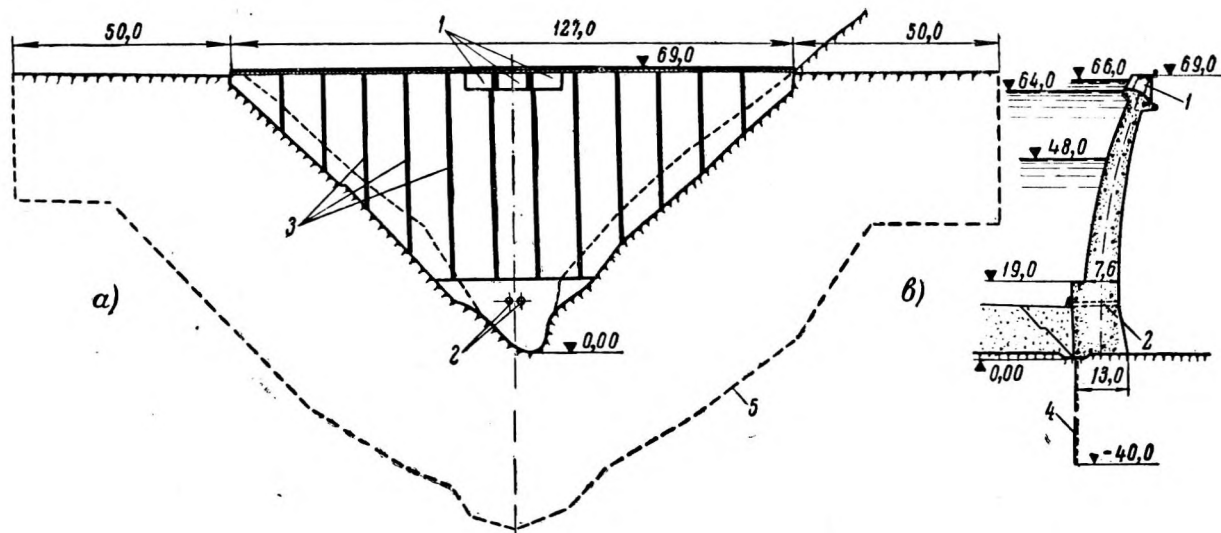
Объемы основных работ по арочной плотине составили:



План

1—водослив; 2 — водоспуск; 3 — малая арочная плотина; 4 — водоприемник; 5 — деривационный туннель; 6 — строительный туннель; 7 — транспортный туннель.





Разрезы: продольный по оси плотины (а) и поперечный (б).  
 1 — водослив; 2 — иодоспуск; 3 — температурно-усадочные швы; 4 — противофильтрационная завеса; 5 — граница противофильтрационной завесы (66,0—ФПУ; 64,0—НПУ; 48,0—УМО),

Организация земельно-скальных работ позволила произвести скальную выломку траншей по бортам, спускаясь сверху вниз и сбрасывая породу в русло. Вся сброшенная вниз порода и русловые аллювиальные отложения глубиной до 14 м были убраны экскаватором.

Бетонное хозяйство располагалось на расстоянии 3 км от арочной плотины.

Укладка бетона в блоки плотины производилась двумя башенными кранами и одним дерриком. Марка бетона 250. Укладка бетона в тело плотины была начата в январе 1959 г. и закончена в мае 1960 г.

Контроль за температурой бетонной смеси проводился при выходе ее из бетономешалки. Начальная температура бетонной смеси осенью и весной не превышала 15° С. Летом (в июле и августе) в бетонную смесь добавлялся дробленый

лед в количестве от 20 до 40 кг на кубометр, что давало снижение начальной температуры бетонной смеси на 3—4° С; укладка бетонной смеси производилась только в ночное время. Для дополнительного охлаждения уложенного бетона в теплое время было применено охлаждение речной водой, подававшейся к поверхности плотины по перфорированным трубам.

Для наблюдения за арочной плотиной заложена контрольно-измерительная аппаратура: телетензометры, усадочные конусы и пьезодинамометры. В пробке и на гребне арочной плотины заложены поверхностные марки для наблюдения за деформацией сооружения. В швах плотины заложены щелемеры. Наблюдения за перемещениями арочной плотины осуществляются посредством маятникового отвеса и геодезическими методами в контрольно-створных пунктах.



# СИОНСКАЯ ПЛОТИНА

Плотина Сионского водохранилища Верхне-Самгорской оросительной системы сооружается в ущелье р. Иори. Это водохранилище объемом 325 млн.  $m^3$  создает возможность полного регулирования стока р. Иори, что позволит оросить 80 тыс. га, а также получить 158 млн. квт-ч электроэнергии на Сионской и нижележащих Самгорских ГЭС.

В состав сооружений Сионского водохранилища входят: земляная плотина высотой 84,8 м, водосброс, строительный туннель, ирригационный водозабор и сооружения Сионской ГЭС—водоприемник, напорный туннель, стальной трубопровод и здание ГЭС.

Река Иори имеет среднегодовой сток 342 млн.  $m^3$  и характеризуется расходами: зимой—1,1—4,5  $m^3/сек$  и в паводок — 50—300  $m^3/сек$ .

Полезная емкость водохранилища 300 млн.  $m^3$  при высоте сработки 50 м.

Правый берег створа плотины сложен сарматскими конгломератами, в которых встречаются прослойки песчаников и глин толщиной до 5 м, прикрытые делювием мощностью 15—40 м из глин, тяжелых суглинков и лежащих под ними валунно-галечных отложений. В пойменной части реки залегают те же сарматские конгломераты, но прикрытые слоем 5—13 м современного речного аллювия высокой водопроницаемости.

На левом берегу конгломераты залегают почти на всю высоту склона и уходят под надвинутые на них более древние палеогеновые отложения.

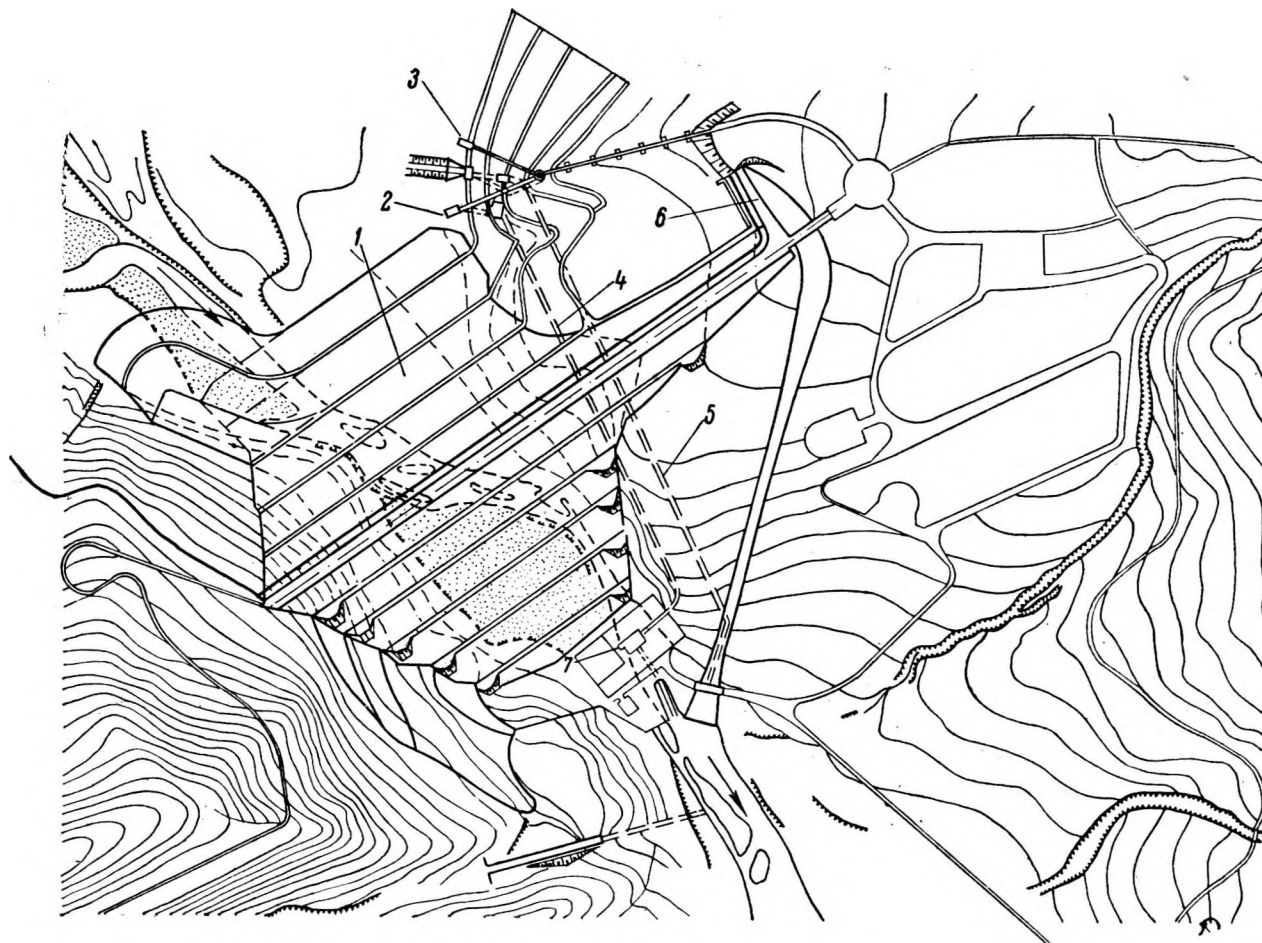
Для возведения плотины используются следующие различные грунты: галечно-валунно-песчаные отложения современной террасы р. Иори, занимающие пойменную часть Сионского уширения; запасы их составляют 12 млн.  $m^3$  при глубине разработки до 6 м; галечно-валунные отложения с глинистым или суглинистым заполнителем (глинистые конгломераты) левобережной надпойменной террасы; запасы их составляют 5,9 млн.  $m^3$  при объеме вскрыши до 650 тыс.  $m^3$ ; суглинки легкие и средние общим запасом до 1,15 млн.  $m^3$ .

В районе строительства имеются в достаточном количестве заполнители для приготовления бетона и камень для креплений откосов и устройства дренажных призм.

Земляная насыпная плотина сооружается в створе, где ущелье р. Иори сужается до 200 м. Плотина запроектирована с внешними призмами из галечно-валунных грунтов современного аллювия и ядром из суглинков, врезанным в коренные породы глубоким зубом.

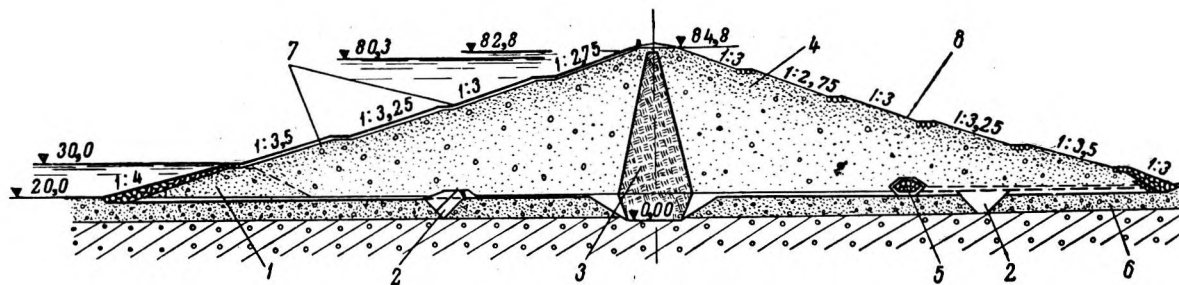
При строительной высоте плотины 84,8 м длина плотины по гребню составляет 780 м. Откосы: верховые—1:2,75 до 1:4, низовые—1:2,5 до 1:3,5; на переломах откосов устраивают бермы шириной по 5 м.

Крепление верхового откоса осуществляется бетонными плитами толщиной 40 см по гравийной подготовке 20 см. По низовому откосу предусматривается одерновка. С низовой стороны плотины запроектирована дренажная наклонная призма из крупного камня.



План.

1—земляная плотина; 2—водоприемник ГЭС; 3— водозабор; 4—энергетический туннель; 5—строительный туннель; 6—водосброс;  
7 — здание ГЭС,



Поперечный разрез.

1 —перемычка; 2 — противофильтрационные зубья; 3 — суглинок; 4 — галечно-валунные грунты; 5 — дренаж; 6 — аллювий; 7 —бетонные плиты по гравийной подготовке; 8 — одерновка (82,8 — ФПУ; 80,3 — НПУ; 30,0 — УМО).

Объем тела плотины 6 384 тыс.  $m^3$ , в том числе 291 тыс.  $m^3$  — пригрузка с верховой стороны правого берега, которая делается для предотвращения обвально-оползневых явлений при колебаниях горизонта воды.

Вдоль гребня плотины предусмотрен бетонный парапет высотой 1,35 м.

Плотина в настоящее время строится и будет введена в эксплуатацию с весны 1963 г.

В период строительства плотины река с расходом до 295  $m^3/сек$  пропускается по строительному туннелю диаметром 6 м. По завершении строительства этот туннель будет служить для ирригационных пусков до 24  $m^3/сек$ .

В конце строительного туннеля имеется водобойный колодец, общий с поверхностным паводковым водосбросом.

Паводковый водосброс рассчитан на расход 596  $m^3/сек$ . Водослив его с длиной порога 72 м и отметкой гребня на уровне НПУ примыкает к левому крылу плотины почти под прямым углом. Водослив переходит в бетонный быстроток длиной 557 м переменной ширины от 40 до 15 м в конце. Водосброс имеет в конце водобойный колодец длиной 72 м.

На левом берегу склона располагаются ирригационный водозабор на расход 24  $m^3/сек$  и водоприемник гидроэлектростанции. Вода из ирригационного водоприемника через кольцевые затворы спускается в строительный туннель. Вода из водоприемника ГЭС поступает в напорный туннель длиной 558 м и диаметром 2,8 м, а затем в напорный металлический трубопровод длиной 33 м и диаметром 2,4 м, в конце которого размещена Сионская гидроэлектростанция с двумя вертикальными гидроагрегатами мощностью по 4,5 тыс. квт.

## ХРАМСКАЯ ПЛОТИНА

Храмская ГЭС-1 является одной из регулирующих станций энергосистемы Грузинской ССР. Она сооружена на р. Храми и находится недалеко от г. Тбилиси.

Схема сооружений Храмской ГЭС-1 основана на использовании естественной Цалкинской котловины для создания крупного водохранилища и на спрямлении туннельной деривацией, расположенной ниже излучины р. Храми с падением около 400 м.

В состав сооружений ГЭС входят: плотина, напорная деривация длиной свыше 7,5 км, состоящая из двух напорных туннелей и железобетонного трубопровода между ними, уравеннительный резервуар, стальной турбинный трубопровод и здание ГЭС.

Водохранилище полной емкостью 312 млн. м<sup>3</sup> и полезной 292 млн. м<sup>3</sup> (при среднегодовом стоке р. Храми 308 млн. м<sup>3</sup>) создано путем сооружения в узком Цалкинском ущелье каменнонабросной плотины максимальной строительной высотой 32 м.

Головной узел сооружений, помимо плотины, включает: береговой водосброс, туннельный водоспуск и водоприемник с деривационного туннеля.

Ущелье в районе плотины сложено изверженными породами в виде напластований андезито-базальтов и контактов (представляющих собой древние покровные суглинки, обожженные лавами, или рыхлые вулканические выбросы), имеющих падение в сторону водохранилища под углом около 30°.

Плотина расположена у входа в узкое ущелье таким образом, чтобы водонепроницаемая ее часть находилась над глинистым пластом озерного происхождения, залегающим между долеритовым массивом и андезито-базальтовыми лавами.

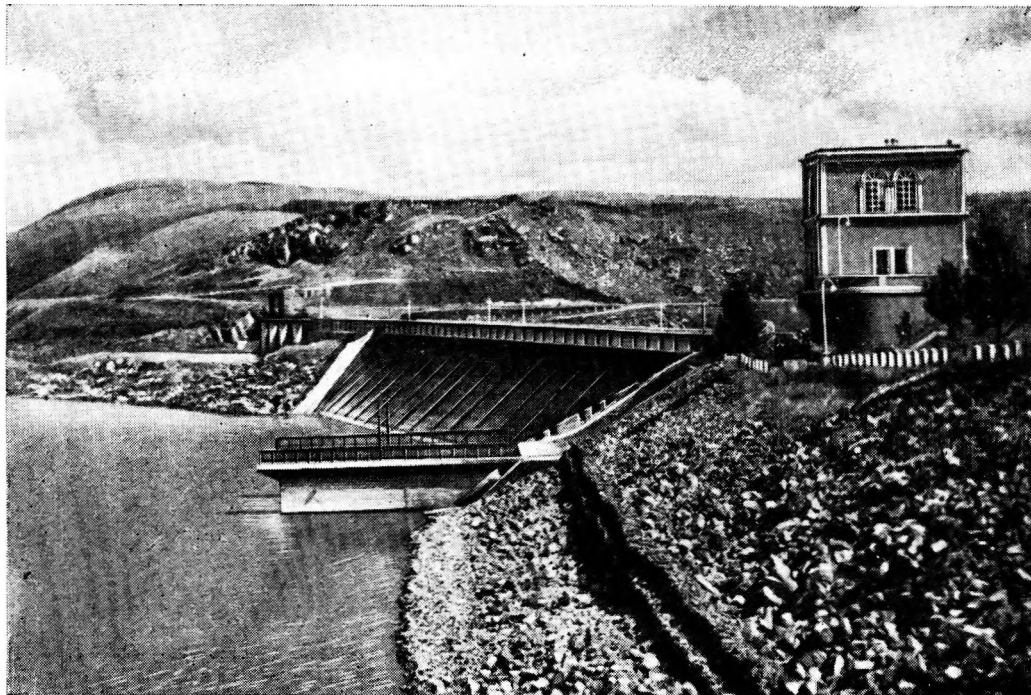
Верховой армированный бетонный зуб плотины расположен в долеритовом массиве несколько выше указанного глинистого пласта. После произведенной через бетонный зуб цементации долеритового массива до смыкания с глинистым пластом обеспечена надежная противофильтрационная завеса в обход и в основании плотины.

Тело плотины в основном выполнено из каменной наброски, упирающейся в низовой своей части в призму из наиболее крупных камней.

Верховой откос плотины принят равным 1 : 1,35, а низовой 1 : 1,4 с одной бермой шириной 3 м. С напорной стороны по каменной наброске устроена сухая кладка из крупного постелистого камня на ширину в основании до 5,0 м и вверху до 2,5 м. Поверхность сухой кладки покрыта выравнивающим слоем бетона толщиной в среднем 0,1 м.

По выравненной поверхности уложено основание под металлических балок-лаг с шагом 10,3 м, контурных железобетонных плит, расположенных вдоль верхового зуба плотины, и бетонных плит, заполняющих все пространство между балками-лагами с оставлением между ними горизонтальных швов





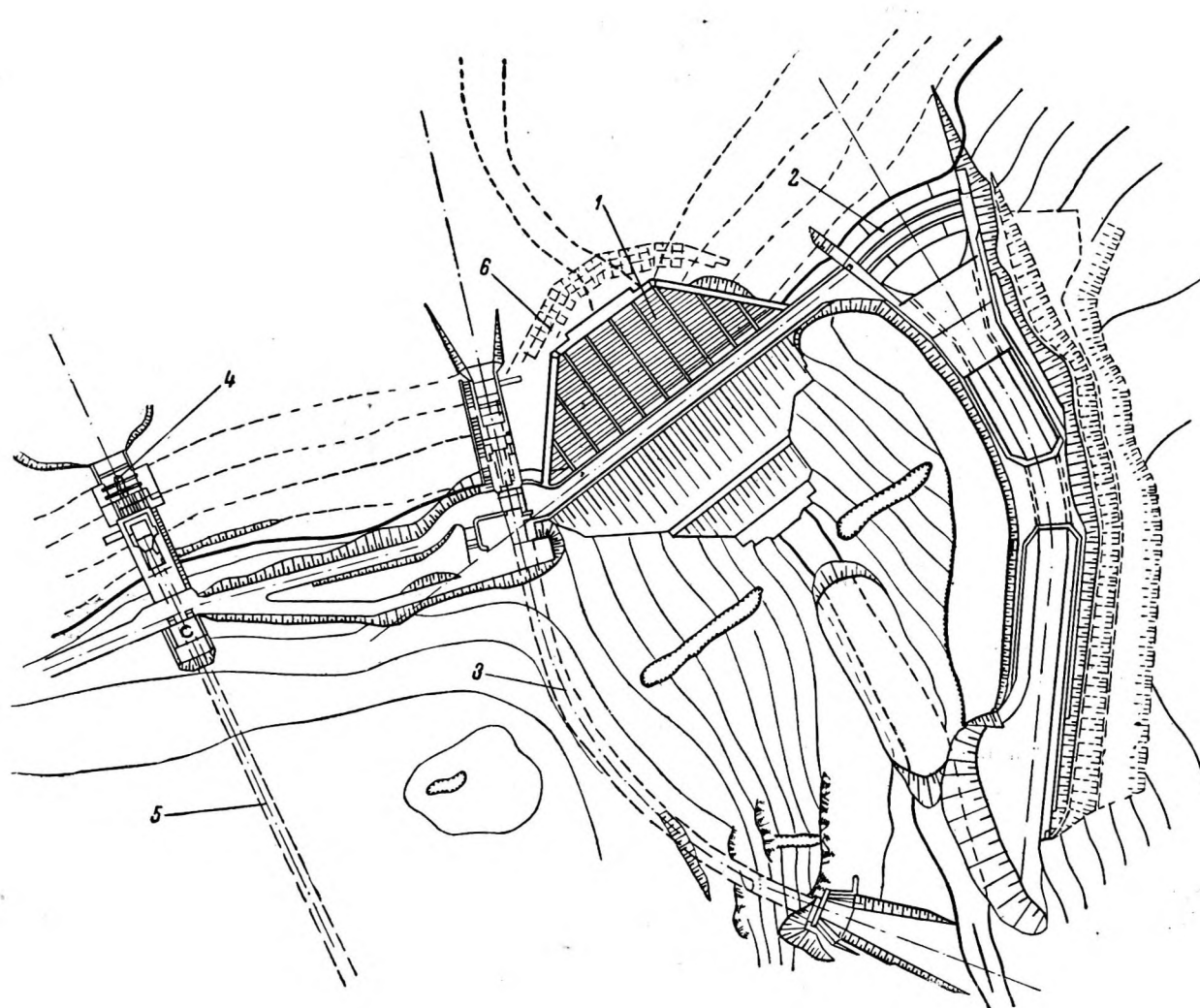
Общий вид.

толщиной 2 см и вертикальных швов 0,5 см для обеспечения ружных кромок листов; в поперечном (вертикальном) направлении листы соединены с одной стороны жесткими швами с накладкой на них швеллеров (через каждые 10,3 м), подэкранового основания 0,4 м.

На подготовленную поверхность верхового откоса плотины с другой стороны — гибким соединением в виде компенсатора. Крепление экрана с телом плотины осуществлено вдоль ребер жесткости с помощью анкерных болтов, заделанных в железобетонные балки-лаги. Конструкция анкерного крепления экрана обеспечивает возможность его подвижки от температурных колебаний и от осадки каменной наброски.

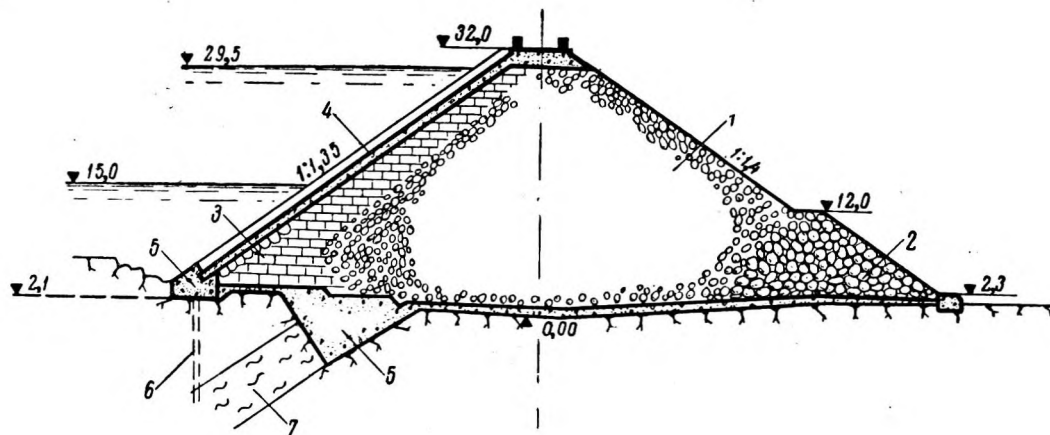
На подготовленную поверхность верхового откоса плотины с другой стороны — гибким соединением в виде компенсатора. Крепление экрана с телом плотины осуществлено вдоль ребер жесткости с помощью анкерных болтов, заделанных в железобетонные балки-лаги. Конструкция анкерного крепления экрана обеспечивает возможность его подвижки от температурных колебаний и от осадки каменной наброски.

Все листы экрана сварены по продольным (горизонтальным) швам внахлестку на электрозаклепках с обваркой на опорного U-образного компенсатора, одна сторона которого



План.

1—каменнонабросная плотина; 2—водоброс; 3 — водопуск туннельный; 4 — водоприемник; 5 — деривационный туннель; 6 — перемычка.



Каменнотрошная плотина, Поперечный разрез,

1—наброска из несортированного камня; 2—наброска из крупных камней; 3—сухая кладка; 4—металлический экран; 5—бетон; 6—противофильтрационная завеса; 7—глина (29,5—ФПУ; 15,0—УМО).

приварена к экрану, а другая — к закладному листу, забетонированному в зуб.

Полость зуба, в которой размещен компенсатор, заполнена эластичной битумной заливкой. Соединение экрана с гребнем плотины выполнено также подвижным в виде плоского компенсатора. Максимальные наблюдаемые осадки плотины по специально установленным маркам за 12-летний эксплуатационный период составили около 0,5% строительной высоты плотины. Наблюдения за фильтрацией производятся систематически через пьезометрические трубки, заложенные в теле плотины, причем заметной фильтрации нигде не обнаруживалось.

Для производства работ по плотине была сооружена с верховой стороны рязежая перемычка высотой 11 м, обеспечившая пропуск строительных паводков до  $150 \text{ м}^3/\text{сек}$  через строительный туннель диаметром 5,5 м и длиной 238 м. С низовой стороны плотины надобности в перемычке не имелось.

Ввиду сложности геологического строения в районе плотины была произведена очень тщательная подготовка ее ос-

нования. До начала производства каменной наброски в тело плотины крутые склоны ущелья были расчищены от разрушенной скалы и делювия, а места обнажения прослоек и контактов были прикрыты бетоном. Слой аллювия в русле реки мощностью до 4 м был удален до коренных пород.

Разработка андезито-базальтового камня для наброски производилась в котловане водосброса, расположенного на левом берегу и в карьере вблизи водосброса. Взорванная порода экскаваторами погружалась на опрокидные вагонетки емкостью  $5 \text{ м}^3$ , которые отвозились мотовозами к естественной сортировочной площадке, расположенной на склоне ущелья. Отсортированный камень снова погружался экскаваторами на вагонетки и отвозился по деревянной эстакаде со сбросом на соответствующий ярус плотины. Количество ярусов было принято 4 при высоте их 6—7 м. По пути от сортировочной площадки к плотине камень промывался в специальной промывной камере без выгрузки из вагонеток. Крупные камни из карьера отвозились непосредственно для укладки в плотину. Сброшенные камни частично разравни-

вались, а пустоты в кладке из крупных камней заполнялись мелким камнем.

Укладка камней в призме сухой кладки производилась краном на гусеничном ходу грузоподъемностью 6 т.

Для сооружения донного водоспуска использован строительный туннель путем устройства прямоугольного отверстия 1,8X2,8 м с затворами в железобетонной пробке, встроенной в туннеле под шахтой подъемных механизмов. Пропускная способность донного водоспуска 80 м<sup>3</sup>/сек.

Для сброса паводковых расходов при наполненном водохранилище на левом склоне ущелья сооружен водосброс

в виде бетонного водослива длиной 44,0 м, разбитого бычками на шесть пролетов, и следующего за ним водосбросного канала длиной 190 м.

Пропускная способность водосброса — до 500 м<sup>3</sup>/сек. Водоприемник ГЭС расположен несколько правее донного водоспуска и рассчитан на забор расчетного расхода 36 м<sup>3</sup>/сек.

При строительстве плотины выполнены следующие объемы основных работ: земельно-скальные—134,1 тыс. м<sup>3</sup>, каменная наброска — 86,20 тыс. м<sup>3</sup>, сухая кладка— 12,66 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 24,00 тыс. м<sup>3</sup>, металлический экран — 286 г, цементационные скважины—12 838 пог. м.



# ГУМАТСКАЯ ПЛОТИНА

Гуматская ГЭС 1 является одной из ступеней Рионского каскада.

Все основные сооружения гидроузла расположены на одной линии и создают подпор высотой 30 ж. Полная емкость водохранилища 39 млн. м<sup>3</sup>, и полезная — 13,5 млн. м<sup>3</sup>.

Наблюденные расходы реки составляют: минимальный — 19 м<sup>3</sup>/сек, максимальный — 1600 м<sup>3</sup>/сек. Среднегодовой расход 129 м<sup>3</sup>/сек. Максимальный расчетный расход повторяемостью 1 раз в 1 000 лет равен 2 700 м<sup>3</sup>/сек.

В районе расположения плотины залегают глинистые сланцы, прорезанные жилами диабазов. На одной из таких жил, представляющей пластовую интрузию мощностью более 100 ж, расположены сооружения ГЭС. Диабазы в створе плотины прикрыты галечным аллювием мощностью до 16 м.

Бетонная гравитационная плотина состоит из средней водосливной и двух береговых глухих частей. Между водосливной и левобережной частями плотины расположено здание ГЭС. Фундаментные части плотины и ГЭС заглублены в здоровую скалу. Общая длина фронта подпорных сооружений 280,5 м.

По всему фронту основания сооружений с напорной стороны устроена однорядная цементационная завеса глубиной от 10 до 25 м со скважинами, расположенными через 1,5 м. Под водосливной частью плотины и зданием ГЭС цементационная завеса усилена устройством двух дополнительных рядов скважин через 1,5 м глубиной 5 м, расположенных по обе стороны от основной завесы на расстоянии 1,25 м.

Водосливная часть плотины расположена в средней части русла реки. Напорная грань плотины вертикальна. Низовая грань имеет уклон 1 : 0,8 и очерчена по безвакуумному водосливному профилю. На гребне водослива расположены бычки толщиной 3 м, образующие четыре водосливных отверстия по 14 м в свету. Отверстия водослива перекрыты сдвоенными затворами с напором воды на пороге 8 ж.

На бычках возведена железобетонная эстакада высотой 11 м с расположением на ней помещений подъемных механизмов затворов. Ремонтные заграждения обслуживаются 100-т козловым краном, передвигающимся по балкам, уложенным в передней части между бычками.

Тело водосливной и глухих частей плотины с напорной стороны дренируется бетонными пористыми трубами диаметром 15 см, расположенными через 1,5 м. Дрены отводят воду в верхнюю и нижнюю смотровые галереи. Из верхней галереи вода сбрасывается в нижнюю, из которой она перекачивается в нижний бьеф шахтными насосами, установленными в верхней галерее и работающими автоматически в зависимости от поднятия уровня воды в нижней галерее. Нижняя галерея имеет увеличенные размеры для возможности производства работ по цементационной завесе в процессе строительства плотины, а также в последующем в случае возникновения необходимости усиления или ремонта завесы.

Нижняя галерея проходит по всей длине фундаментной части водосливной плотины и здания ГЭС и имеет шахтные

выходы в верхнюю галерею в начале водосливной плотины и на монтажную площадку в конце здания ГЭС.

Верхняя галерея проходит из правобережной глухой части плотины в водосливную и выходит в здание ГЭС на отметке пола машинного зала. Из левобережной глухой части плотины она выходит на монтажную площадку ГЭС.

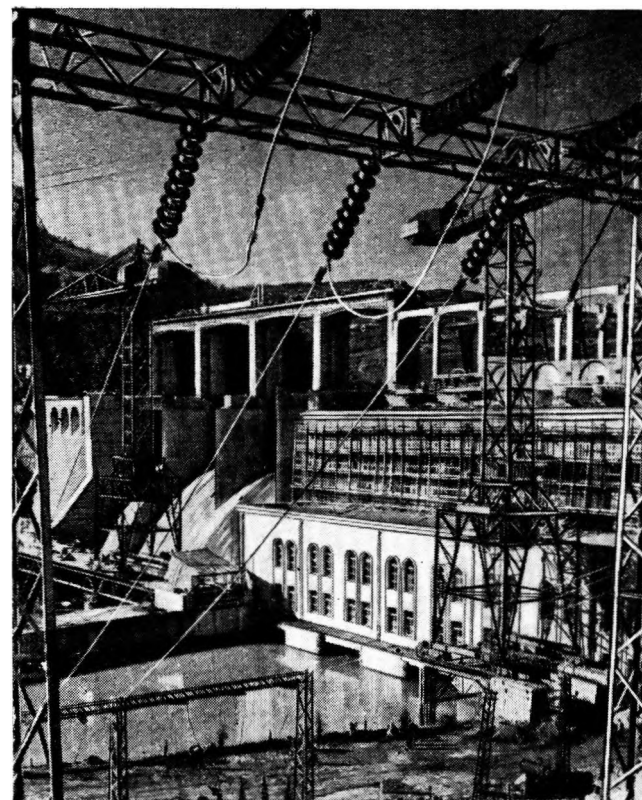
Водосливная плотина разрезана температурно-усадочными швами на три секции, каждая из которых имеет в средней части с низовой стороны надрез на глубину 1,5 м.

Общая пропускная способность подпорных сооружений без повышения НПУ составляет более 3 000 м<sup>3</sup>/сек. Водосливная грань плотины выполнена из бетона, приготовленного на гранитном щебне.

Поскольку при вскрытии котлована в нижнем бьефе скала оказалась трещиноватой с блочными отдельностями, то в нижнем бьефе трех отверстий плотины был устроен водобойный колодец-гаситель. Колодец выполнен оригинальной конструкции, что позволило сократить его длину до 31,3 м. У основания сливной поверхности плотины установлены железобетонные водобойные пирсы высотой 5 м и толщиной 2,5 м с расстоянием между ними 2,0 м. За пирсами дно колодца резко повышается на 6 м с откосом 45°, а далее после горизонтального участка снова резко повышается на 4 м. Дно колодца облицовано железобетонной плитой, жестко связанной с бетонным зубом в конце колодца, заглубленным в скалу.

Сливающийся в колодец поток, проходя через водобойные пирсы, расщепляется на отдельные струи, которые, ударяясь в первую, а затем вторую наклонные плоскости дна колодца, производят гашение энергии. Габариты колодца выбраны по опытным исследованиям в гидротехнической лаборатории ТНИСГЭИ.

При разработке котлована под правую часть плотины (блок с четвертым водосливным отверстием) была обнаружена здоровая скала высокого качества на более высоких отметках, чем под остальной частью плотины. Поэтому первый блок плотины выполнен с повышенным залеганием осно-



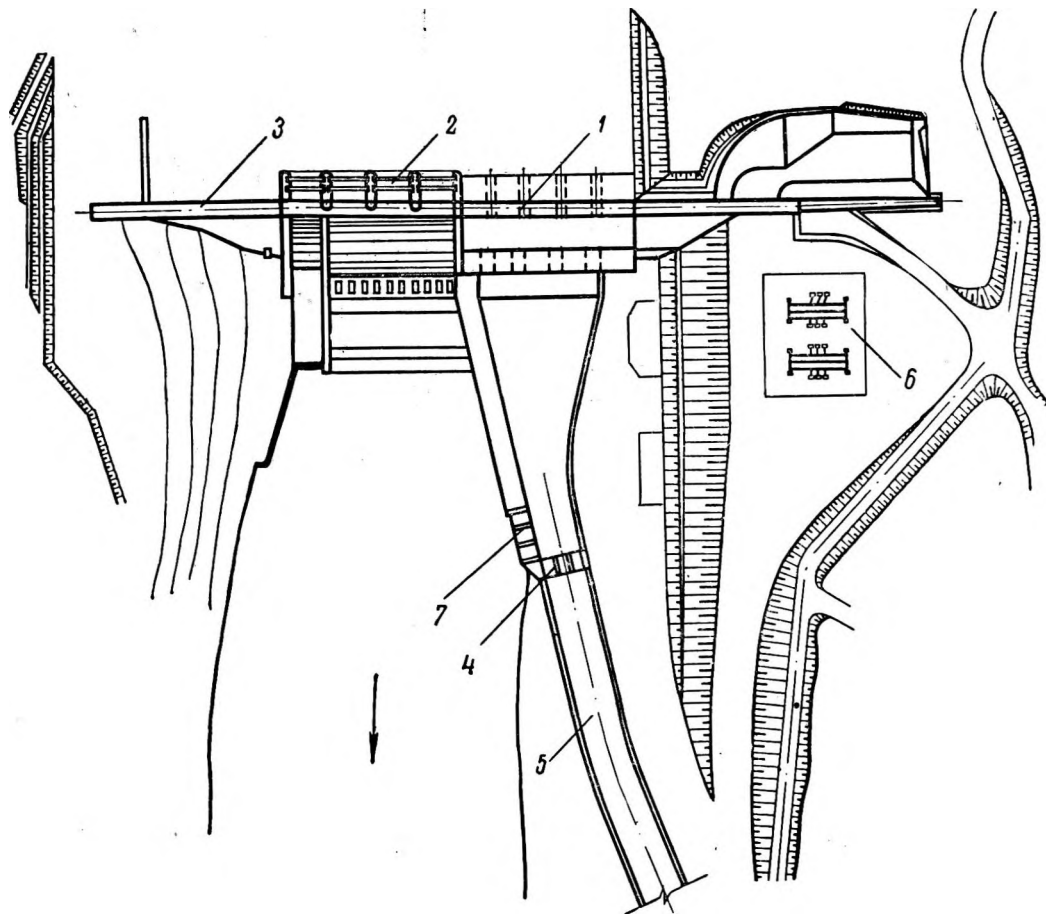
Общий вид.

вания и без колодца в нижнем бьефе, что вызвало устройство в нижнем бьефе бетонной раздельной стенки.

Паводковые расходы обычного порядка пропускаются без участия четвертого отверстия водослива, который вступает в действие при паводках, близких к расчетному. По причине редкой работы этого отверстия скала в его нижнем бьефе оставлена без облицовки.

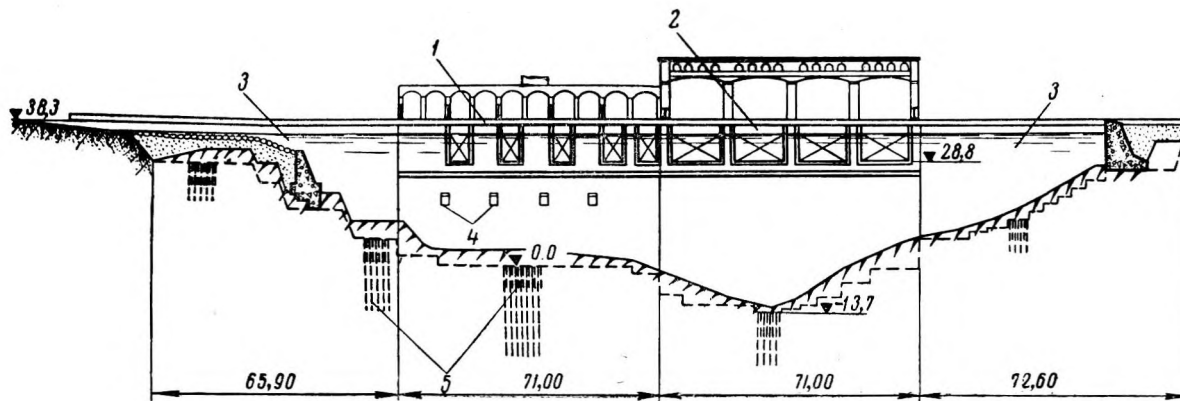
Глухие бетонные части плотины имеют напорные грани вертикальные и низовые, наклонные с уклоном 1 :0,8 м.

Здание ГЭС, расположенное между водосливной и левобережной глухой плотинами, поддерживает общий подпор воды своей передней утолщенной стенкой. Длина здания ГЭС 71,0 м. В передней стенке ГЭС на отметке порога водослива плотины устроены четыре водоприемника, от которых напорные водоводы подводят воду к турбинам. В правом блоке ГЭС, примыкающем к водосливной плотине, имеется перепускная галерея для подачи воды в канал ниже лежащей ГЭС-11 в количестве  $105 \text{ м}^3/\text{сек}$  в обход агрегатов ГЭС-1 в случае выключения их из работы. В передней стенке ГЭС имеются также четыре промывные галереи, облицованные камнем размером  $2 \times 2 \text{ м}$ , которые проходят через фундаментную часть здания ГЭС и выходят в водобойный колодец плотины.

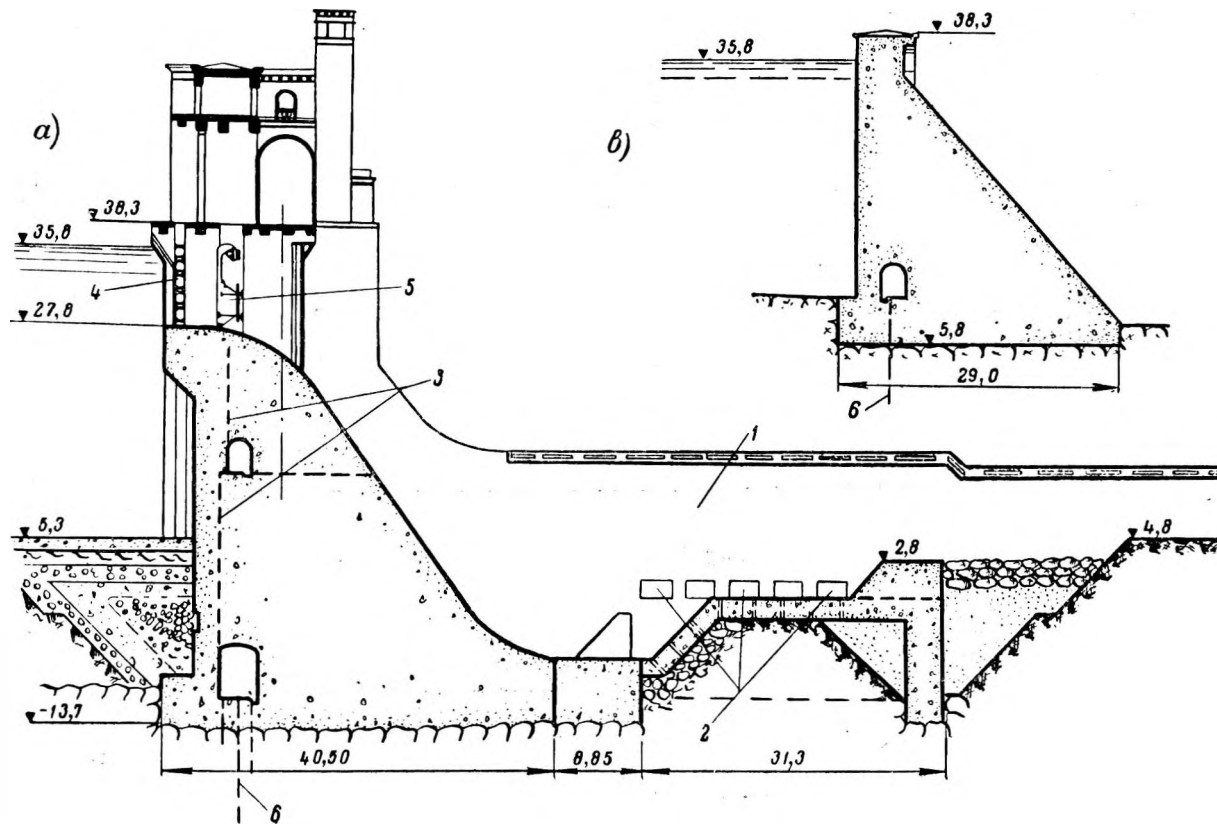


План.

1— здание ГЭС; 2— водосливная плотина; 5— глухая плотина; 4— головной шлюз деривационного канала; 5— деривационный канал; 6— ОРУ; 7— водосброс.

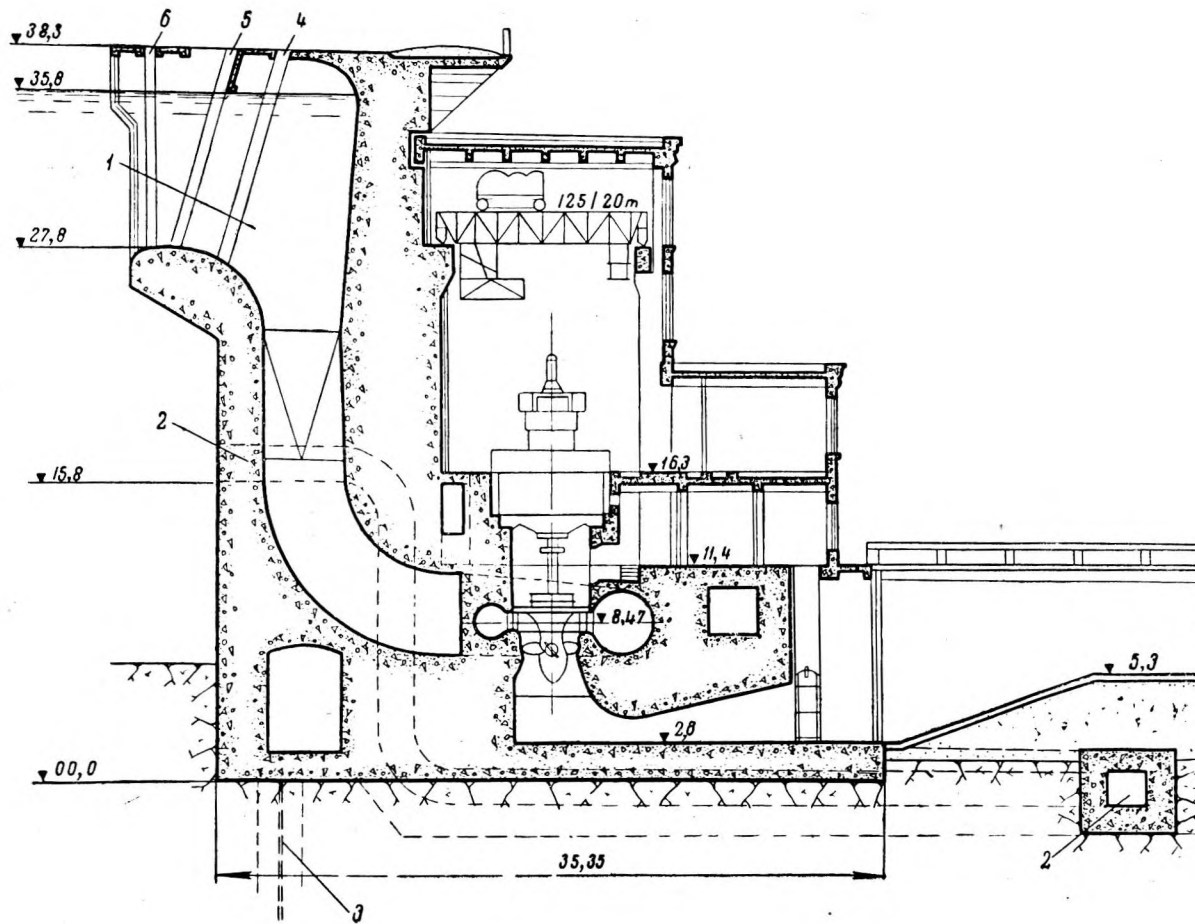


Вид с верхнего бьефа,  
 1—здание ГЭС; 2—водосливная плотина; 3—глухая плотина; 4—промывочные галереи; 5—противофильтрационная завеса.



Поперечные разрезы.  
 а — разрез по водосливной части; б — разрез по глухой части; 1 — водобойный колодец; 2 — промывные галереи; 3 — дренажные скважины; 4 — ремонтный затвор; 5 — основной затвор; 6 — противофильтрационная завеса.





Разрез по зданию ГЭС.

1 — водоприемник; 2 — промывные галереи; 3 — противофильтрационная завеса; 4 — паз основного затвора; 5 — паз решетки; 6 — паз ремонтного затвора (35,8—НПУ).

Общим объемом земельно-скальных работ по плотинам и ГЭС 303 тыс. м<sup>3</sup>, бетона и железобетона — 210 тыс. м<sup>3</sup>. Объем бетона водосливной плотины 97 тыс. м<sup>3</sup>.

Строительство гидроузла велось в две очереди. В первую очередь строились правобережная глухая и водосливная плотины и один блок здания ГЭС. Расходы реки в этот период пропускались по левом стесненной части русла.

Во вторую очередь строились основная часть здания ГЭС и левобережная глухая плотина. Строительные расходы пропускались через четыре донных отверстия, оставленные в фундаментной части водосливной плотины, которые впоследствии были заполнены бетоном.

В первый период строительства бетон подавался башенными кранами по строительной эстакаде, устроенной с нижней стороны сооружений. После монтажа 10-г кабель-крана по всему фронту сооружений бетонные работы выполнялись этим краном.

Сооружения возводились строительными блоками высотой по 3 м в деревянной опалубке. Блоки бетонирования выдерживались до примыкания к ним новых блоков в течение 8 суток.

Напорные грани всех подпорных сооружений и стенок в нижнем бьефе выполнены в плитах-оболочках. В сборном железобетоне выполнены: помещение подъемных механизмов плотины, междуэтажные перекрытия и перегородки помещений здания ГЭС и ЗРУ, подкрановые балки в здании ГЭС и на плотине и перильные ограждения на подпорных сооружениях. Армокаркасы и армосетки применены при бетонировании армированных конструкций нижней части и торцовых стенок здания ГЭС.

В плотину заложены термометры для измерения температуры кладки. В основании водосливной плотины и ГЭС из нижней галереи пробурены скважины, над которыми установлены манометры для измерения фильтрационного противодавления на подошву сооружений. Наблюдения показывают, что величина фильтрационного противодавления не превосходит принятой при расчете сооружений. Для наблюдений за осадками и смещениями сооружений на них, а также на берегах заложены геодезические реперы и марки. Смещения сооружений и осадки выражаются незначительными величинами.

Заполнение водохранилища до проектного НПУ и пуск ГЭС-I произведены в декабре 1958 г.

## ШАМБСКАЯ И ТОЛОРОССКАЯ ПЛОТИНЫ

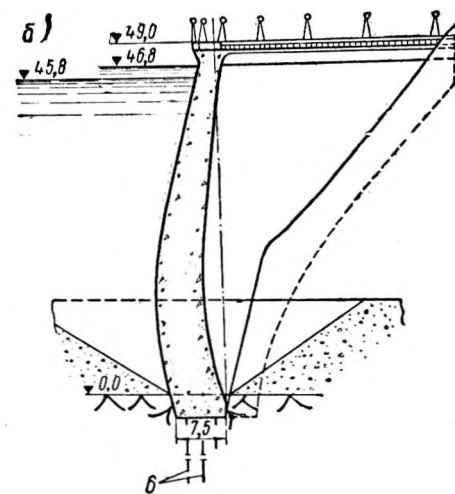
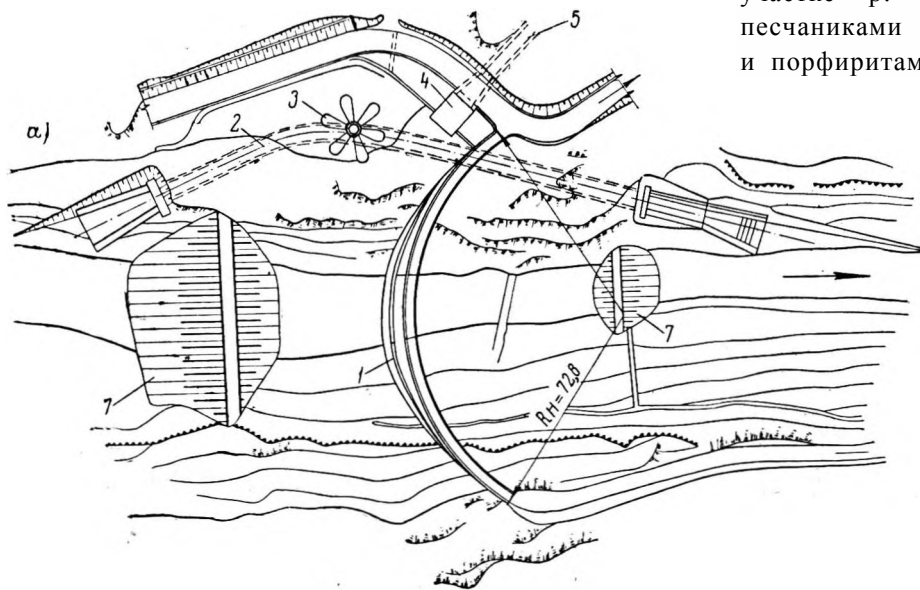
Высоконапорная Татевская ГЭС расположена в среднем течении р. Воротан, протекающей по территории Армении. Бассейн р. Воротан относится к влажной холодной нагорной части Малого Кавказа.

В комплекс сооружений Татевской ГЭС входят две арочные плотины: Шамбская высотой 49 м (в составе головного

узла) и Толоросская высотой 68 м, образующая Толоросское водохранилище.

Шамбская плотина. Среднегодовая температура воздуха в районе плотины равна 8°C, среднегодовая температура воды в водохранилище принята 7,3°C.

Створ плотины симметричен и расположен на прямом участке р. Воротан. Основание сложено известковыми песчаниками с прослойками туфоконгломератов, брекчиями и порфиритами. Последние залегают в правобережном скло-



Шамбская плотина.

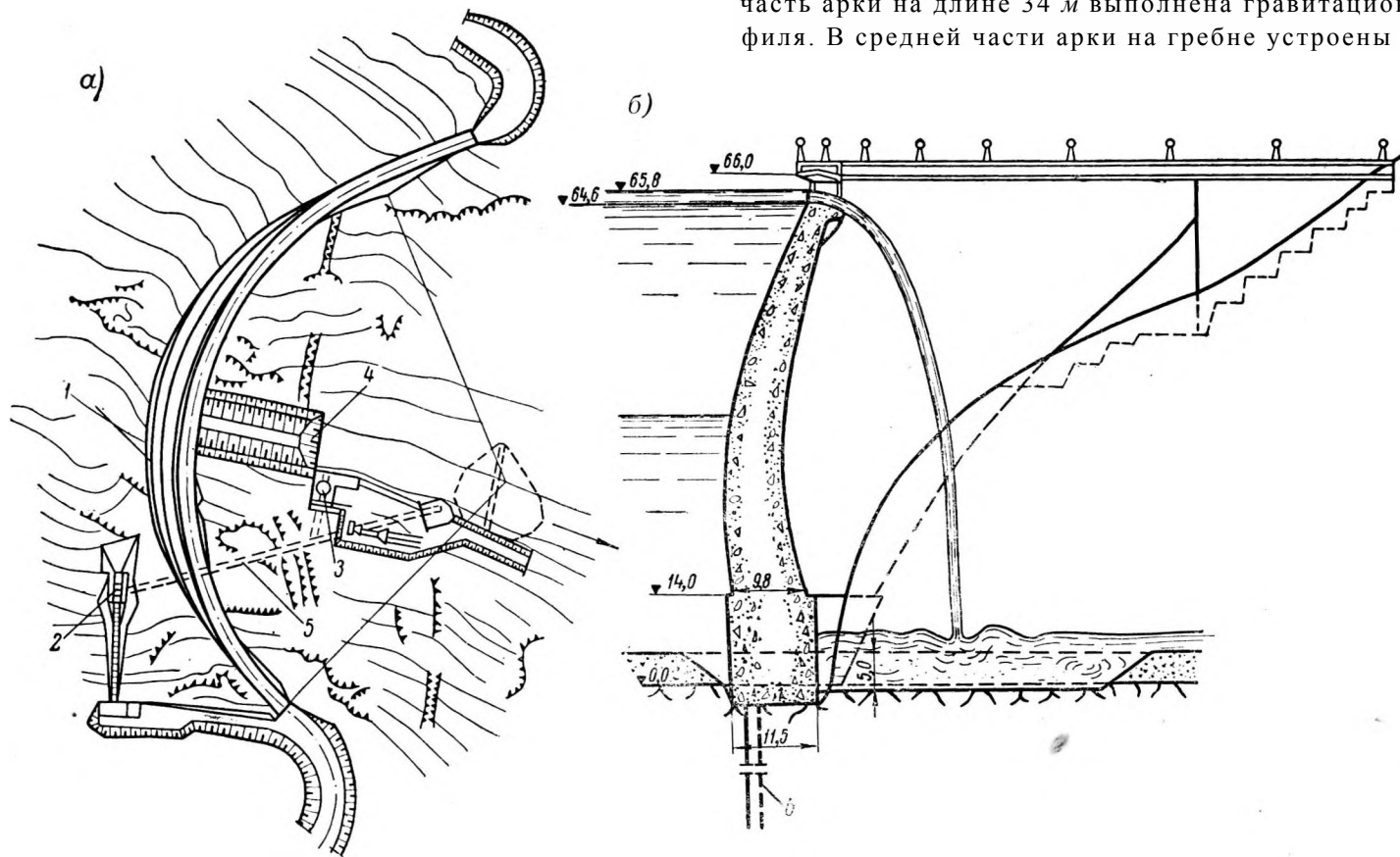
*a* — план; *б* — разрез; 1—арочная плотина; 2—строительный туннель; 3—шахтный водосброс; 4—водоприемник деривационного канала; 5 — деривационный канал; 6—цементационные скважины; 7—строительные перемычки (46,8 — ФПУ; 45,8—НПУ).

не. Породы плотные, водонепроницаемые, в русловой части и частично в пределах правого берега они прикрыты аллювиально-делювиальными отложениями, мощность которых в русловой части достигает 13 м.

В головной узел сооружений Шамбской плотины входят: арочная плотина (высота 49 м, длина по гребню 144,5 м и ширина по гребню 2,5 м; объем бетона 23 000 м<sup>3</sup>), эксплуатационный шахтный водосброс типа «маргаритка», водоприемник ГЭС и строительный туннель.

Плотина врезана в створ с симметричным очертанием, которое достигнуто за счет срезки бортов ущелья. Отношение ширины по основанию к высоте 0,153. По контуру основания предусмотрена двухрядная противофильтрационная цементационная завеса.

Толоросская плотина. В состав Толоросского узла сооружений входят: арочная плотина (высота 68 м, длина по гребню 237,5 м, объем бетона 53 000 м<sup>3</sup>), водоприемник ГЭС, совмещенный с водосбросом, и здание ГЭС. На левом берегу часть арки на длине 34 м выполнена гравитационного профиля. В средней части арки на гребне устроены два откры-



Толоросская плотина.

*a* — план; *b* — разрез; 1—арочная плотина; 2 — водоприемник ГЭС; 3 — здание ГЭС; 4 — водобойный колодец; 5—туннель подводящий водосбросной; 6—цементационные скважины (65,8 —ФПУ; 64,6— НПУ).



тых водосливных отверстия для пропуска сезонных паводко-условия: в бетоне не должны возникать растягивающие напряжения, которые могут привести к образованию трещин; вых расходов при напоре на пороге 1,2 м.

Для придания симметричности врезке плотины в берего- допускаяемые напряжения на сжатие в основании не должны вые склоны на левом берегу пришлось устроить гравитационнпревышать 60  $\kappa\Gamma/\text{см}^2$  (Шамбская плотина) и 80  $\kappa\Gamma/\text{см}^2$  ную секцию в виде устоя. По контуру основания плотины (Толоросская плотина); величина модуля упругости бетона предусмотрена двухрядная цементационная завеса глубиной на срез уменьшена до 98 500  $\kappa\Gamma/\text{см}^2$  с целью компенсации до 20 м. В основании плотины залегают порфириды, перекрыэффекта от нелинейности распределения срезающих усилий тые в русловой части аллювиальными отложениями мощ- между напорной и низовой гранями плотины; давление воды ностью 6—7 м. с нижнего бьефа не учитывается; марка бетона принята 300

Из .рассмотренных вариантов для арочных плотин Татев- при объемном весе 2,4  $\text{г}/\text{м}^3$ ; коэффициент Пуассона принят ской ГЭС наиболее экономичными оказались плотины двоя- для бетона  $1/6$ , для скалы Шамбского створа —  $1/4$ , для скалы кой кривизны. В обеих плотинах верхние части арок имеют Толоросского створа —  $1/5$ . постоянную толщину, а нижние в целях ликвидации чрезмер- Расчеты по методу пробных нагрузок с учетом гидроста- ного нависания в сторону верхнего бьефа расширены тического давления, температуры, давления наносов и к пятам. сейсмики дали следующие результаты: максимальные сжи-

Арочные плотины рассчитаны методами чистой арки мающие напряжения 55  $\kappa\Gamma/\text{см}^2$  (Шамбская плотина) и Г. Риттера — В. Скрыльникова, А. Стукки и методом пробных 66  $\kappa\Gamma/\text{см}^2$  (Толоросская плотина); максимальные растяги- нагрузок. При статических расчетах учитывались следующие вающие напряжения соответственно 19 и 18,7  $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ .

# МИНГЕЧАУРСКАЯ ПЛОТИНА

Земляная плотина Мингечаурской ГЭС является первой в мировой практике по времени своего возведения (1950—1954 гг.) высокой намывной плотинной из гравийно-галечных грунтов, сооруженной в сейсмическом районе.

Плотина максимальной высотой в русловой части 80 м и объемом 15,6 млн. м<sup>3</sup> имеет длину по гребню 1 550 м. Плотина образует водохранилище многолетнего регулирования общим объемом 16 млрд. м<sup>3</sup>, из которых полезный объем составляет 7,5 млрд. м<sup>3</sup>.

Мингечаурский гидроузел имеет комплексное назначение и разрешает вопросы ирригации, энергетики, водного транспорта и борьбы с наводнениями.

В состав гидроузла входят: земляная плотина, гидроэлектростанция с деривационными сооружениями, донный водосброс на расход 3 000 м<sup>3</sup>/сек и поверхностный водосброс на расход 2 000 м<sup>3</sup>/сек. Донный водосброс имеет основное назначение как строительный водосброс и используется в качестве дополнительного эксплуатационного водосброса.

Мингечаурская гидроэлектростанция приплотинного типа имеет установленную мощность 371 тыс. квт и среднегодовую выработку 1,45 млрд. квт-ч.

Земляная плотина построена в месте сужения широкой речной долины отрогами горного хребта. Образованная ими горловина характеризуется наличием в береговых примыканиях плотины горных склонов, возвышающихся на 150—200 м над руслом реки шириной 200 м и широкой левобережной

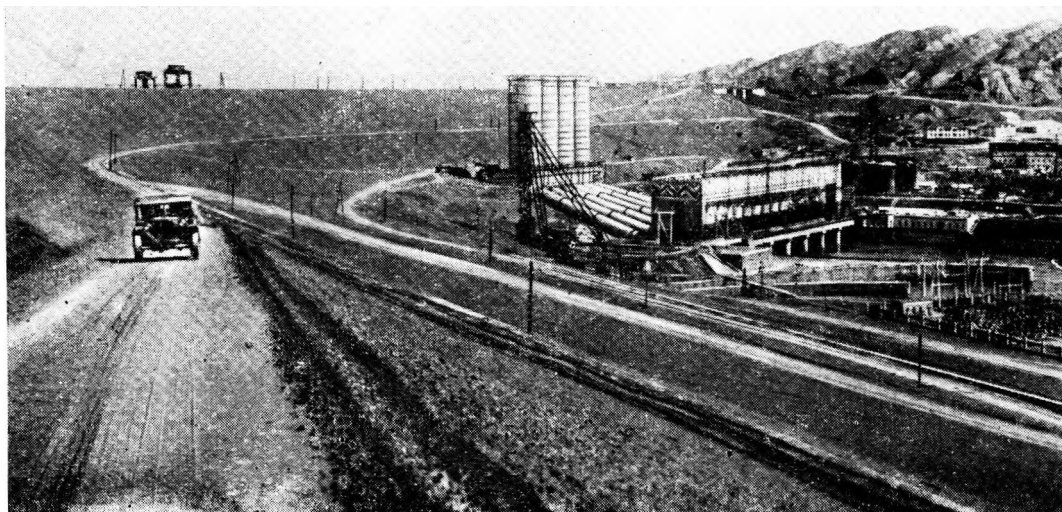
поймой. В бортовых примыканиях и основании земляной плотины залегают перемеживающиеся пласты коренных полускальных пород, представленных песчаниками и переуплотненными глинами типа мергелей.

Расчетный бытовой расход повторяемостью 1 раз в 100 000 лет в зарегулированном состоянии равен 3 500 м<sup>3</sup>/сек. Расход в период строительства повторяемостью 1 раз в 100 лет 2 960 м<sup>3</sup>/сек, а повторяемостью 1 раз в 20 лет 2 470 м<sup>3</sup>/сек. Максимальный наблюдаемый среднесуточный расход реки равен 2 657 м<sup>3</sup>/сек.

Мягкий южный климат допускал круглогодичное производство строительных работ. Среднегодовая температура воздуха колеблется около 14° С. Очень жаркое лето и мягкая зима с максимальной годовой амплитудой температуры от +39 до —15° С.

Плотина намыта из песчано-гравелистого грунта с содержанием песчаных фракций 60—65%, с небольшим содержанием пылеватых и глинистых фракций.

В основании плотины в правобережном примыкании русловой части и частично левобережной устроена противофильтрационная завеса глубиной от 30 до 50 м, образованная в основном одним рядом битумизационных скважин, пробуренных с дневной поверхности. В местах пересечения мощных слоев песчаника завеса усиливалась вторым рядом цементационных скважин. Завеса устроена в той части основания, где простираются пласты коренных пород нормально (или

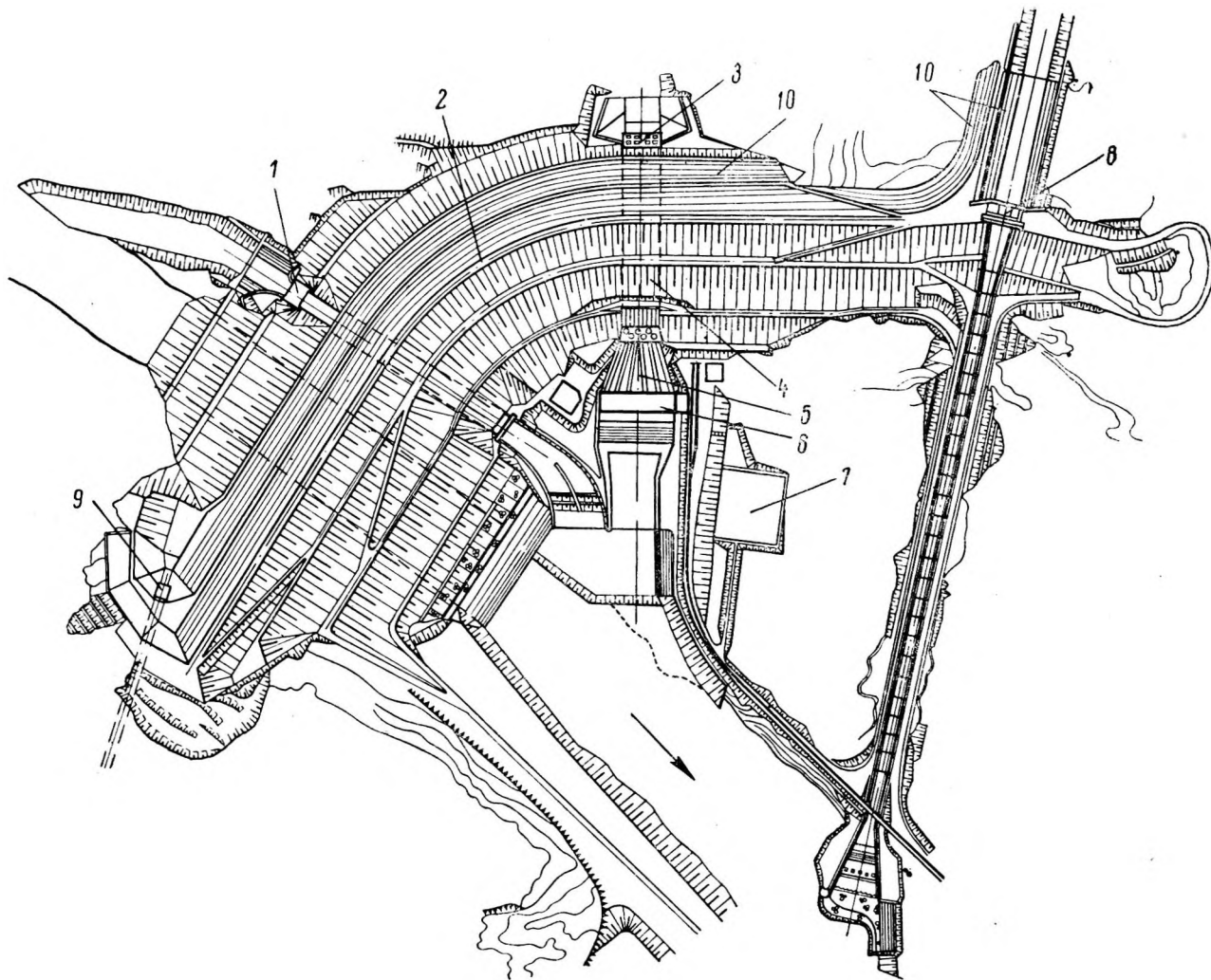


Общий вид.

близко к нормальному) к оси плотины; в левобережной части основания, где простираение пластов параллельно оси плотины, завесы не устраивалось.

Коэффициент запаса устойчивости откосов плотины в эксплуатационных условиях, определенный на основании исследований геотехнических характеристик намытых грунтов, составлял от 1,42 до 1,86, то же в расчетных катастрофических условиях — от 1,20 до 1,30. Эти величины соответствуют условиям работы плотины в период после закончившегося самоуплотнения ядра. В период, предшествующий консолидации ядра, расчетный коэффициент запаса устойчивости откосов плотины колебался в пределах от 1,0 до 1,1.

Для наблюдения за процессом консолидации ядра по оси плотины, и заложена соответствующая контрольно-измерительная аппаратура. Кроме того, путем бурения глубоких скважин отбирались образцы грунта в различных местах ядерной части плотины. В таблице приводятся данные о средних геотехнических характеристиках намытых грунтов плотины. Коэффициент сдвига плотины по основанию 0,47—0,50, удельный расход фильтрации 0,13 л/сек на 1 пог. м, общий фильтрационный расход через плотину 120 л/сек.



План.

1 — лонный водосброс; 2 — земляная плотина; 5 — водоприемник; 4 — деривационный водовод; 5 — турбинные водоводы; 6 — здание ГЭС;  
7 — ОРУ; 8 — поверхностный водосброс; 9 — водозабор; 10 — железобетонные плиты.



Показатели	Наружные призмы	Промежуточные призмы	Ядро
Объемный вес скелета грунта, $т/м^3$ . .	1,95	1,70	1,57—1,66
Угол внутреннего трения, $град$ . . . .	35	33	27
Коэффициент фильтрации, $см/сек$ . . . .	0,01	0,01	0,0002
Размер зоны, % ширины профиля . . . .	50	40	10
Коэффициент бокового давления . . . .	—	—	0,4—0,5
Содержание глинистых частиц менее 0,005 мм, % . . . . .	—	—	8—12,5
Содержание пылевых частиц 0,05—0,005 мм, % . . . . .	—	—	22—25

Возведение плотины началось с отсыпки пионерным способом в направлении от правого берега к левому низового каменного банкета, входящего в профиль плотины. Замыкание прорана производилось в январе 1951 г. при расходе реки 190  $м^3/сек$  и заняло около 20 ч. Низовым банкетом расходы реки были отведены в донные трубы, представляющие собой

четырёхчковую железобетонную конструкцию. Дойные трубы были рассчитаны на пропуск расхода в период строительства повторяемостью 1 раз в 100 лет. Вслед за отсыпкой низового банкета была отсыпана в тиховод за ним низовая перемычка из гравийно-галечного грунта.

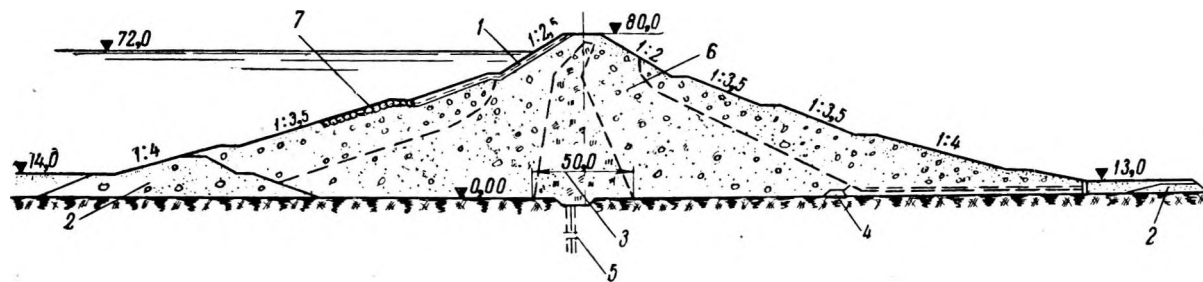
В феврале 1951 г. был начат намыв верховой перемычки пионерным способом под воду из двух проложенных по деревянным эстакадам пульповодов с торцовым выпуском пульпы. Были наметы последовательно вначале две промежуточные

и вертикали производилась в одну — три ступени. ные, а затем две наружные призмы; средняя призма непосредственно из пульповода не замыкалась, а представляла собой прудок, заполнявшийся песком в процессе намыва промежуточных призм. Надводная часть перемычки возводилась путем отсыпки наружных призм и замыва двусторонним способом с эстакад пространства между ними.

Цоколь наружной призмы центральной части плотины отсыпался насухо. Весь остальной объем тела плотины намывался. Намыв был начат в январе 1951 г. (цоколь центральной части). С февраля 1952 г. был начат намыв цоколя в русловой части плотины. Наибольшей своей интенсивности намыв плотины достиг во второй половине 1952 г. — первой половине 1953 г. Максимальная достигнутая интенсивность намыва составила 562 тыс.  $м^3/мес$  (июль 1953 г.).

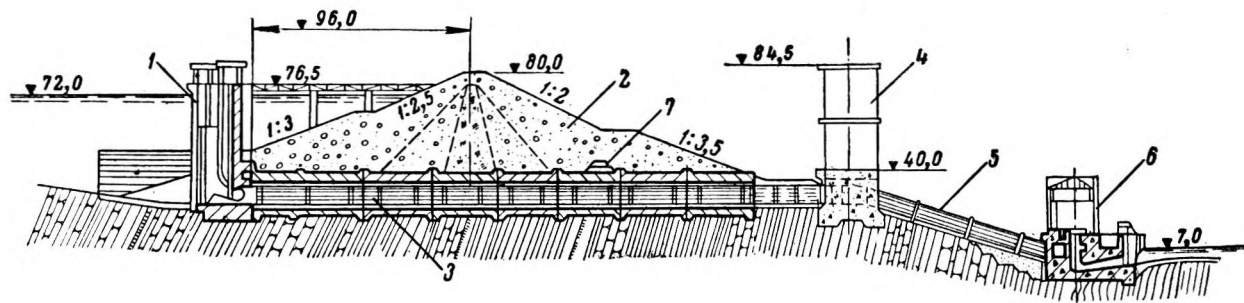
Намыв плотины производился двусторонним способом с использованием быстроразъемных соединений пульповодов большого диаметра. Он дал возможность опробовать, а в дальнейшем впервые осуществить прогрессивный метод безэстакадного торцового челночного мелкослойного намыва.

У подошвы низового откоса плотины на правом берегу реки был сооружен полубункер-смеситель. Разгруженный в него с железнодорожной эстакады грунт размывался гидромониторами, а стекавшая в зумпф землесосной станции пульпа перекачивалась на карту намыва. Перекачка грунта в зависимости от расстояния до карты намыва по горизонтали и вертикали производилась в одну — три ступени.



Земляная плотина. Поперечный разрез.

1—железобетонные плиты; 2—строительные перемычки; 3—суглинок; 4—дренажная призма; 5—противофильтрационная завеса; 6—песчано-гравелистый грунт; 7—крепление камнем (72—НПУ).



Разрез по деривационным сооружениям и зданию ГЭС.

1—водоприемник; 2— тело плотины; 3 — деривационный водовод; 4 — уравнильная башня; 5—турбинный водовод; 6—здание ГЭС;  
7 — дренажная призма (72,0—НПУ).

Намыв верховой перемычки, замыв понижений рельефа в цоколе центральной части и намыв тела плотины в начальный период в объеме 830 тыс. м<sup>3</sup> производились (с января 1951 г. по апрель 1953 г.) грунтами карьера, расположенного в верхнем бьефе на расстоянии 2—2,5 км от плотины. Карьер разрабатывался плавучими земснарядами с напорным гидравлическим транспортом разработанного грунта в тело плотины.

Весь остальной объем насыпей и намыва производился грунтами, добытыми на правобережном карьере, расположенном в нижнем бьефе на расстоянии до 10 км от плотины. Добыча грунта велась здесь 2—4-м<sup>3</sup> драглайнами из-под воды с погрузкой в железнодорожные составы (танк-паровозы с пятью-шестью думпкарами). В период наиболее интенсивного намыва в работе находились 20—22 железнодорожных состава, обслуживающих парк экскаваторов на добыче грунта с суммарной емкостью ковшей 50 м<sup>3</sup>. Движение производилось по двухколейным кольцевым путям в карьере и четырехколейным на участке карьер—плотина. В сутки обращалось до 170 пар поездов. Интенсивность разработки карьера доходила до 620 тыс. м<sup>3</sup>/мес (1953 г.).

Намыв плотины был полностью закончен в конце 1954 г. Средняя интенсивность роста плотины по высоте составила 1,7 пог. м/мес.

Плотина возводилась в процессе наполнения водохранилища, что создавало определенные трудности в организации работ и требовало обеспечения соответствующих темпов намыва.

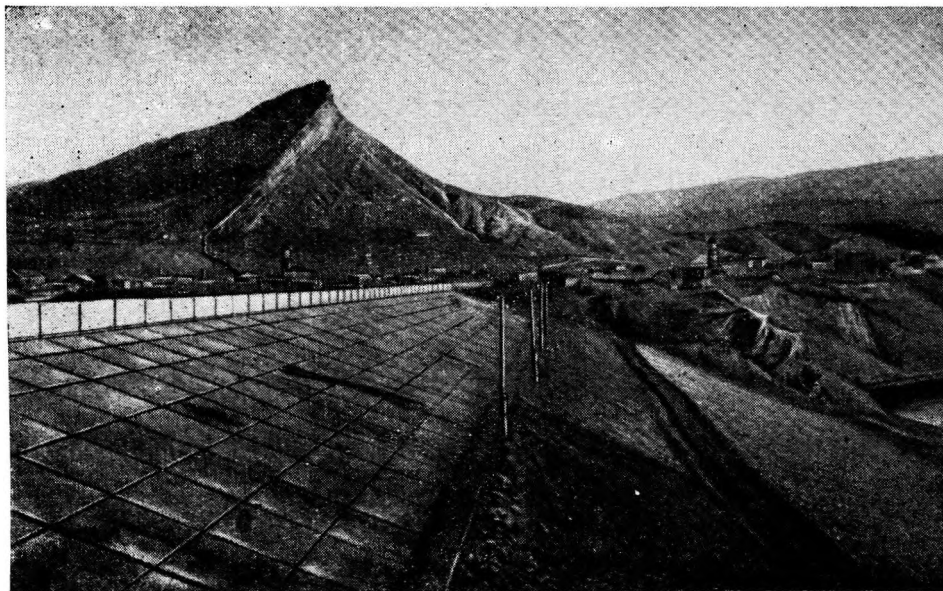
В период интенсивного намыва средний рост плотины по высоте равнялся 3 пог. м/мес, однако намыв отдельных участков профиля производился при максимальной интенсивности 1 пог. м/сутки.

Общий объем выполненных строительных работ по возведению сооружений Мингечаурского гидроузла составляет: выемка грунта—12 290 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе средствами гидромеханизации — 2 500 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь грунта — 1 820 тыс. м<sup>3</sup>, намыв — 14 710 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 843 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции и механизмы — 16 550 т, гидросиловое оборудование — 2 600 т, электротехническое оборудование — 6 630 г.

Гидроэлектростанция была введена в действие в декабре 1953 г.

## ЧИР-ЮРТСКАЯ ПЛОТИНА

Чир-Юртская гидроэлектростанция является самой нижней и первой по времени своего осуществления (1954—1961 гг.) ступенью каскада на р. Сулак в Дагестане. Водохранилище имеет энергетическое и ирригационное значение, а также обслуживает нужды водоснабжения. Гидроэлектростанция— деривационного типа; на ее отводящем канале сооружается вторая ГЭС.

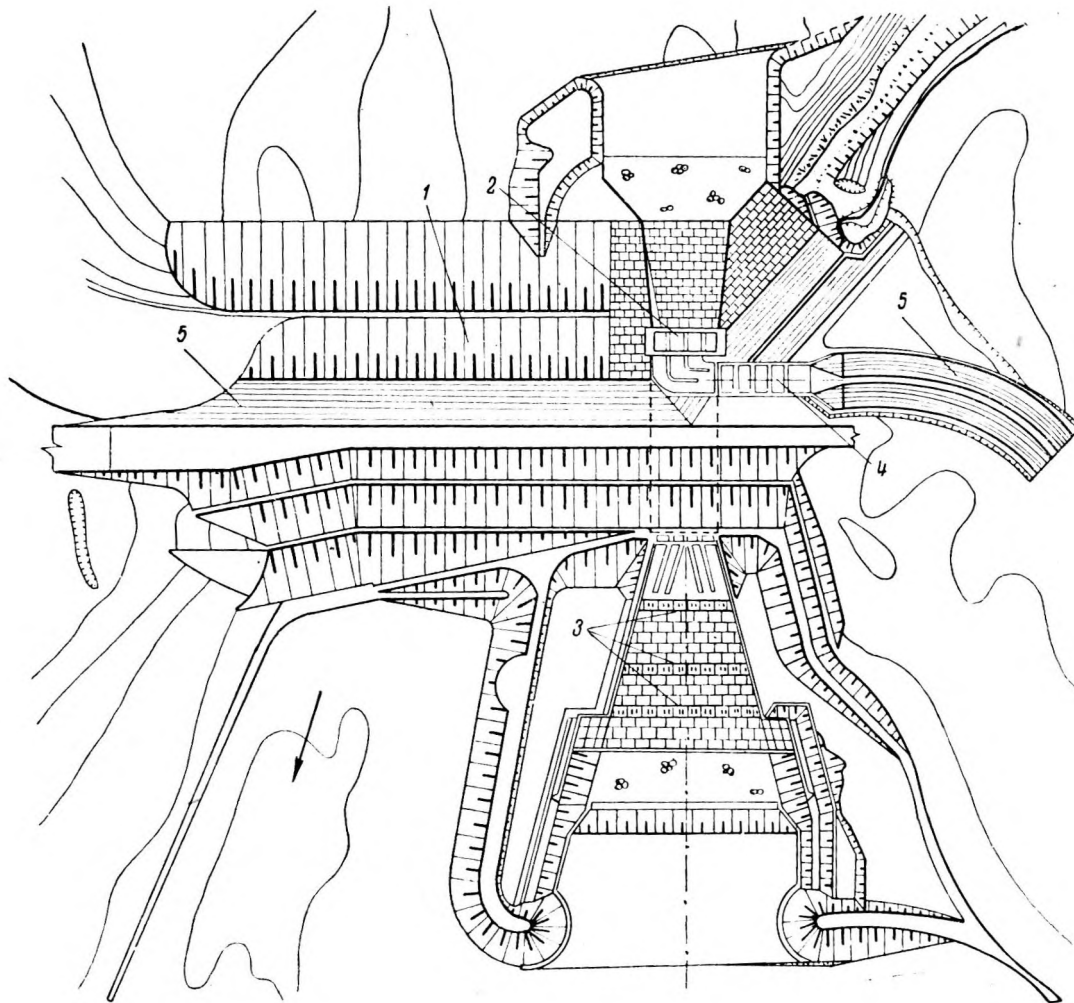


Общий вид.

Земляная плотина максимальной высотой в русловой части 37,5 м, объемом 1,0 млн. м<sup>3</sup> и длиной по гребню 430 м образует водохранилище недельного регулирования общим объемом 99 млн. м<sup>3</sup>, из которых полезный объем составляет 4 млн. м<sup>3</sup>.

Плотина построена в месте сужения широкой речной долины, где природные условия характеризуются наличием высоких надпойменных террас, образованных древними аллювиальными отложениями, представленными гравийно-галечными грунтами, переходящими местами в конгломераты. Аллювиальные отложения покрыты с поверхности суглинистым покровом различной мощности. Широкая пойма реки состоит из современных аллювиальных отложений, также представленных конгломератами с малыми коэффициентами фильтрации. Как древние, так и современные отложения подстилаются коренными породами, представляющими собой чередование пластов слабоцементированного, не очень плотного песчаника, известняка и плотных глин типа мергелей. Пласты коренных пород имеют падение в сторону левого берега и на север по течению реки под углом 42—48°. Мощность аллювиальных отложений в русле реки колеблется в пределах 3—8 м, они перерезаны зубом плотины. Тело плотины отсыпано поверх аллювиальных отложений. В крутых

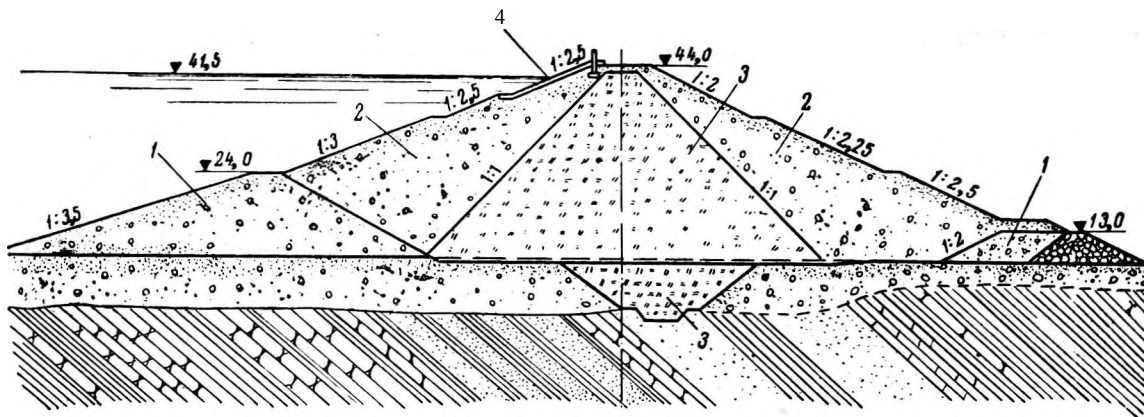




План.

1- земляная плотина; 2—глубинный водосброс; 3— гасители; 4—лзток деривационного канала; 5—бетонные плиты,





Поперечный разрез»

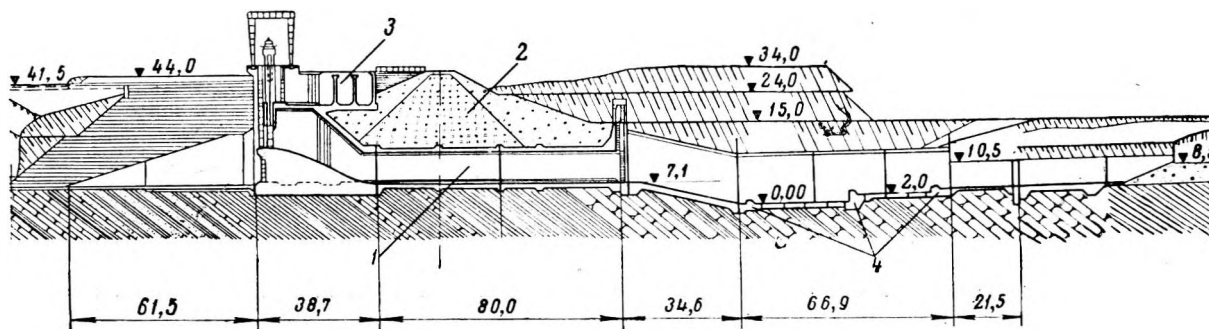
1—строительные перемычки; 2—гравийногалечный грунт; 3—суглинок; 4—бетонные плиты.

и обрывистых берегах в местах примыкания тела плотины отложения сняты до обнажения коренных пород.

Расчетные расходы повторяемостью 1 раз в 1 000 лет  $3\,000\text{ м}^3/\text{сек}$  и 1 раз в 100 лет  $1\,730\text{ м}^3/\text{сек}$ . Максимальный наблюдаемый расход реки был равен  $1\,450\text{ м}^3/\text{сек}$ .

Мягкий южный климат допускал круглогодичное производство строительных работ. Среднегодовая температура воздуха колеблется около  $11^\circ\text{С}$ . Жаркое лето и относительно мягкая непродолжительная зима с максимальной годовой амплитудой температуры от  $+36$  до  $-26^\circ\text{С}$ .

Плотина — насыпная: в средней части состоит из суглинистых грунтов, а в наружных призмах — из гравийно-галечных грунтов. Первая из них возводилась из грунтов левобережной надпойменной террасы, вторая — из аллювиальных русловых отложений нижнего бьефа. Степень уплотнения грунта в теле плотины характеризуется следующими цифрами: объемный вес скелета суглинка в естественном залегании —  $1,44\text{ т}/\text{м}^3$ , в теле сооружения —  $1,67\text{ т}/\text{м}^3$ , гравийно-галечного грунта в естественном залегании —  $2,08\text{ т}/\text{м}^3$ , в теле сооружения —  $2,23\text{ т}/\text{м}^3$ .



Водосброс.

1 — донные трубы; 2 — тело плотины; 3 — лоток деривационного канала; 4 — гаситель (41,5—НПУ).

Коэффициент запаса устойчивости откосов плотины в эксплуатационных условиях составлял по расчетным данным от 1,25 до 1,94, в расчетных катастрофических условиях—от 1,05 до 1,38.

Проектные средние геотехнические характеристики уплотненных грунтов плотины:

а) суглинистая часть: объемный вес скелета грунта  $1,65-1,60 \text{ т/м}^3$ , угол внутреннего трения  $20^\circ$ , коэффициент сцепления  $0,15 \text{ кг/см}^2$ , коэффициент фильтрации  $10 \text{ см/сек}$  ( $0,1 \text{ м/сутки}$ ),

б) гравийно-галечная часть: объемный вес скелета грунта  $1,9 \text{ т/м}^3$ , угол внутреннего трения  $35^\circ$ , коэффициент фильтрации  $0,023 \text{ см/сек}$  ( $20 \text{ м/сутки}$ ), коэффициент сдвига плотины по основанию  $0,33$  при угле внутреннего трения  $18^\circ$  и коэффициенте сцепления  $0,25 \text{ кг/см}^2$ , удельный расход фильтрации  $0,03 \text{ л/сек}$  на  $1 \text{ пог. м}$ , общий фильтрационный расход через плотину  $7,1 \text{ л/сек}$ .

Возведению плотины предшествовало сооружение донного водосброса, предназначенного для пропуска паводковых расходов реки. В начале строительства расходы реки пропускались в бытовом русле, стесненном продольной перемычкой донного водосброса. В дальнейшем расходы реки были переведены в донный водосброс и были отсыпаны верховая и низовая перемычки, вошедшие в профиль земляной плотины. Перевод реки в донный водосброс и перекрытие русла были произведены в меженный период при расходах, не превышавших  $60 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Добываемый в карьерах экскаваторами грунт доставлялся средствами безрельсового транспорта к месту отсыпки, разравнивался слоями по  $0,25-0,3 \text{ м}$  и укатывался за три-четыре прохода катка. В качестве большегрузного катка на пневма-



Уплотнение и увлажнение грунта.

тиках использовался груженный грунтом тракторный прицеп Д-179А общим весом брутто  $25 \text{ т}$ . Суглинок, доставляемый к месту отсыпки, предварительно замачивался в карьере (в целике) до оптимальной влажности.

Плотина была возведена за 15 мес. при средней интенсивности роста по высоте  $2,5 \text{ м/мес}$  и максимальной  $5 \text{ м/мес}$ .

Общий объем выполненных работ по возведению основных сооружений составляет: выемка грунта —  $1\,424 \text{ тыс. м}^3$ , насыпь грунта— $1452 \text{ м}^3$ , металлоконструкции и механизмы —  $2\,515 \text{ т}$ , гидросиловое оборудование— $1325 \text{ т}$ .

Плотина поставлена под напор в начале 1961 г. Гидроэлектростанция введена в действие в конце 1961 г.

# ЧИРКЕЙСКАЯ ПЛОТИНА

Местоположение плотины Чиркейской ГЭС выбрано в глудеформации известкового массива в природном состоянии боком Чиркейском ущелье, образованном в толще известняков верхнемелового возраста, залегающих горизонтальными слоями. нормально напластованию составляет  $150\ 000\ \text{кг/см}^2$ , а параллельно напластованию —  $200\ 000\ \text{кг/см}^2$ .

Ширина ущелья в нижней части створа плотины на высоте  $30\ \text{м}$  не превышает  $10\text{—}15\ \text{м}$ , а на высоте  $230\ \text{м}$ , соответствующей отметке гребня плотины, равна  $290\ \text{м}$ . Таким образом, отношение ширины ущелья на уровне гребня плотины к высоте равно  $1,26$ , что является благоприятным показателем для сооружения в таком ущелье арочной плотины. Эти же опыты, произведенные после цементации известнякового массива, показали увеличение модуля деформации примерно в  $1,5$  раза. Натурные исследования деформативных свойств известняков производились в штольнях на различном удалении от дневной поверхности береговых склонов ущелья.

Образующие ущелье известняки представляют собой весьма крепкие, но трещиноватые горные породы; трещиноватость их по мере углубления в береговые склоны уменьшается. Максимальный расчетный расход р. Сулак повторяемостью  $1$  раз в  $1\ 000$  лет равен  $2\ 700\ \text{м}^3/\text{сек}$  и повторяемостью  $1$  раз в  $20$  лет  $1\ 250\ \text{м}^3/\text{сек}$ . Гидрологический режим обусловлен талоливневым питанием с растянутым паводковым периодом с марта по октябрь, который объясняется большой разностью высот площади водосбора. Максимальные расходы талых вод наблюдаются в июле, а максимальные расходы ливневых вод могут иметь место в любое время паводкового периода.

Помимо трещиноватости, обусловленной в основном тектоническими причинами, известняки имеют тонкоплитчатое строение с прослойками мергеля между слоями известняка. Толщина мергелистых прослоек не превышает  $1\ \text{см}$ . Эти прослойки в массиве сильно спрессованы и трудно различимы в разрезах. Зимний сток как результат грунтового питания практически постоянен. Среднегодовое количество наносов в створе Чиркейской плотины равно  $20$  млн.  $\text{м}^3$ .

Тектонические трещины, как правило, заполнены глинистым материалом или крепко спаянным с массивом известняка кальцитом. Арочная плотина подпирает уровень реки против естественного уровня межени на  $205\ \text{м}$ , в результате чего образовывается водохранилище длиной  $40\ \text{км}$ , максимальной шириной  $5\ \text{км}$  и полным объемом  $2\ 500$  млн.  $\text{м}^3$ .

Произведенные натурные исследования береговых массивов известняка при нагрузках до  $100\ \text{кг/см}^2$  показали довольно высокий модуль деформации. Среднее значение модуля При сработке  $40\ \text{м}$  полезный объем водохранилища со-



ставляет 1 250 млн. м<sup>3</sup>. Оставшийся мертвый объем в размере 1 250 млн. м<sup>3</sup> предохраняет водохранилище от заиления его речными наносами.

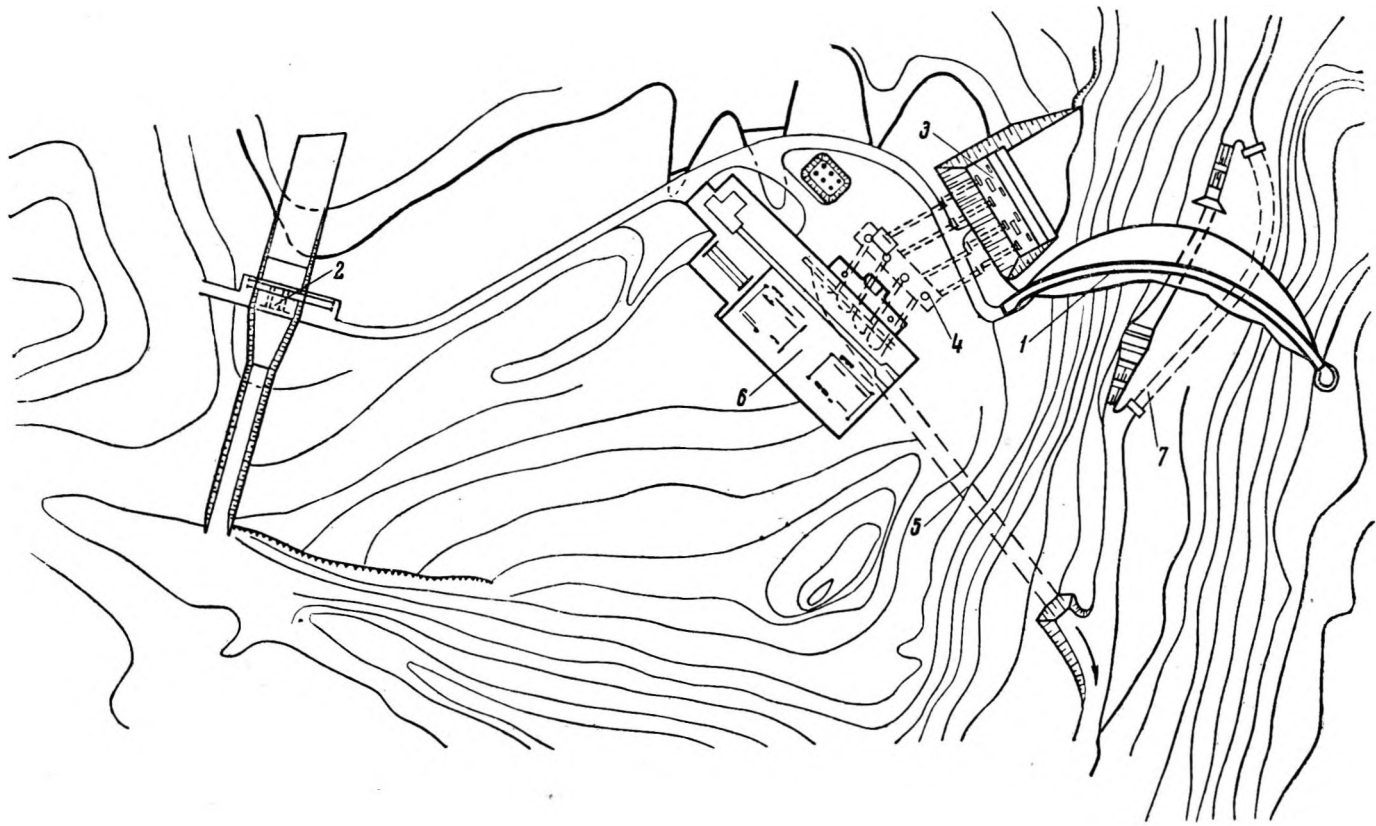
Чиркейская ГЭС с шахтными турбинными водоводами и подземным расположением машинного зала расположена на правом берегу реки.

Повысительная подстанция и здание ЗРУ вынесены на дневную поверхность и сообщаются с машинным залом посредством трех вертикальных шахт диаметром 7 ж и глубиной 250 м.

Паводковый водосброс на расход 1 700 м<sup>3</sup>/сек в виде водосливного порога и открытого канала отводит воду в глубокий овраг.

Для Чиркейской ГЭС разработаны два типа плотин: бетонной арочной и плотины смешанного типа с использованием местных строительных материалов — камня, гравмассы и суглинков. Чиркейская плотина проектируется в сейсмическом районе с расчетной балльностью VIII баллов.

Бетонная арочная плотина по высоте состоит из двух частей: бетонной клинообразной пробки высотой 50 ж и шири-



План.

1— арочная плотина; 2— водосброс; 3— водоприемник; 4— подземное здание ГЭС; 5— отводящий туннель; 6— Ору ПО и 330 л в; 7— строительный туннель.



ной 35 м, расположенной в нижней узкой части ущелья, и бетооте 0,178. Объем бетона в теле плотины равен 720 тыс. м<sup>3</sup>.  
 тонной арки двойной кривизны высотой 180 м, шириной по низу 32 м и поверху 5 м.

Развернутая длина арки на уровне гребня плотины 324 м, длина хорды 260 м. Отношение толщины арки по низу к вы-

Центральный угол осевой линии арок в плане изменяется от 95° на гребне до 76° на уровне основания арки. Осевой радиус кривизны арки в плане изменяется от 84 м в основании до 173 м на гребне.

В основании и береговых примыканиях плотины предусматривается цементационная завеса глубиной в основании 40 м и в береговых примыканиях от 100 до 120 м. Ширина завесы в обоих случаях принята равной 4 м. Расчетное значение давления при нагнетании цемента принято 30—40 ат с поглощением цемента 600 кг на 1 пог. м цементационной скважины.

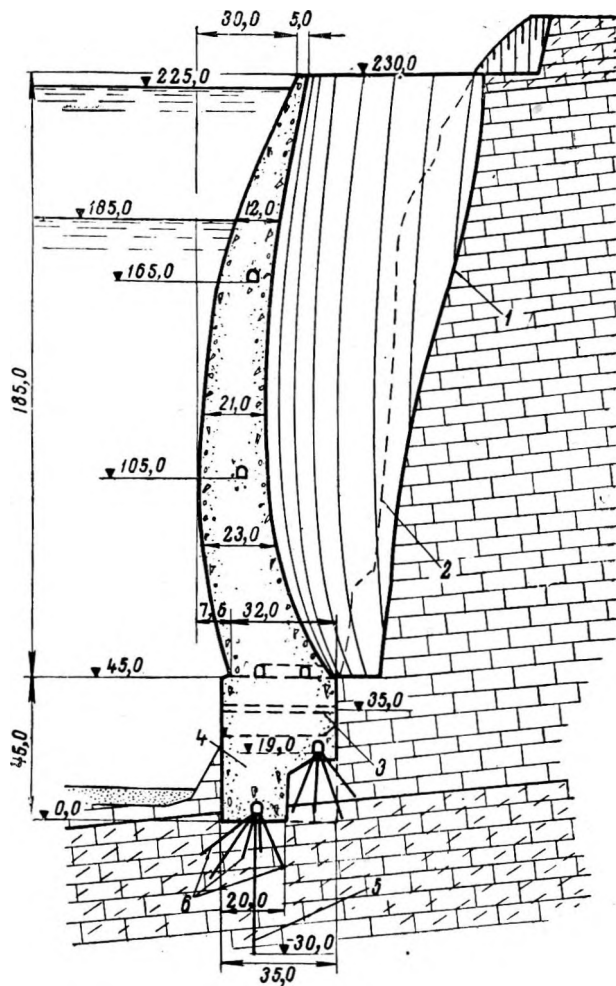
Статический расчет арки произведен как упругой пространственной системы по способу Риттера—Скрыльникова и по упрощенному методу пробных нагрузок с использованием таблиц Люрана. При расчете отношение модулей упругости бетона и основания принято равным 1. Объемный вес бетона принят 2,45 т/м<sup>3</sup>.

В статических расчетах учитывались также напряжения от температурных колебаний и от сейсма. В результате расчета получены следующие максимальные значения напряжений: сжатие — 78,5 кг/см<sup>2</sup> (ключ) и 90,1 кг/см<sup>2</sup> (пята), растяжение—16,0 кг/см<sup>2</sup> (пята).

Расчеты по упрощенному методу пробных нагрузок показали, что максимальные напряжения сжатия и растяжения при этом уменьшаются на 8—10% по сравнению с данными, полученными по методу Риттера—Скрыльникова.

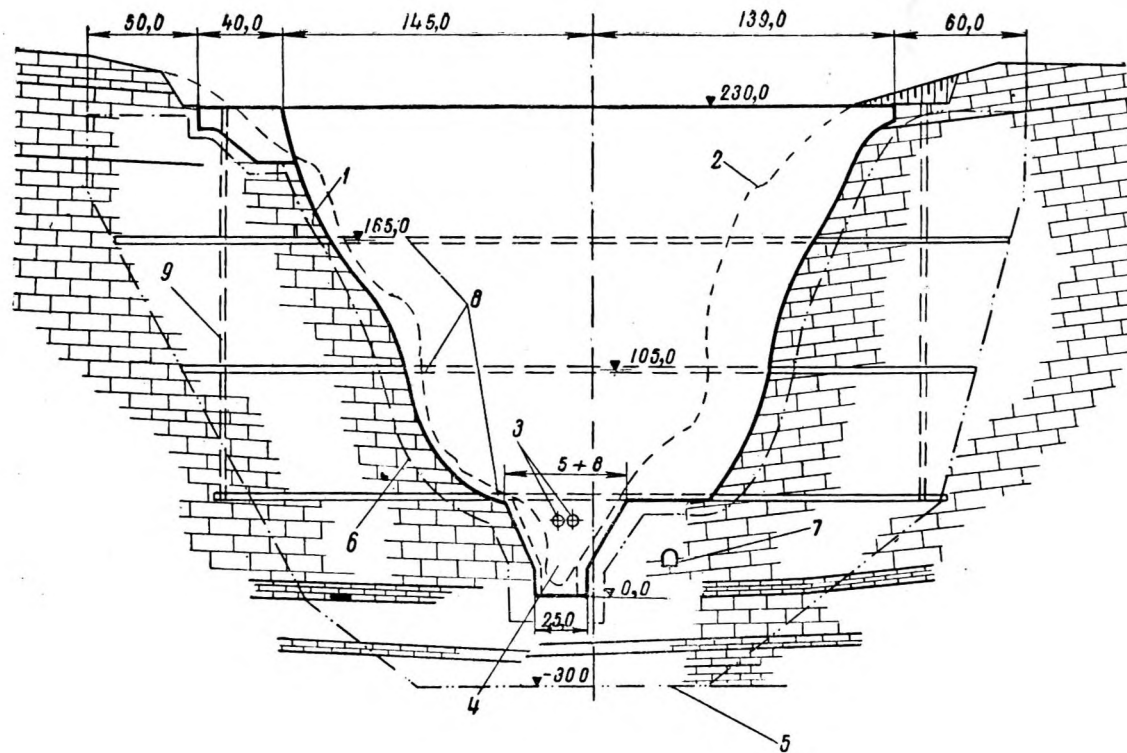
В теле плотины, береговых примыканиях и основании устанавливается контрольно-измерительная аппаратура для наблюдения в строительный и эксплуатационный периоды за температурным режимом сооружения, вертикальными перемещениями и прогибами, работой противофильтрационных устройств, деформациями и напряжениями в основании и бетоне плотины.

Подача бетона от бетонного завода в тело плотины предусматривается в бадьях двумя 20-т кабель-кранами. Укладка бетона производится секциями шириной 15 м и блоками



Поперечный разрез.

У—контур основания плотины; 2—поверхность скалы; 3—водоспуск; 4—бетонная пробка; 5—противофильтрационная завеса; 6—укрепительная цементация.



Продольный разрез по оси гребня.

1 — контур основания плотины; 2 — поверхность скалы; 3 — водоспуск; 4 — бетонная пробка; 5 — контур противofильтрационной завесы; 6 — контур укрепительной цементации; 7 — строительный туннель; 8 — смотровые галереи; 9 — шахты подъемника (225 — НПУ; 185 — УМО).

высотой 3,0 м на всю ширину профиля плотины. Средняя производительность укладки бетона кабель-кранами принята устойчивой зимой и умеренно жарким летом. 100 м<sup>3</sup>/ч при среднем росте плотины по высоте около 10 м/мес. Охлаждение бетонной кладки производится речной водой по трубам, заложенным в блоках бетонирования.

В бетонной плотине не предусматривается никаких водосбросных сооружений, за исключением труб водоспуска, заложенных в бетонной пробке и предназначенных для подачи воды в нижний бьеф на время наполнения водохранилища.

Для отвода реки в строительный период на левом берегу устраивается туннель длиной 250 м и диаметром 10 м.

Климат района строительства характеризуется теплой непроизводительной зимой и умеренно жарким летом. Среднегодовая температура воздуха +12,3° С при максимальной + 37,9° С и минимальной — 15,5° С. Общее число морозных дней в году 75, а с осадками — 236. Годовое количество осадков 385 мм. Устойчивого снегового покрова не бывает.

Вторым вариантом плотины, разработанным для Чиркейского гидроузла, является плотина из местных материалов, состоящая из суглинистого ядра с примесью гравия и промежуточных призм из карьерной гравмассы. Боковые призмы

возводятся из каменной наброски из камня, получаемого в основном из полезных выемок.

Максимальная высота плотины 230 м и длина по гребню 330 ж. Объем плотины 9,6 млн. м<sup>3</sup>, в том числе: каменная наброска— 3,9 млн. м<sup>3</sup>, гравмасса в промежуточных призмах— 3,8 млн. м<sup>3</sup> и суглинок в ядре — 1,9 млн. м<sup>3</sup>.

Среднюю часть профиля плотины, заключенную между наружными каменнонабросными призмами, намечено возвести способом самотечного намыва. Для этой цели карьерный грунт из карьера по канатной дороге доставляется и складывается на командной отметке правого берега, после чего этот грунт отдельно для ядра и для промежуточных призм разбавляется водой и в виде пульпы по лоткам и трубам самотеком поступает на карту намыва.

В основании и береговых примыканиях плотины устраивается противофильтрационная завеса, такая же, как для арочной плотины, но только меньшей величины.

Статический расчет устойчивости откосов плотины произведен по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения при консолидации намывной части профиля для эксплуатационных условий и плоским поверхностям обрушения для строительного случая при недостаточно уплотненном ядре. При расчете принято: объемный вес каменной наброски — сухой 2,0 т/м<sup>3</sup> и в воде 1,2 г/м<sup>3</sup>, объемный вес гравмассы —

сухой 2,25 т/м<sup>3</sup> и в воде 1,32 т/м<sup>3</sup>, средний коэффициент трения верховой призмы плотины в воде 0,67. При этих исходных данных в результате расчета получены: минимальный коэффициент запаса устойчивости верхового откоса для строительного случая—1,1, в условиях эксплуатации—1,18, то же низового откоса во время строительства — 1,06, то же во время эксплуатации— 1,19.

Плотина из местных материалов по сравнению с арочной требует большего срока строительства гидроузла в целом и большего количества строймеханизмов и транспортных средств.

Единственным преимуществом плотины из местных материалов является то, что при этом для сооружения гидроузла потребуется цемента примерно на 125 тыс. г меньше.

Практика проектирования Чиркейской ГЭС показала, что в условиях узкого ущелья при достаточно благоприятных геологических условиях наиболее эффективной является бетонная арочная плотина.

Чиркейский гидроузел, помимо решения задач энергетики, создает полную водообеспеченность для орошения земель на Присулакской низменности и целиком устраняет опасность затоплений паводковыми водами прибрежных земель в низовьях Сулака.

# ВЕРХНЕ-ТУЛОМСКАЯ ПЛОТИНА

Подземная Верхне-Тулумская ГЭС, сооружаемая на р. Тулома выше г. Мурманска, будет одной из самых крупных установок Кольского полуострова.

Плотина Верхне-Тулумской ГЭС расположена на верхнем порожистом участке р. Туломы в 2,5 км ниже вытекания ее из Нотозера. Берега реки в створе плотины возвышаются над урезом воды до 70 м.

Крутому правому берегу противостоят более пологий и террасированный левый берег. В створе плотины русло реки имеет ширину 100 м.

Общая длина напорного фронта сооружений, создающих водохранилище, равен 1 400 м. В состав этих сооружений входят: земляная плотина длиной по гребню 1 215 м и бетонная гравитационная плотина длиной 185 м, являющаяся продолжением земляной плотины со стороны левого берега.

Полный объем водохранилища 11,5 млрд. м<sup>3</sup>, из которых полезный объем составляет 3,9 млрд. м<sup>3</sup> при сработке уровня водохранилища на 6 м.

Долина р. Туломы в районе сооружений гидроузла сложена в основном гранито-гнейсами архейского возраста, перекрытыми четвертичными отложениями мощностью до 60 м.

Наиболее распространены моренные отложения, состоящие преимущественно из мелкозернистых песков с гравием, галькой и валунами.

Кровля коренных пород неровная и выходит на поверхность со стороны левого берега.

Особенностью водного режима р. Туломы является значительная неравномерность стока в годовом разрезе, которая характеризуется резкими подъемами и спадами уровней до 5,2 ж.

Среднегодовой сток р. Туломы в створе сооружений составляет 5,8 млрд. м<sup>3</sup> при среднемноголетнем расходе 187 м<sup>3</sup>/сек.

Максимальные расходы реки в створе плотины характеризуются следующими величинами: расход повторяемостью 1 раз в 1 000 лет 2 133 м<sup>3</sup>/сек и повторяемостью 1 раз в 20 лет 1 500 м<sup>3</sup>/сек.

Среднегодовая многолетняя температура в районе строительства равна 0° С, минимальная—47° С; максимальная + 33° С.

Продолжительность безморозного периода составляет в среднем 80 дней в году. За исключением отдельных небольших участков, где ледостав образуется за счет роста заберегов, р. Тулома в районе гидроузла льдом не покрывается.

Заторы при прохождении по реке озерного льда наблюдаются редко.

В качестве материала для основного подпорного сооружения гидроузла каменно-земляной плотины предполагается использовать имеющиеся поблизости в больших количествах моренные грунты и скальный грунт из котлованов сооружений гидроузла.



Длина каменно-земляной плотины равна 1 215 м, высота гребня над нормальным подпорным уровнем водохранилища — 3,5 м. Максимальная строительная высота плотины составит 50 м.

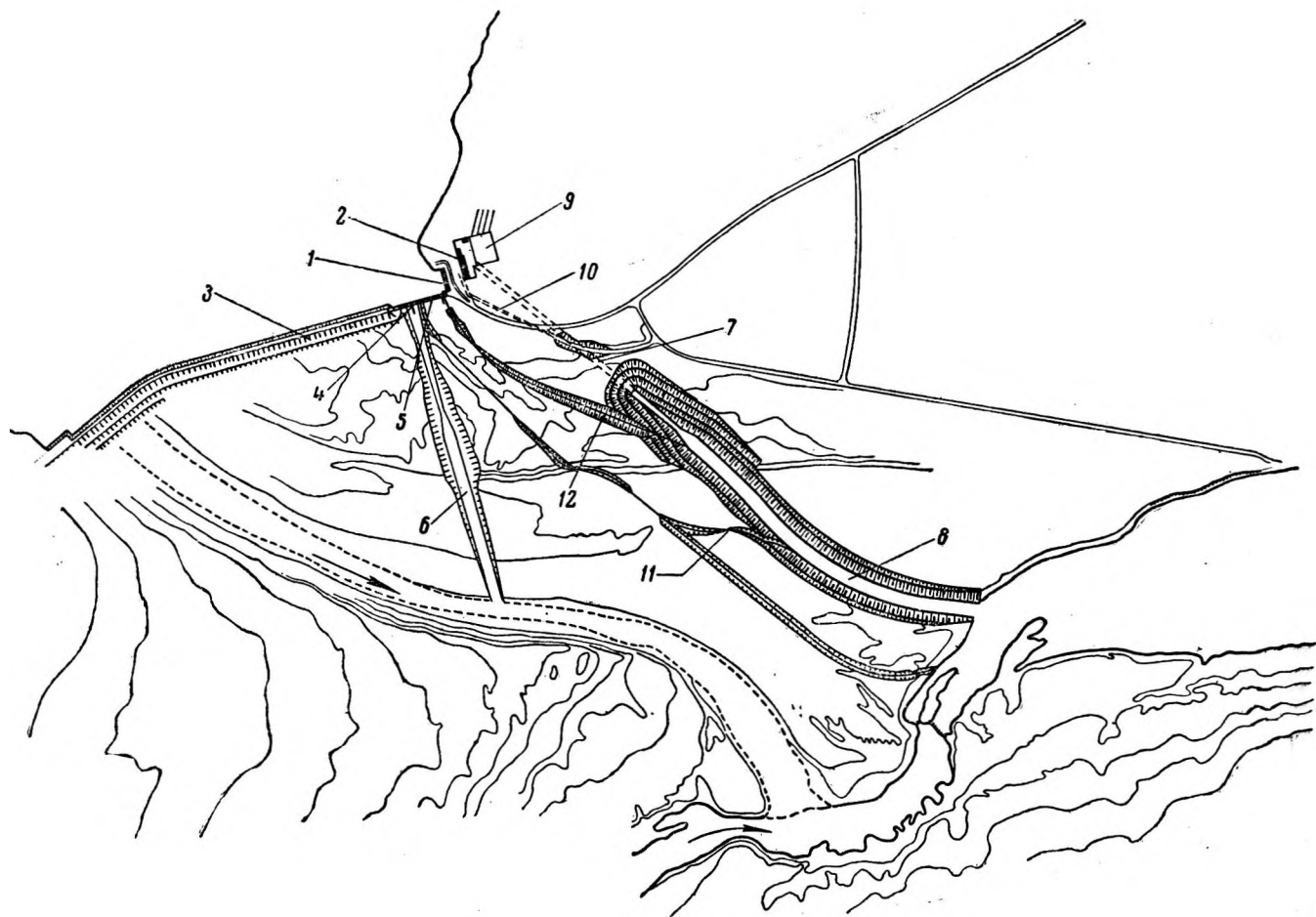
Конструкция плотины следующая.

На низовой стороне возводится каменная призма из отборного некрупного камня, по которой укладывается двухслойный фильтр. На фильтры опирается наклонное ядро из моренных грунтов. Ядро пригружается и защищается слоем

гравия; гравий в свою очередь защищен слоем рваного камня, нижняя часть которого упирается в верховой каменный банкет.

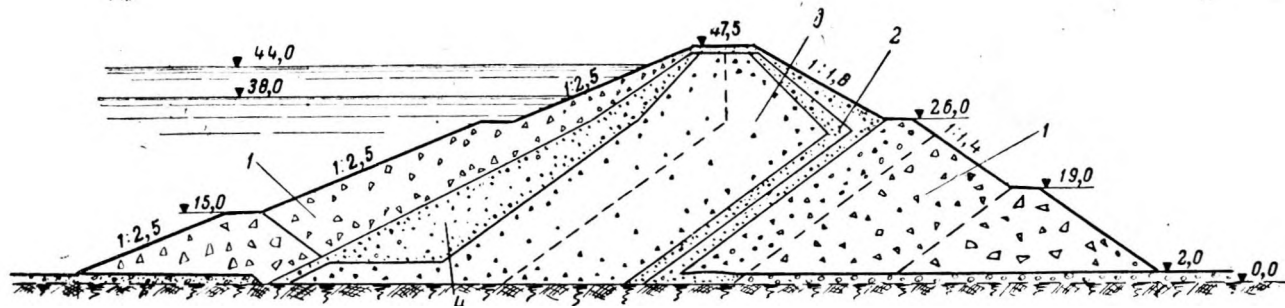
Уклон верхового откоса 1 : 2,5, уклоны низового откоса в пределах каменной призмы 1 : 1,4, в пределах части, возводимой из щебня и гравия, 1 : 1,8.

Бетонная плотина, являющаяся продолжением каменно-земляной плотины, будет возводиться на скальном основании на левом берегу.



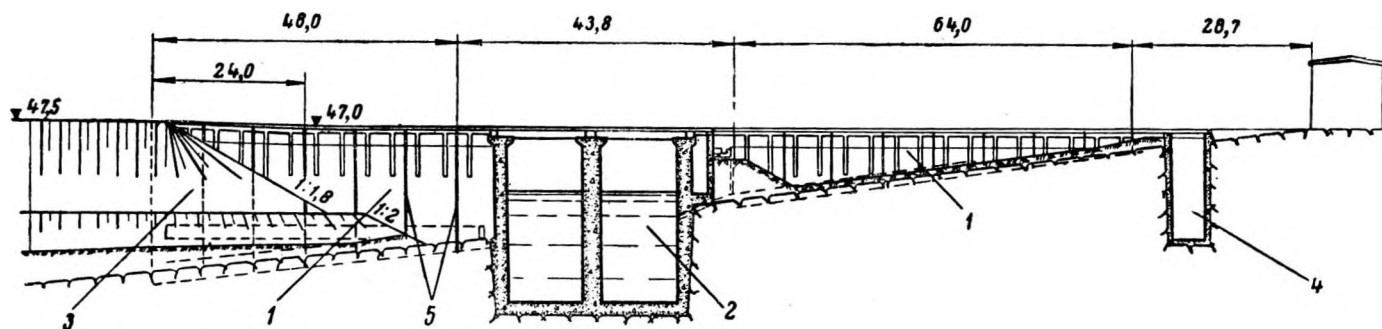
План.

1—водоприемник; 2 — здание ГЭС; 3 — земляная плотина; 4— водосливная плотина; 5 — глухая плотина; 6—водосбросной канал; 7—отводящий туннель; 8—отводящий канал; 9— ОРУ 154 к в; 10—транспортный туннель; 11 — рыбоход; 12—лесоперевалка.



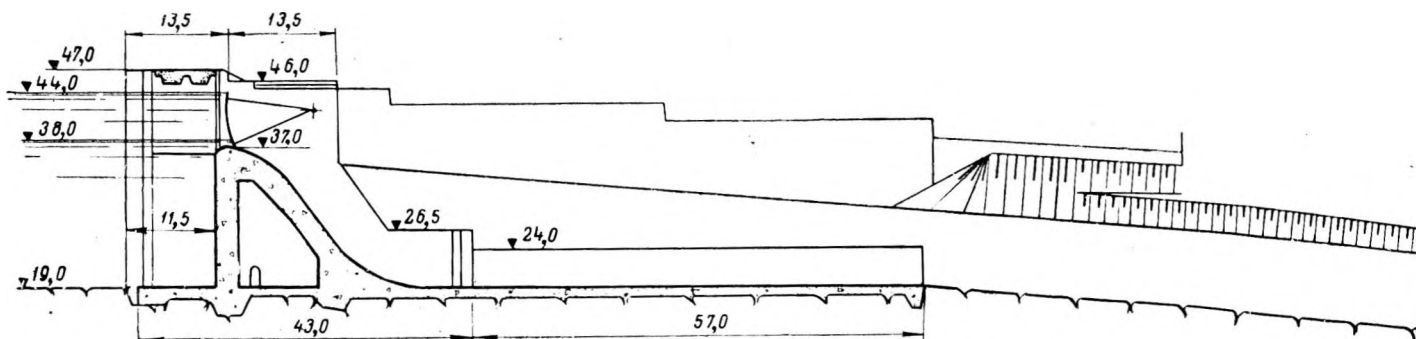
Земляная плотина.

1—каменная наброска; 2—обратный фильтр; 3—морена; 4—гравий.

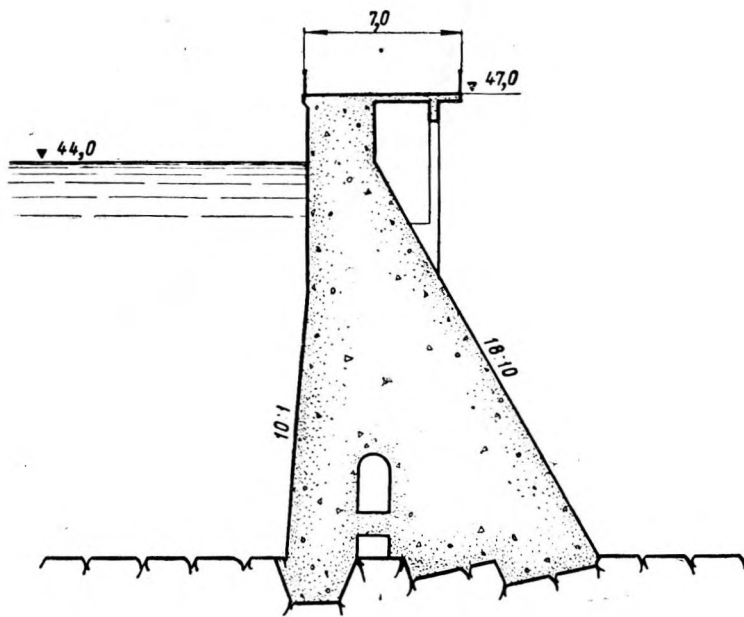


Продольный разрез по оси сооружений.

1—глухая бетонная плотина; 2—водосливная плотина; 3—земляная плотина; 4—лесоперевалка; 5—температурно-осадочные швы.



Водосливная плотина.



Глухая бетонная плотина (44,0—НПУ).

Общее протяжение бетонной плотины 185 м; в эту длину входят сооружения водосброса, устройства для механической лесоперевалки и верхней головы рыбохода.

Бетонная плотина представляет собой сооружение гравитационного типа, разделенное конструктивными швами на 14 секций шириной каждая по 8 м. Высота плотины изменяется от 4 до 24 м. На стороне напорной грани в скалу врезается противофильтрационный зуб; подошва плотины дренируется при помощи галереи и потерны за зубом.

Водосливная часть плотины состоит из двух пролетов по 12 м, перекрываемых сегментными затворами. Максимальная пропускная способность водосливных отверстий при нормальном подпорном уровне 880 м<sup>3</sup>/сек, а при катастрофическом 1 000 м<sup>3</sup>/сек.

К водосбросу примыкает прорезанный в скале лоток бы- стротока длиной около 320 м. За лотком водосброса следует ховой моренной части.

канал, который проходит в моренных грунтах и соединяется с р. Туломой.

Кроме сооружений напорного фронта, в состав гидроузла войдут: подземная ГЭС с турбинами поворотлопастного типа на максимальный напор 62 м, водоприемные устройства ГЭС, вертикальные водоводы диаметром 5,8 м, отводящий безнапорный туннель сечением 15X20 м и длиной 625 м; отводящий канал 1 300 м.

Корпус распределительных устройств и административных помещений, повышающие трансформаторы и открытое распределительное устройство 154 кв расположатся на левом берегу на поверхности земли.

Строительство Верхне-Туломской ГЭС осуществляется по контракту, заключенному между В/О «Технопромэкспорт» и финской фирмой Иматран Войма.

По этому контракту советские строительные организации выполняют комплекс сооружений, связанный с перевалкой и доставкой грузов на строительную площадку.

Кроме того, Советским Союзом будут выполняться работы по подготовке водохранилища Верхне-Туломской ГЭС (лесоочистка, перенос строений, линий связи и пр.).

Финская фирма Иматран Войма обязана по контракту выполнить все работы по основным сооружениям гидроузла и вспомогательным хозяйствам и построить автодорогу от государственной границы до стройплощадки ГЭС протяженностью 168 км.

Работы по основным сооружениям ГЭС и вспомогательным хозяйствам начаты в марте 1962 г.

Каменно-земляная плотина будет возводиться насухо. При этом русло реки перекрывается перемычкой с верховой стороны плотины, а сток воды направляется в обход по строительному каналу, сооружаемому по террасе левого берега.

Перемычка располагается примерно в 200 м выше земляной плотины. Она выполняется из каменного банкета и вер-

В период строительства плотины при закрытом русле сплав леса будет осуществляться по строительному каналу через водосброс.

Строительство каменно-земляной плотины должно начаться с мая 1962 г. и закончиться в 1965 г. В зимние месяцы года (октябрь — апрель) работы по возведению тела плотины не будут производиться.

По основным сооружениям гидроузла в целом предстоит выполнить следующие объемы работ: выемка мягких грунтов — 4 336 тыс. м<sup>3</sup>, выемка скальных грунтов — 704 тыс. м<sup>3</sup>

и том числе в подземных выработках — 295 тыс. м<sup>3</sup>, разные насыпи — 2 560 тыс. м<sup>3</sup>, бетон, и железобетон — 77,5 тыс. м<sup>3</sup>.

Пуск первого агрегата Верхне-Тулумской ГЭС намечено осуществить в 1 квартале 1964 г. — через 2,5 года после начала основных работ, завершение всех работ и пуск гидростанции в промышленную эксплуатацию намечено осуществить в конце 1965 г.

Основное назначение Верхне-Тулумской ГЭС — энергетическое. Главными потребителями будут являться крупные промышленные предприятия Мурманской области.



# КНЯЖЕГУБСКАЯ ПЛОТИНА

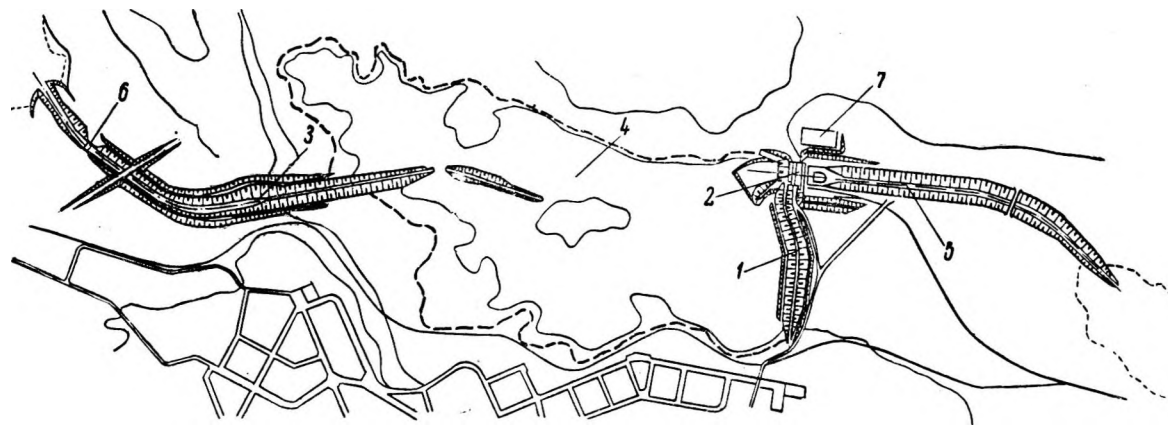
Река Ковда вытекает из оз. Топо, расположенного в северной части Карельской АССР, и впадает в Кандалакшский залив Белого моря. Княжегубская гидроэлектростанция является нижней из трех ступеней энергетического использования р. Ковды.

Княжегубская ГЭС построена по деривационной схеме.

В истоке из Ковдозера р. Ковда перегорожена земляной (плотинкой с бетонным водосбросом, поднимающей уровень воды в озере примерно на 8 м и создающей водохранилище под-

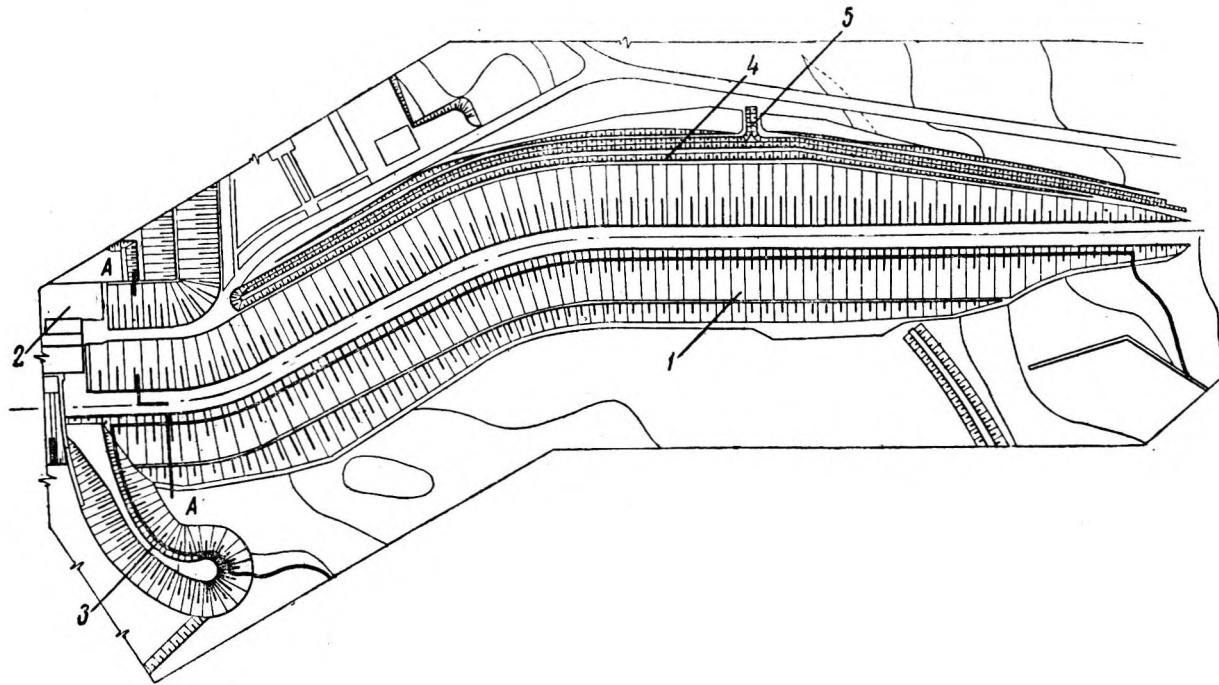
пертого уровня водохранилища построены Тупьегубская земляная плотина и несколько дамб. Узкий водораздельный перешеек между озером и Княжей губой Белого моря прорезан подводящим каналом длиной 1,5 км, а естественная долина, обращенная в сторону Княжей губы, перекрывается земляной (плотиной станционного узла, обра-

батываемой бетонным водосбросом, поднимающей уровень воды в озере примерно на 8 м и создающей водохранилище под-минском и Княжегубском. Последний расположен на упомя-



План.

1— земляная плотина; 2— здание ГЭС; 3— подводящий канал; 4— бассейн суточного регулирования; 5— отводящий канал; 6— заградительное сооружение; 7— ОРУ 110 кВ.

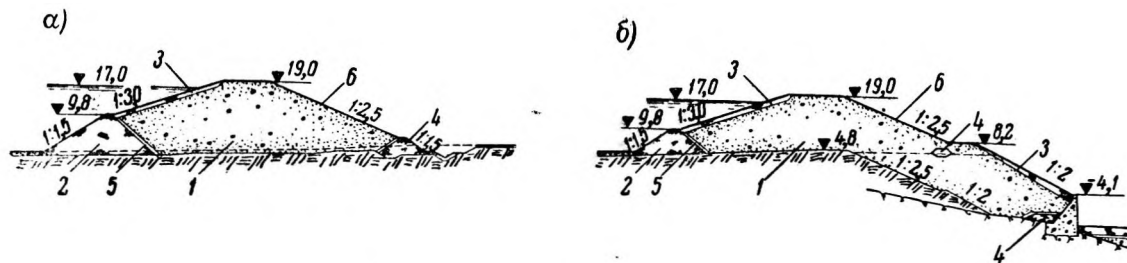


Земляная плотина. План.

1 — плотина; 2—здание ГЭС; 3—струнаправляющая дамба; 4—дренажная призма; 5—вывод дренажных вод.

нотом перешейке и включает в себя подводный канал, стан рены. С верхней стороны, где подошва пологого откоса плотины опустилась бы на покрытое илом дно озера, устроена

Длина Князегубской плотины по гребню 650 м, наиболее упорная призма, отсыпанная из рваной скалы (гранито-гнейсовая) высотой 19 м, заложение откосов: верхнего — 1:3, нижнего — 1:2,5. Тело плотины однородное из супесчаной морены наброской камня с толщиной слоя 1 м по песчано-гравий-



Земляная плотина. Поперечные разрезы.

а) типовой; б) по А А; 1 — морена; 2 — упорная призма; 3 — каменная наброска по песчано-гравелистой подготовке; 4 — дренажная призма; 5 — песчано-гравийная отсыпка; 6 — гравийное покрытие.

нон смеси 0,3 м. Низовой откос выше каменной дренажной призмы закреплен посевом многолетних трав непосредственно по морене.

Плотина возводилась методом отсыпки грунта в воду. Глубина воды в обвалованных 'прудках поддерживалась от 0,7 до 2,0 м. Толщина отсыпаемого слоя морены составляла 1—3 м без специальной укатки, так как достигалось требуемое уплотнение морены, характеризуемое объемным весом 2,05 т/м<sup>3</sup>.

Земляная плотина Ляхкоминского узла перекрывает исток р. Ковды из Ковдозера, представлявший собой два разделенных островом протока. Тип этой плотины аналогичен Княжегубской.

Общая длина ее по гребню 960 м, максимальная высота 19 м, заложение откосов: верхового — 1:3, низового — 1 : 2,5. Верховой откос закреплен каменной наброской 1,0 м по слою песчано-гравийной смеси 0,3 м.

Оба протока были перекрыты пионерным способом отсыпкой камня в текущую воду. Левый проток, пропускавший до 90% стока из озера, шириной около 100 м был перекрыт в феврале 1955 г. при низкой отметке уровня озера, а меньший (правый) проток — в октябре 1955 г. после пуска первого агрегата.

Для всего стационарного узла и его плотины, в частности, характерно то обстоятельство, что все работы велись насу-

х, так как здесь отсутствовала обычная для гидротехнических строек проблема пропуска строительных расходов, пропускавшихся через Ляхкоминские протоки.

Все земляные плотины и дамбы возводились методом отсыпки моренных грунтов в воду. Некоторое различие в гранулометрическом составе грунтов определило лишь разные способы сбрасывания грунта в воду.

Так, в плотине стационарного узла использовался грунт в большей части из карьеров и отвалов и в меньшей части из полезных выемок. Он содержал сравнительно меньшее количество валунов и больше мелкозема (до 60% частиц менее 2 мм). Здесь грунт отсыпался непосредственно с бровки прямо в прудок и лишь в редких случаях, когда машины вязли и не могли подойти к бровке (при повышенной влажности грунта), применялся бульдозер для сталкивания грунта в воду.

В плотине и дамбах Ляхкоминского узла, а также в Тупьегубской плотине применялся грунт только из карьеров. Этот грунт был менее жирным и содержал меньше мелкозема (до 40%). Здесь откосы отсыпки под водой и выше уровня ее в сухой части получались почти одинаковой крутизны. Так как при сбросе морены с самосвалов в воду происходило ее расслоение, отсыпка производилась только на бровку, с которой грунт перемещался в прудок бульдозером.

Первый агрегат ГЭС был введен в эксплуатацию в октябре 1955 г., а последний — в марте 1956 г.

# КУМСКАЯ ПЛОТИНА

Кумекая ГЭС является верхней ступенью Ковдинского каскада гидроэлектростанций и располагается в Карельской АССР.

При постройке гидроэлектростанции создается водохранилище многолетнего регулирования каскада полной емкостью  $10,8 \text{ км}^3$  и полезной  $9,1 \text{ км}^3$ .

Кумекая гидроэлектростанция располагается вблизи истока р. Кумы из Кундозера и использует участок Кумских порогов с естественным падением  $28 \text{ м}$ . Напор гидроэлектростанции создается за счет подпора реки плотиной и использования падения на порогах, частично подтопленных водохранилищем Иовской ГЭС, являющимся нижним бьефом Кумской ГЭС.

В состав сооружений Кумской ГЭС входят: земляная плотина, водосброс, подводящий и отводящий каналы ГЭС, напорный бассейн, стальной турбинный трубопровод, здание станции и ОРУ  $154 \text{ кв}$ .

Компоновка сооружений гидроузла и строительного хозяйства определилась характером рельефа площадки основных сооружений и условиями подъезда. Правый берег прорезан двумя ручьями и непригоден для деривации. Подъезд к гидроузлу осуществляется со стороны правого берега, на котором достаточно удобно располагаются большая часть строительного хозяйства и поселок.

Площадка основных сооружений сложена магматитами и гнейсами, прорезанными интрузиями гранита. Скала имеет различную степень трещиноватости. Коренные породы перекрыты мореной мощностью до  $10 \text{ м}$  (в основном  $3\text{—}5 \text{ м}$ ) и

ниже по течению глинами различной степени влажности общей мощностью до  $12 \text{ м}$ . В пределах площадки имеют также некоторое распространение аллювиальные и флювиогляциальные отложения.

Средняя годовая температура воздуха равна  $0,5^\circ \text{ С}$ . Самым теплым месяцем является июль со средней температурой  $15^\circ \text{ С}$ , самым холодным — февраль с температурой  $-12^\circ \text{ С}$ . Абсолютная амплитуда температуры воздуха достигает  $78^\circ \text{ С}$  (максимум  $32^\circ \text{ С}$ , минимум  $46^\circ \text{ С}$ ).

Среднегодовой расход реки в створе ГЭС  $132 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Среднегодовой сток  $4\,150 \text{ млн. м}^3$ . Максимальный наблюдаемый расход реки  $440 \text{ м}^3/\text{сек}$ , минимальный —  $33 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Максимальный расчетный расход повторяемостью Граз в 100 лет равен  $1\,328 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Плотина пересекает реку под углом  $60^\circ$ , и плавно поворачиваясь вправо на  $30^\circ$ , трассируется на протяжении  $400 \text{ м}$  вдоль склона горы Кума-Вары. В конце плотины располагается напорный бассейн.

Общая длина напорного фронта  $700 \text{ ж}$ , в том числе  $80$  и приходится на долю бетонных сооружений.

Бетонными сооружениями плотина разделяется на русловую часть, береговую и левобережное примыкание.

Водоприемные отверстия напорного бассейна, по два на каждый агрегат, перекрываются плоскими двухсекционными быстропадающими затворами, обслуживаемыми стационарными лебедками. Ремонтные затворы и решетки обслужи-



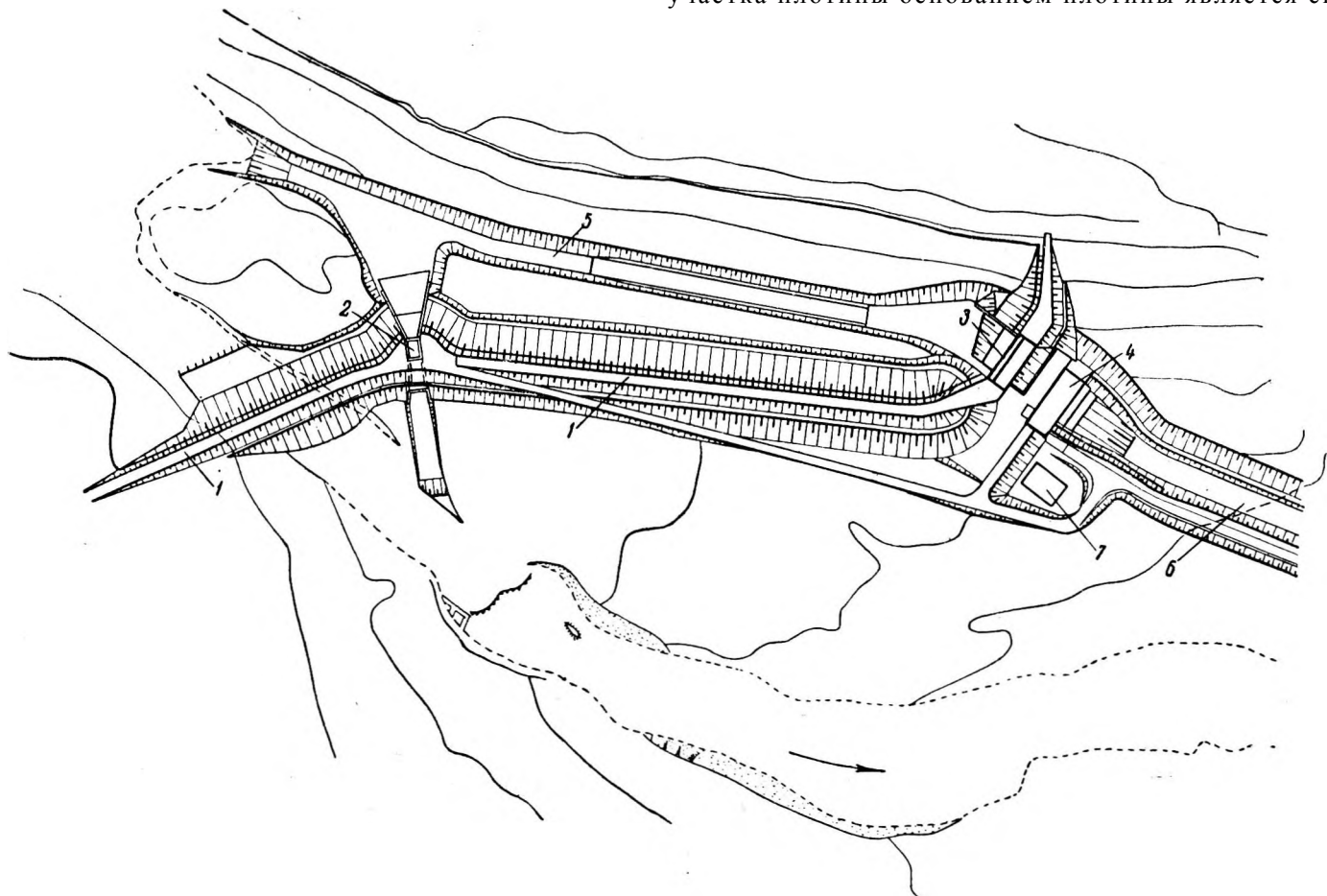
ваются 40-т козловым краном. В зимних условиях под железобетонные крышки, перекрывающие проемы пазов и утепленные пенобетоном, подводится горячий воздух от генераторов.

Здание ГЭС оборудовано двумя гидроагрегатами с поворотлопастными турбинами с диаметром рабочего колеса 4,5 м, к которым вода подводится двумя стальными напорными трубопроводами диаметром 5 м.

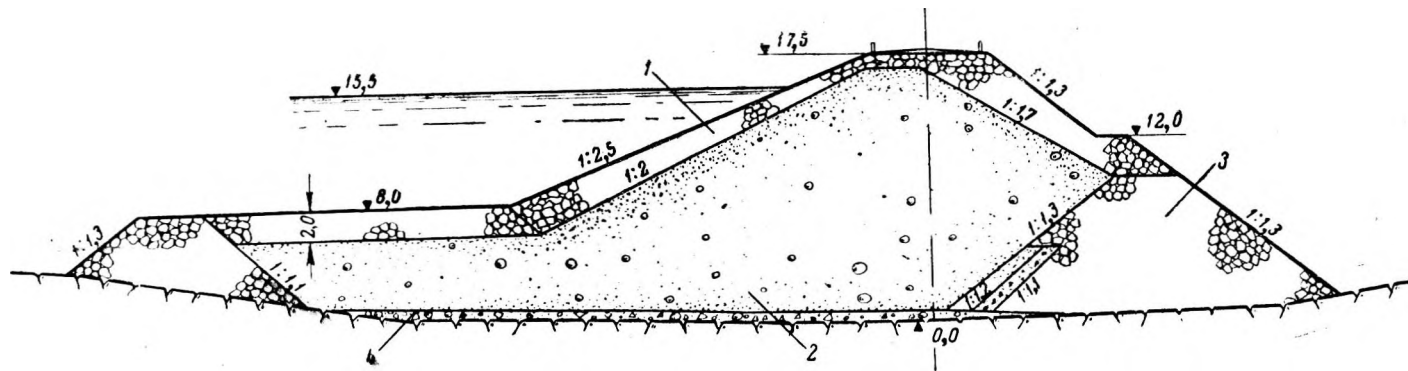
Отводящий канал длиной 1,3 км проходит в скальной выемке глубиной до 20 м, прорезая также слой морены мощностью 3—5 м и местами глину.

Кумекая земляная насыпная плотина имеет строительную высоту 19,0 м.

Основанием плотины почти на всем протяжении служат в основном моренные грунты мощностью от 1 до 8 м. На откосах обоих берегов, а также на протяжении 150 м берегового участка плотины основанием плотины является скала.



1—земляная плотина; 2—водоброс; 3—напорный бассейн; 4—здание ГЭС; 5—подводящий канал; 6—отводящий канал; 7—ОРУ [54 кв.



Земляная плотина.

1 — несортированный камень; 2 — отсыпка из морены; 5 — низовой банкет; 4 — валуны, галька с песчано-гравелистым заполнителем, (15,5 — НПУ).

В качестве материалов для земляной плотины приняты моренные грунты и камень.

Ввиду наличия значительных объемов камня, извлекаемого из полезных выемок, и ограниченных запасов морены был выбран профиль плотины с сильно развитыми банкетами, особенно низовым, и обжатым профилем моренной насыпи, пригруженной несортированным камнем. Средний состав морены в естественном залегании: валуны более 100 мм — 36%, галька — 23%, гравий — 11%, песок — 22%, пыль — 6% и глина — 2%. Средний коэффициент неоднородности 400. Расчетный коэффициент трения 0,60.

Моренная насыпь, возводимая методом укладки грунта в прудки, будет иметь большую плотность и малый коэффициент фильтрации, не превышающий 1—2 м/сутки.

В русловой части плотины, отсыпаемой на аллювий, мощностью 0—1,5 м, устраивается понур длиной 20 м. Фильтр принят однослойным из карьерного песчано-галечного грунта.

При возведении плотины валики для прудков выполняются по напорному откосу из морены, по низовому же откосу — из камня и с внутренней стороны подсыпается слой морены. Верхние 3,5 м плотины возводятся насухо.

Гребень плотины в пределах русловой части принят на 2 м выше отметки НПУ и на 1,6 м выше максимального подпорного уровня. На протяжении остальной части ввиду меньшей высоты волны он понижен на 0,5.

Водосброс бетонный с водосливом, очерченным по профилю Кригера — Офицера. Для пропуска расчетного расхода 216 м<sup>3</sup>/сек предусмотрены одно отверстие шириной 8 м и высотой 6 м, перекрываемое сегментным затвором, и ремонтный затвор 8X7,5 м. Затвор обслуживается стационарной лебедкой, расположенной на эстакаде.

Для наблюдения за кривой депрессии в теле плотины устанавливаются три пьезометрических створа по четыре пьезометра в каждом. Для наблюдения над осадками основания и тела плотины устраиваются три створа высотных

Все сооружения, исключая концевые участки каналов, строятся насухо. Русловая часть плотины возводится при выпуске строительных расходов через недостроенный водосброс и строительный канал. При перекрытии русла, не производя подготовки основания, отсыпают верховой и низовой банкеты, а затем центральную часть плотины из морены. От-

верстне водосброса перекрывается тяжелыми железобетон- фильтрами— 172,4 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции и механизмы— ными шандорами и под их защитой возводится тело водослива— 291 т.

ва и устанавливается сегментный затвор.

Объемы работ по основным гидротехническим сооруже- ниям: бетон и железобетон — 31,8 тыс. м<sup>3</sup>, выемка мягкого грунта — 358,7 тыс. м<sup>3</sup>, выемка скального грунта — 288,3 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь — 263,3 тыс. м<sup>3</sup>, каменная наброска и

Основные объемы работ по плотине: насыпь морены —

238 тыс. м<sup>3</sup>, наброска камня— 157 тыс. м<sup>3</sup>.

Строительные работы на основной площадке ведутся с 1960 г., выемка котлована под основные сооружения — с февраля 1961 г. Все работы должны быть закончены в 1962 г.

# ИОВСКАЯ ПЛОТИНА

Иовская ГЭС является средней ступенью каскада ГЭС на р. Ковде и расположена между строящейся Кумской (верхняя ступень) и эксплуатируемой Князегубской гидростанциями.

Долина реки сложена коренными скальными породами: гнейсами, гранитами и амфиболитами, покрытыми четвертичными отложениями мощностью 1—4 м; в депрессиях коренных пород мощность рыхлых отложений увеличивается до 40 ж.

В районе сооружений в коренных породах прослежены три зоны тектонических нарушений (дроблений), из них одна зона шириной 100 ж пересекает наискось долину реки в районе земляной плотины.

Вне зон дробления коренные породы также разбиты трещинами.

Водопроницаемость коренных пород, в том числе и зон нарушений, незначительна; обычно удельное водопоглощение меньше 0,05 л/мин. Механическая прочность скальных пород весьма высока: от 1 100 до 1 600 кГ/см<sup>2</sup>.

Климат бассейна умеренно холодный с продолжительностью периода отрицательных температур около 200 дней в году; годовые осадки составляют в среднем по бассейну 440 мм. Модуль стока бассейна составляет 10,4 л с 1 /см<sup>2</sup>; изменчивость годового стока характеризуется коэффициентом вариации 0,26.

Из 34 м напора ГЭС 20 м создаются земляной плотиной и 14 м — деривацией.

Плотина объемом 568 тыс. м<sup>3</sup> перекрывает всю долину реки от левого до правого склона; длина плотины по гребню 350 м, высота над основанием в русле реки 27 м.

Оба склона и русло долины на участке сложены моренными отложениями. Коэффициент фильтрации моренных отложений 0,001 см/сек, слоя валунов в русле реки 0,2—1,0 см/сек.

В целях снижения стоимости плотины валунный пласт основании тела плотины оставлен с расчетом на кольяматацию пустот слоя валунов при отсыпке моренного грунта. На пойменных участках была проведена вскрыша растительного слоя до моренного грунта.

В марте 1960 г. река была перекрыта каменнонабросным банкетом и направлена через водосбросной канал. Перекрытие русла осуществлялось пионерным способом отсыпкой камня с берегов со встречей в русле в месте с наибольшим валунным слоем. Для перекрытия прорана было израсходовано 2 350 м<sup>3</sup> камня с включением валунов крупностью и весом 5—6 т общим количеством около 25%. Перепад на банкете достиг максимальной величины 2,65 м.

Разноса камня за геометрические размеры поперечного сечения каменной призмы высотой 12 м и откосами 1 : 1,25—1 : 1,5 не произошло.



Фильтрационный расход через призму банкета был очень большим; выноса мелочи из основания при указанном перепаде не наблюдалось.

Возведение тела плотины осуществлялось отсыпкой морены в прудки глубиной 2—3 м.

После перекрытия реки низовой банкет был возведен на полную высоту; по нему отсыпан фильтр из двух слоев: каменной мелочи и щебня крупностью 50—100 мм.

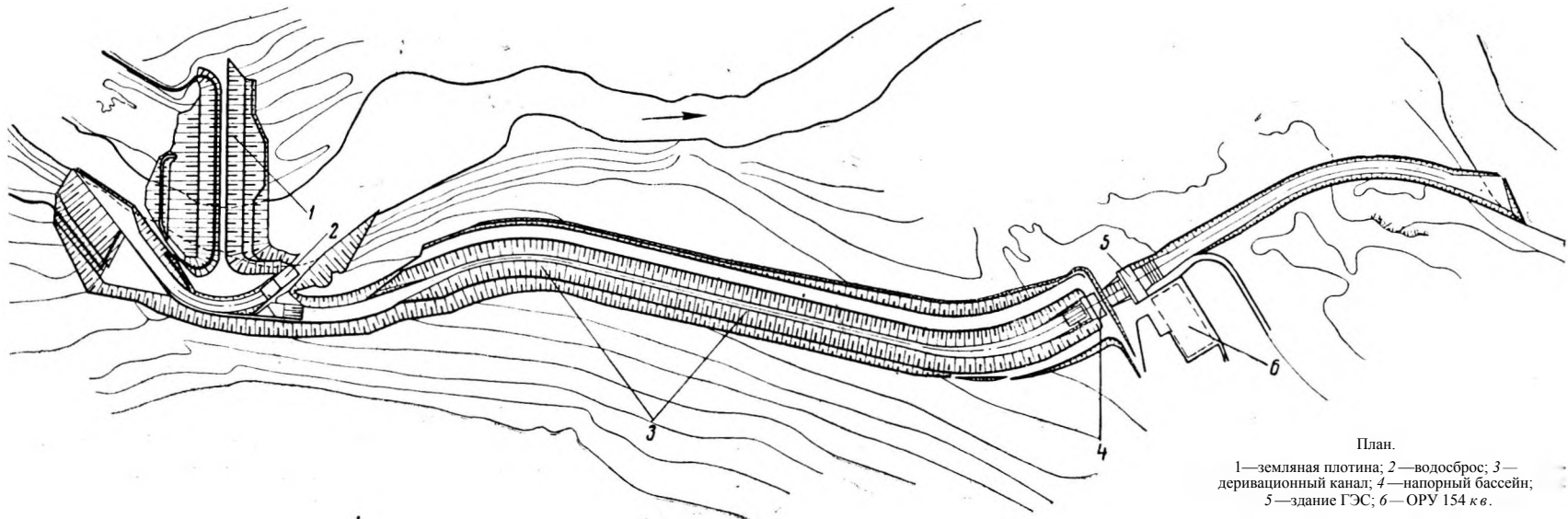
Одновременно из морены левого берега была возведена верховая призма-перемычка; таким образом, образовался прудок глубиной 8 м. Пространство между банкетами заполнялось водой глубиной порядка 10 м, и начиналась отсыпка руслового участка плотины. Разнородные фракции морены, дополненные озерными иловатыми отложениями в объеме около 3—4 тыс. м<sup>3</sup>, полностью закольматировали пустоты ватины лунного слоя.

Для насыпи использовались грунты из полезной выемки подводящего канала и левобережного карьера, расположенного в нижнем бьефе плотины в 1,3 км от нее, без отбора валунов и механического уплотнения.

Последующие прудки руслового и пойменного участков создавались глубиной 2—3 м. Для дамбочек обвалования использовались мелкощебеночные грунты левобережного карьера.

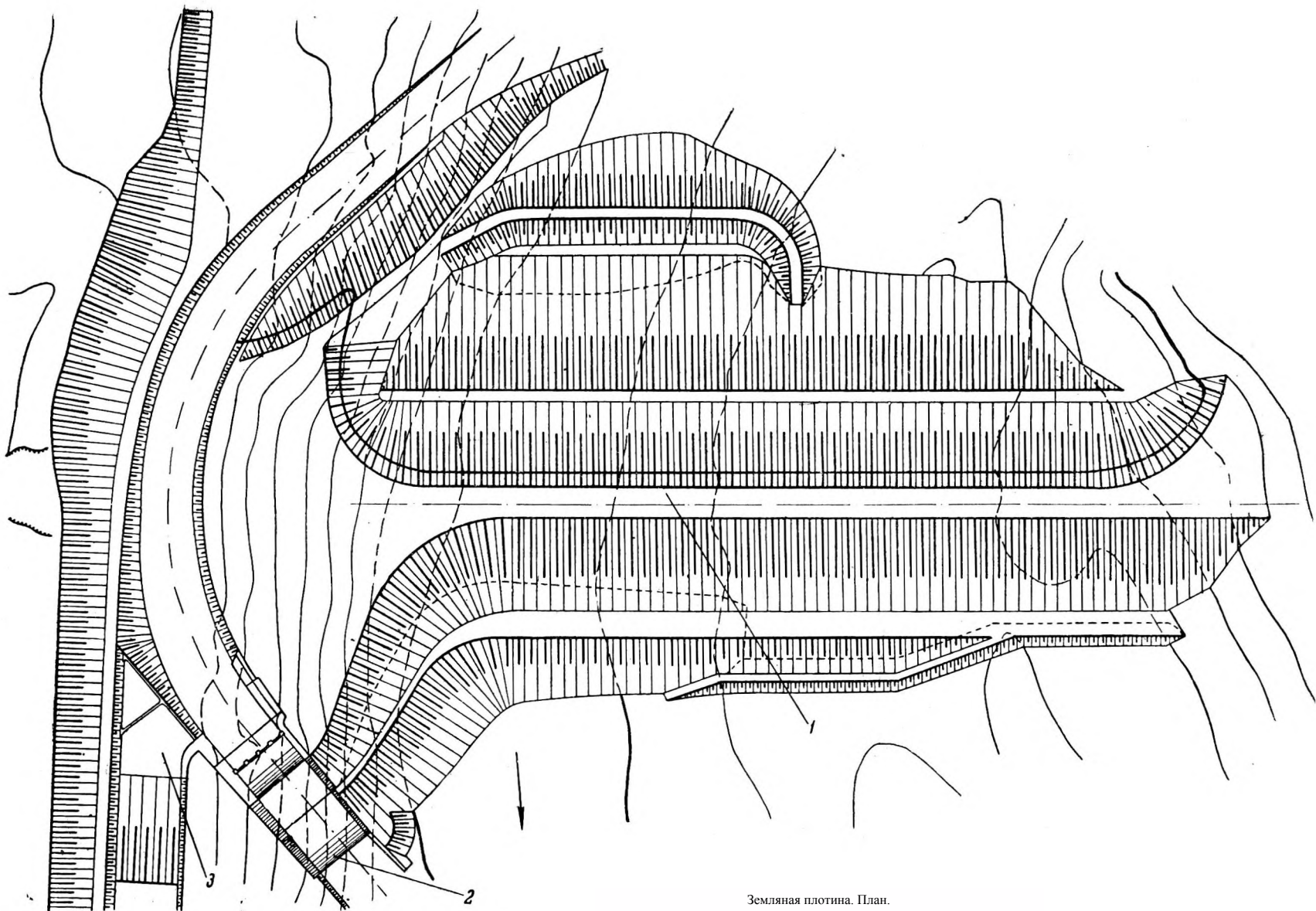
В процессе работ производилось также смешивание мелкощебеночных отложений левого берега с мелкоземистой мореной подводящего канала (25 на 75%), так как движение автомашин грузоподъемностью 5—10 т по мелкоземистой морене было затруднено. Морена отсыпалась на бровку прудка и далее бульдозером стлкнувалась в прудок. По существу тело плотины являлось отвалом моренного грунта. Работы велись при любой погоде, включая и морозные дни [ $t = -(5 \div 10)^\circ\text{C}$ ], при интенсивности укладки в среднем 70 тыс. м<sup>3</sup> в месяц. В основном работы по возведению плотины проведены за 6 мес.: с марта по октябрь 1960 г.

Низовой откос и гребень были закреплены каменной мелочью от размыва ливневыми водами. Напорный откос не крепился, поскольку практика показывает обязательное образование панциря из валунов, имеющих в составе морены, при воздействии на нее волновых воздействий.



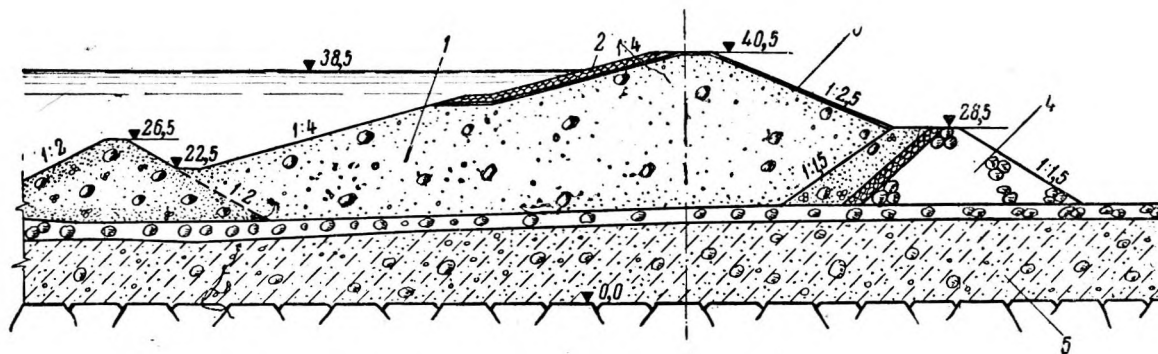
План.

1—земляная плотина; 2—водосброс; 3—  
деривационный канал; 4—напорный бассейн;  
5—здание ГЭС; 6—ОРУ 154 кв.



Земляная плотина. План.

1—земляная плотина; 2—водосброс; 3—деривационный канал.



Земляная плотина. Поперечный разрез.

1—насыпь из морены; 2—камень на слое щебня; 3—сортированный щебень; 4—каменный банкет; 5—моренный грунт (38,5—НПУ).

Поэтому при расчете устойчивости низового откоса были приняты следующие данные по грунту тела плотины: объемный вес грунта естественной влажности  $1,82 \text{ т/м}^3$ , объемный вес грунта, взвешенного в воде,  $1,1 \text{ т/м}^3$ , объемный вес грунта, насыщенного водой,  $2,1 \text{ т/м}^3$ , угол внутреннего трения  $26^\circ 30'$ .

Минимальный коэффициент устойчивости откоса 1,47 при допускаемом коэффициенте для сооружения II класса 1,3. Расчет произведен для случая отсутствия воды в нижнем бьефе.

В состав сооружений головного узла также входят бетонный водосброс и деривационный канал, расположенные на правом берегу.

Бетонный водосброс с сегментными затворами на гребне шириной 20 м и высотой 10 м устроен в конце строительного канала, высеченного в скальном склоне долины глубиной 30 м, шириной по дну 17—20 м и длиной 450 м.

Перед входом деривационного канала устраивается сорудерживающее сооружение. Деривационный канал длиной 1 365 м проходит в выемке по склону долины шириной по дну: в скале— 17 м, в моренных грунтах— 10 м. Откосы канала в скале 5: 1, в моренных грунтах 1 : 2,5. Глубина воды в канале 8 м; наибольшие скорости 1,8 м/сек. Откосы кана-

ла в моренных грунтах покрыты каменной мелочью слоем 50 см.

Напорный бассейн, высеченный в скале, имеет щитовую стенку с четырьмя отверстиями  $5 \times 5 \text{ м}$ , по два отверстия на каждый агрегат.

Напорные трубопроводы ГЭС металлические диаметром 5,6 м и длиной 30 м уложены под углом  $45^\circ$  по откосу скальной выемки. Здание ГЭС расположено в глубокой скальной выемке. В здании установлены два агрегата; турбины поворотнолопастные с диаметром рабочего колеса 4,5 м при 136,4 об/мин.

Открытое распределительное устройство 154 кв расположено на правом берегу вблизи здания ГЭС; от него отходят три линии напряжением 154 кв на Князегубскую, Нивские и Кумскую ГЭС.

Объемы работ по гидроузлу составили: выемка грунта — 1919 тыс.  $\text{м}^3$ , в том числе скального — 358 тыс.  $\text{м}^3$ , насыпь грунта — 946 тыс.  $\text{м}^3$ , в том числе каменная наброска — 800 тыс.  $\text{м}^3$ , бетон и железобетон — 35 тыс.  $\text{м}^3$ .

Основные работы по гидроузлу были начаты в июне 1959 г. Первый агрегат введен в эксплуатацию в декабре 1960 г., второй — в марте 1961 г.



# ПУТКИНСКАЯ ПЛОТИНА

На р. Кеми, протекающей в северной части Карельской АССР и впадающей в Кемскую губу Белого моря, намечено строительство Кемского каскада ГЭС. В качестве первоочередного объекта строительства принята нижняя ступень Кемского каскада — деривационная Путкинская ГЭС.

Среднегодовая температура воздуха в районе Путкинской ГЭС  $1,2^{\circ}\text{C}$ , максимальная в июле  $35^{\circ}\text{C}$ , минимальная в феврале минус  $41^{\circ}\text{C}$ .

Максимальный расчетный расход повторяемостью в 1 раз в 200 лет равен  $1\,500\text{ м}^3/\text{сек}$ ; среднегодовой расход реки  $258\text{ м}^3/\text{сек}$ .

Полезная емкость водохранилища Путкинской ГЭС  $3,2\text{ млн. м}^3$ ; площадь зеркала водохранилища  $6,4\text{ км}^2$ .

В комплекс сооружений Путкинской гидроэлектростанции входят: русловая земляная плотина, бетонный водосброс, береговые земляные плотины, подводный канал ГЭС, открытое РУ на  $220$  и  $110\text{ кВ}$ , отводящий канал ГЭС, лесосплавный лоток и регулирующий гидроузел на оз. Нюк. Благоприятные топографические и геологические условия позволили все основные сооружения скомпоновать на правом берегу.

В начале порога Путки р. Кемь перекрывается земляной плотиной. Русловая часть плотины сопрягается с крутыми откосами левого берега и с правой стороны примыкает к устью водосброса.

Водосбросное сооружение, высеченное в скале вблизи устья реки, имеет подходный канал, двухпролетную бетонную

водосливную плотину с затворами  $12\times 7\text{ м}$  и отводящий канал. Водосброс пропускает при НПУ расход  $1\,050\text{ м}^3/\text{сек}$ .

От правобережного устья водосброса отходит в сторону нижнего бьефа береговая земляная плотина, сопрягающаяся в конце с левобережной дамбой подводного канала ГЭС.

Подводящий канал ГЭС проходит в полувыемке-полунапыве и заканчивается аванкамерой напорного бассейна.

В здании ГЭС устанавливаются три вертикальных агрегата с поворотными лопастными турбинами с диаметром рабочего колеса  $5\text{ м}$ .

Коротким отводящим каналом, высеченным в скале, вода отводится от здания ГЭС в р. Кемь.

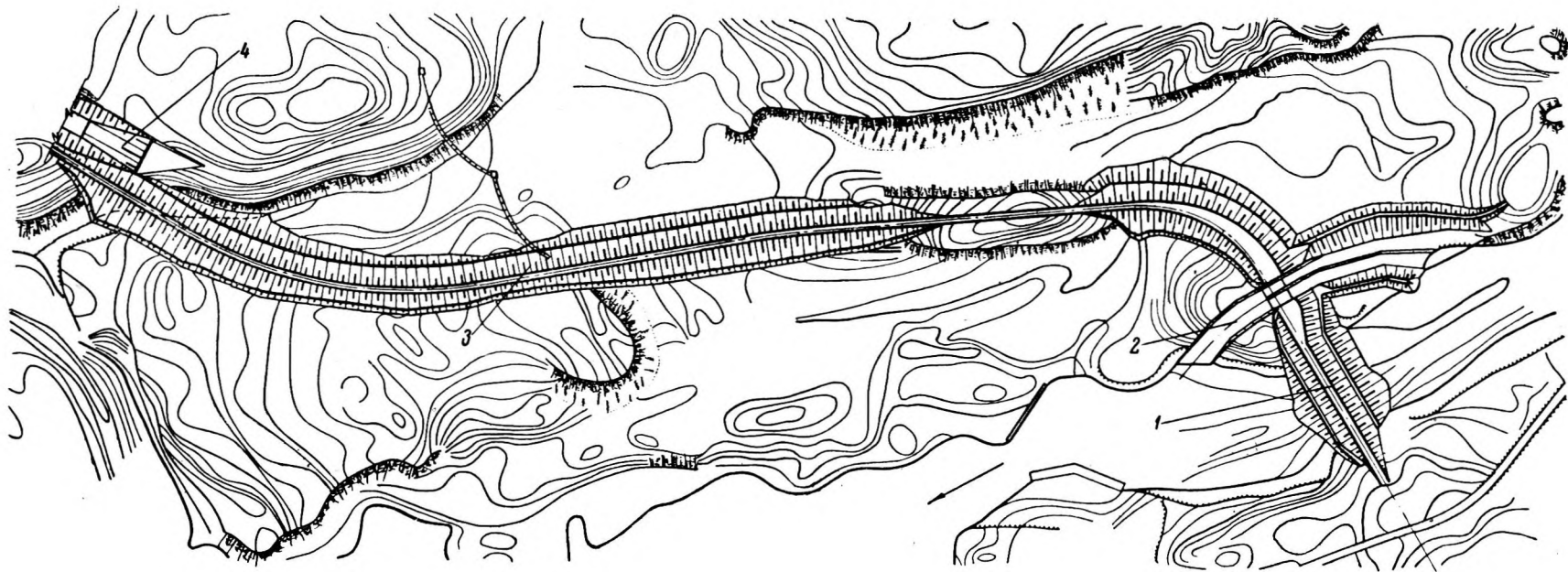
Открытая повышающая подстанция  $220$  и  $110\text{ кВ}$ , силовые трансформаторы и открытый склад масел размещаются на площадке слева от здания ГЭС.

Подъездной путь к станционному узлу проходит от существующей шоссейной дороги г. Кемь — г. Ухта по плотине, левобережной дамбе подводного канала и далее до здания станции.

Объекты вспомогательного назначения — производственная база, строительный и эксплуатационный поселки, а также лесокомбинат — расположены на левом берегу в черте г. Кемь.

Для увеличения гарантированной мощности Путкинской ГЭС на оз. Нюк предусматривается создание регулирующего водохранилища полезным объемом  $573\text{ млн. м}^3$  путем сооружения на р. Хяме глухой дамбы строительной высотой  $7\text{ м}$  и





План.

1 — земляная плотина; 2 — водосброс; 3 — напорная дамба; 4 — подводящий Канал ГЭС.

бетонного двухпролетного водосброса. Уровень оз. Нюк повышается на 2,8 м.

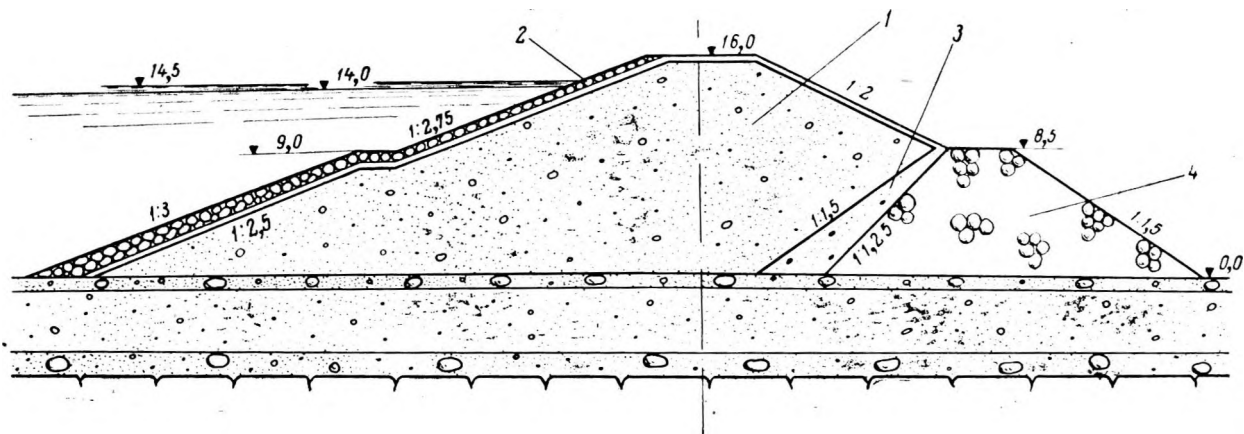
В пределах створа Путкинского гидроузла залегают кристаллические породы различной степени трещиноватости: гнейсы, гнейсо-граниты и габбро. Четвертичные отложения представлены плотной песчано-валунной мореной различной мощности (наибольшая 25 м), морскими глинами мощностью от 1 до 10 м и торфами слоем до 3 м. Водопроницаемость пород слабая, коэффициент фильтрации колеблется для моренных грунтов от 0,01 до 3,3 м/сутки и для скальных пород от 0,001 до 1 м/сутки.

Русловая земляная плотина длиной 225 м наибольшей строительной высотой 16 м запроектирована из местного грунта в виде однородной насыпной плотины с низовым каменным банкетом.

В основании плотины залегают коренные скальные породы, покрытые мореной: в левобережном примыкании — слоем 13 м, а в пределах русла — слоем 10 м. Дно реки покрыто перекрытой мореной 0,5—1,0 м. В правобережной части основание сложено беломорскими гнейсами. Подготовка основания плотины намечена на участках, где в основных частях залегает морена, снятием растительного слоя, на скальных участках — удалением разрушенной породы.

В правобережном примыкании русловой плотины в основании устраивается сопрягающий зуб.

Верховой откос плотины крепится каменной наброской слоем 70 см, укладываемой на гравийно-песчаную подготовку толщиной 30 см. Низовой откос и гребень плотины крепятся гравийно-песчаным слоем 30 см. Коэффициент устойчивости верхового откоса равен 1,18.



Земляная плотина

1 — морена; 2 — каменная наброска; 3 — гравийно-песчаная смесь; 4 — каменный банкет (14,5 — ФПУ; 14,0 — НПУ).

В теле плотины предусмотрена установка трех пьезометрических створов по четыре пьезометра в каждом створе.

Земляная плотина возводится без перемычек. Вначале русло перекрывается каменным банкетом, после чего с верховой стороны банкета отсыпается однослойный обратный фильтр из гравийно-песчаного грунта. В образовавшееся тиховодье отсыпается морена. Выше отметки тиховодья тело плотины возводится отсыпкой морены в прудки.

Песчано-гравийный грунт, используемый для тела плотины, содержит: валуны более 100 мм — 7%, гальку и гравий — 28%, песок — 47%, пыль и глину — 18%.

Два участка береговой земляной плотины общей длиной 1 261 м, высотой от 6 до 16 м в основном пересекают моренные отложения, в меньшей мере — скальные породы и на небольших участках — торфы и глины слоем 0,5—0,2 м. Так как береговая и русловая земляные плотины находятся в близких (геологических, статических, фильтрационных и пр.) условиях, их конструкция принята однотипной, т. е. в виде однородной насыпной плотины.

Строительство Путкинского гидроузла намечено осуществить, включая подготовительный период, за 3 года. Все

основные сооружения ГЭС возводятся насухо, исключая концевые участки каналов, сопрягающиеся непосредственно с руслом р. Кеми.

В период строительства ГЭС пропуск строительных расходов р. Кеми и лесосплав в течение первых 2 лет производится через естественное русло реки, а после отсыпки каменного банкета земляной плотины (в марте 3-го года) — через два пролета недостроенного водосброса. Закрытие пролетов недостроенного водосброса осуществляется в конце 3-го года. При этом в период возведения водосливной части одного из пролетов пропуск строительных расходов производится через другое недостроенное отверстие водосброса, а после пуска первого агрегата во время укладки бетона в водосливную часть второго пролета водосброса расходы реки пропускаются через один агрегат ГЭС и один готовый пролет водосброса.

Объем работ по основным сооружениям: бетон и железобетон — 46,85 тыс. м<sup>3</sup>, выемка грунта — 597,3 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе скалы — 332,8 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь грунта — 1 039 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе скалы — 187,8 тыс. м<sup>3</sup>.

# ОНДСКАЯ ПЛОТИНА

Ондская гидроэлектростанция использует сток рр. Нижний Выг и Онды. В комплекс сооружений ГЭС входят: Сегозерский гидроузел на р. Сегеже, Надвоицкий гидроузел на р. Н. Выг, гидроузел Ондской ГЭС на р. Онде и соединительный канал, объединяющий Выгозерское и Ондское водохранилища.

Ондская ГЭС обеспечивает многолетнее регулирование стока для каскада гидроэлектростанций на р. Н. Выг.

Река Н. Выг берет свое начало из Выгозера и впадает в Белое море. В Выгозеро впадают рр. Н. Выг и Сегежа, вытекающая из Сегозера. Река Сегежа контролирует 30% стока бассейна Выгозера. Река Онда является левым притоком р. Н. Выг.

В 1935 г. на р. Н. Выг был построен ряд плотин и шлюзов, создавших Северный склон Беломорско-Балтийского канала. Уровень Выгозера был поднят на 5—6 м Надвоицким гидроузлом, построенным в истоке р. Н. Выг. В составе гидроузла имеется водосливная плотина с сегментными затворами.

Плотина Ондской ГЭС подняла уровень р. Онды до горизонта Выгозера, а соединительный канал у ст. Майгуба, проложенный в наиболее низком месте водораздела, объединил Выгозеро с Ондским водохранилищем, образовав общий водоем полезным объемом 1,15 млрд. м<sup>3</sup>.

Для обеспечения многолетнего регулирования стока р. Н. Выг в истоке р. Сегежи из Сегозера возведена глухая земляная плотина длиной 900 м с водосбросом.

В состав Ондского гидроузла входят: глухая гравитаци-

онная бетонная плотина длиной 474 м, наибольшей высотой 36 м, здание гидроэлектростанции с напорным бассейном и четырьмя двухочковыми железобетонными трубопроводами, подводный канал длиной 400 м и отводящая деривация, состоящая из отводящего канала длиной 600 м и расчисток русла реки на длине 4 км. Паводки пропускаются через существующую Надвоицкую плотину Беломорско-Балтийского канала.

Основанием бетонной плотины являются прочные гранито-гнейсы и граниты, прикрытые четвертичными отложениями.

Максимальный расход р. Онды в естественном состоянии характеризуется следующими величинами: расход, повторяющийся 1 раз в 1 000 лет, равен 461 м<sup>3</sup>/сек, а повторяющийся 1 раз в 20 лет—242 м<sup>3</sup>/сек.

Климатические условия характеризуются следующими температурами: среднегодовая —1,4° С, минимальная —46° С, максимальная +34° С.

Река порожиста и зимой в ней образовывались скопления льда.

Плотина объемом 101 тыс. м<sup>3</sup> треугольного профиля с наклонной верховой гранью 1 : 0,05 и низовой гранью с уклоном 1 : 0,7 на нижней половине и 1 : 0,5 на верхней половине.

Отношение ширины плотины по основанию к высоте составляет 0,71.

Тело плотины дренировано вертикальными дренами диаметром 15 см, расположенными через 2,5 м.

Под верховой гранью плотины находится зуб высотой 4 м с однорядной цементационной завесой на глубину 3 м. По скальной площади основания заложен горизонтальный дренаж в виде гравийных тризм.

Плотина разрезана сквозными температурными швами на 34 секции по 15 и 12 м. Швы уплотнены с напорной стороны битумными шпонками. Коэффициент запаса на устойчивость против сдвига равен 1,35 при коэффициенте трения 0,70 и без учета сцепления бетона со скалой. Главные сжимающие напряжения равны 5,8 кг/см<sup>2</sup>.

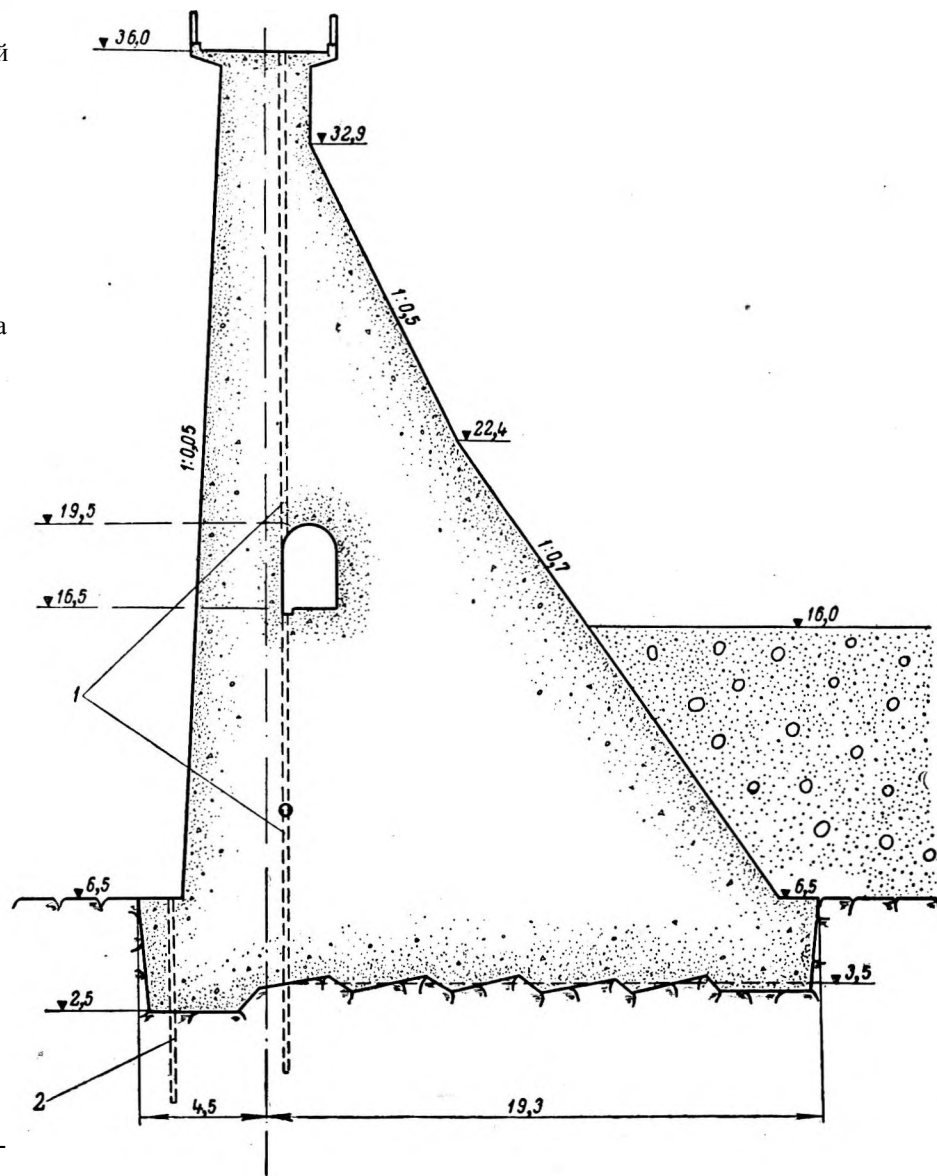
В здании ГЭС, расположенном на деривации, проходящей по левому берегу, размещены агрегаты по 20 тыс. кв с поворотнолопастными турбинами диаметром по 3,70 м. Здание гидростанции соединено с напорным бассейном железобетонными трубопроводами. Вход в трубопроводы оборудован быстропадающими затворами, ремонтными затворами и решетками.

Повышающие трансформаторы расположены над отсасывающими трубами. ОРУ 110 кв находится вблизи здания ГЭС на острове, образованном руслом реки и деривацией ГЭС.

В подготовительный период построены постоянные автомобильные дороги общей длиной 40 км, временные дороги около 18 км, ЛЭП 35 кв длиной 14 км, поселки и подсобно-вспомогательные предприятия.

Строительство основных сооружений Ондского гидроузла производилось насухо и лишь часть плотины в пределах русла реки возведена за перемычкой. Строительные расходы и молевой лесосплав пропускались через одно донное незатопленное отверстие пролетом 7 м, выполненное в одной секции плотины на правом берегу реки.

Укладка бетонной смеси в тело плотины произ-



Бетонная плотина.



водилась башенными кранами бадьями емкостью 1,5 м<sup>3</sup>, доставляемыми на автомашинах. Часть бетонной смеси уложена самосвалами.

Бетонная смесь готовилась на бетонных заводах с бетономешалками по 425 л и четырьмя бетономешалками по 1200 л.

Для плотины применялся зональный бетон марок 110 и 140.

Бетон марки 140 применен в блоках верхового зуба плотины и в блоках, образующих напорную стену вдоль галереи.

Бетонная смесь укладывалась слоями 30—50 см и уплот-

нялась ручными вибраторами; Для опалубливания блоков применялась деревянная щитовая опалубка.

В основании плотины заложены четыре створа пьезометрических датчиков.

Первый агрегат ГЭС введен в эксплуатацию в марте 1956 г., а последний — в 1957 г.

По Ондскому гидроузлу выполнены следующие объемы работ: выемка мягкого и скального грунта — 1 255 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь и каменная наброска — 254 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 167 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции, механизмы и оборудование — 4,22 тыс. т.

## ВЕРХНЕ-СВИРСКАЯ ПЛОТИНА

Верхне-Свирская ГЭС, являясь одной из двух гидростанций Свирского каскада, расположена ниже порогов верхнего течения р. Свири. Общая длина напорного фронта гидроузла — около 660 м; в него входят: земляная плотина (длина 312,5 м, высота 30 м), бетонная водосливная плотина (длина 111 м, высота 32 м), здание ГЭС длиной 117,8 м и судоходный шлюз. Полезный объем водохранилища 17,5 млрд. м<sup>3</sup> обеспечивает многолетнее регулирование стока реки.

Коренными породами в русле реки и на берегах являются пестроцветные девонские глины, прикрытые аллювиальными отложениями мощностью от 2 до 10 м.

Расчетный сбросной расход реки через сооружения гидроузла повторяемостью 1 раз в 1 000 лет принят равным 1 800 м<sup>3</sup>/сек.

Среднегодовой сток реки составляет 19,3 млрд. м<sup>3</sup>.

Климатические условия строительства следующие: среднегодовая температура +2,9° С, минимальная —42,3° С, максимальная +35° С; количество дней в году с отрицательными температурами 150. Осенью перед ледоставом образуются шуговые заторы, сопровождающиеся поднятием уровня воды в реке до 3,5 м.

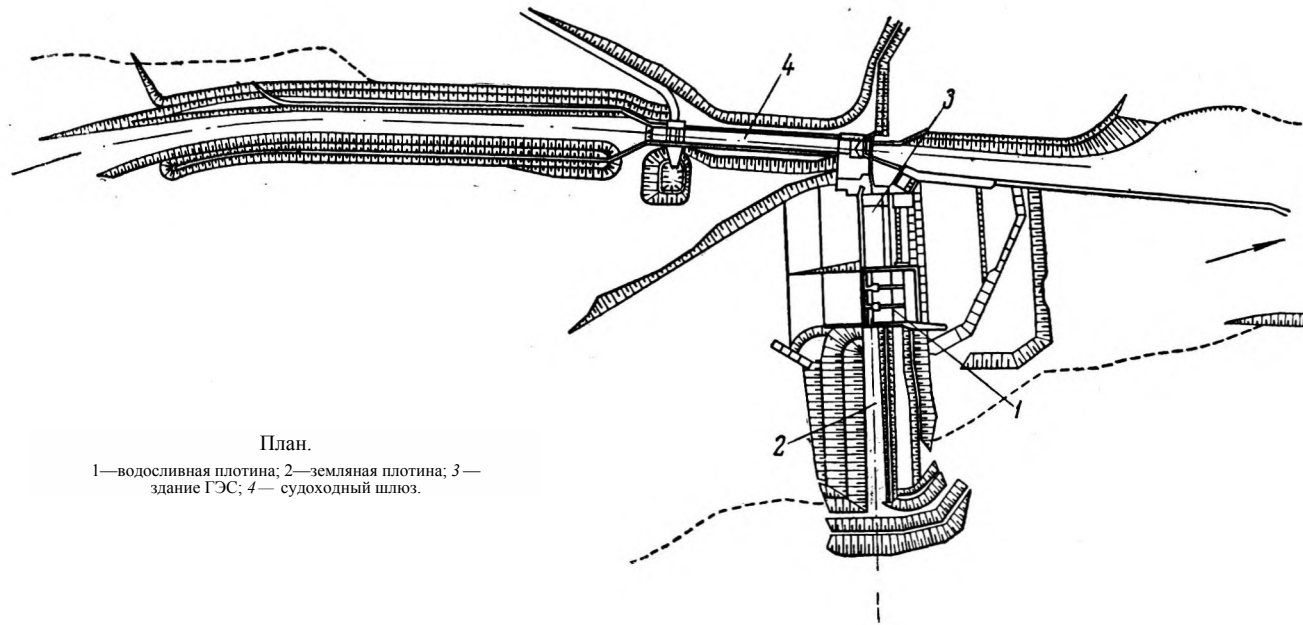
Бетонная плотина имеет распланный профиль, обусловленный характеристикой сжимаемых грунтов основания с целью получения более равномерного распределения давления на основание. Наличие напорных грунтовых вод в песчаных прослойках девонских глин потребовало устройства

скважин глубокого дренажа (на глубину 20 м) и плоского дренажа под всей подошвой плотины с отводом дренажных вод в нижний бьеф, что обеспечило необходимое снижение противодавления на подошву сооружения. Девонские глины характеризуются низким коэффициентом сдвига (коэффициент трения с учетом сцепления грунта), равным 0,20. Поэтому для обеспечения устойчивости плотины против сдвига, кроме дренажа, потребовалось устройство анкерного понура. Без учета работы анкерного понура коэффициент запаса устойчивости плотины против сдвига равен 1.

Во избежание неравномерных осадок и перекосов отдельных частей сооружения бетонная плотина по всей длине 111 м не имеет температурно-осадочных швов. Швы устроены только между плотиной и зданием ГЭС. В каждом пролете плотины имеются два температурных шва, проходящих от гребня водослива на глубину 10 м.

Бетонная плотина имеет три водосливных отверстия по 27 м, перекрытых секторными затворами высотой 6,6 м. Пропускная способность этих отверстий при наименьшем уровне воды в верхнем бьефе 1 200 м<sup>3</sup>/сек соответствует пропускной способности гидротурбин ниже расположенной Нижне-Свирской ГЭС. Объем бетона в бетонной плотине 184,3 тыс. м<sup>3</sup>.

В здании ГЭС руслового типа, входящем в состав водоподпорного фронта гидроузла и расположенном у левого берега, размещаются агрегаты с поворотнлопастными турбинами диаметром 8 м. Две группы однофазных повышающих



План.

1—водосливная плотина; 2—земляная плотина; 3—  
здание ГЭС; 4—судоходный шлюз.

трансформаторов расположены у стены здания ГЭС со стороны нижнего бьефа. Открытые распределительные устройства 220 и 110 кв расположены на левом берегу. Объем бетона в здании ГЭС (со служебным корпусом и сопрягающими устройствами) 223,7 тыс. м<sup>3</sup>.

Земляная плотина с двумя банкетами (верховым и низовым) выполнена из однородного мелкозернистого песка намывным способом. После отсыпки низового банкета из камня в текущую воду был отсыпан верховой банкет. Намывным способом почти всех временных и вспомогательных сооружений, а также рабочего поселка были начаты восстановительные работы. В течение 2 лет восстановление разрушенных временных сооружений было закончено и были возобновлены строительные работы по основным сооружениям.

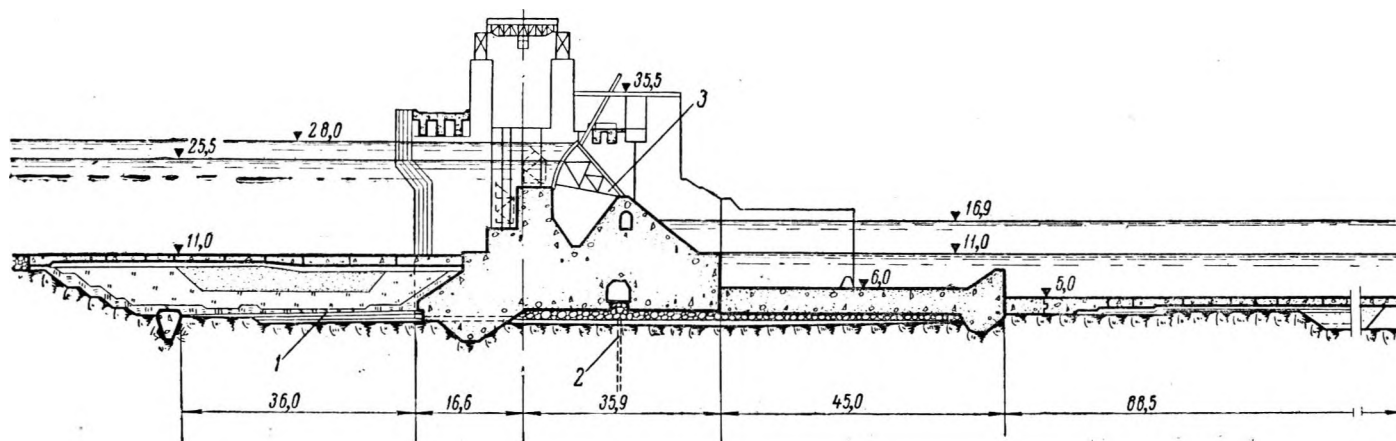
В подготовительный период были построены временные и вспомогательные сооружения, в том числе: перемычки по котловану первой очереди, бетонное хозяйство, промывные и сортировочные устройства заполнителей, складское хозяйство

во, ЛЭП с (подстанциями от Нижне-Свирской ГЭС напряжением 35 кв, длиной 30 км, жилые дома для рабочих строительства, автомобильные и железные дороги протяженностью 163 км.

В довоенный период было выполнено до 90% земляных работ в котловане левого берега и начата укладка бетона в основные сооружения.

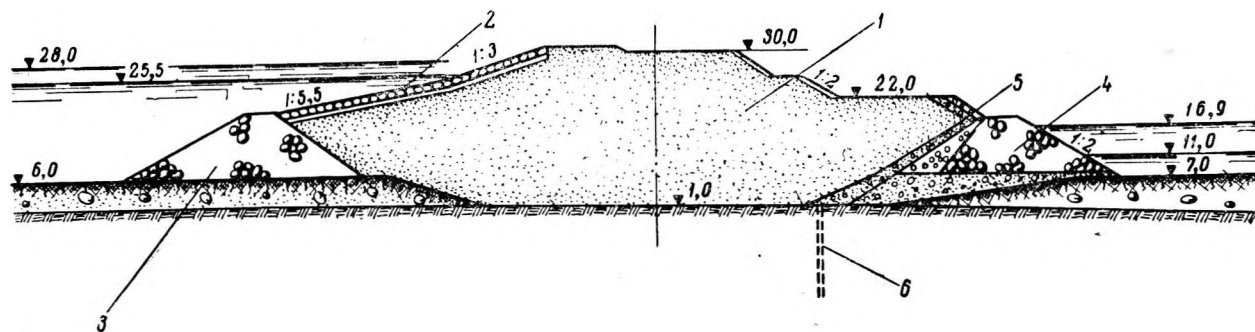
В послевоенный период (с 1947 г.) в связи с разрушением почти всех временных и вспомогательных сооружений, а также рабочего поселка были начаты восстановительные работы. В течение 2 лет восстановление разрушенных временных сооружений было закончено и были возобновлены строительные работы по основным сооружениям.

Строительство основных сооружений осуществлялось в две очереди. В первую очередь за ряжевными перемычками и металлическим шпунтом в осушенном котловане у левого берега сооружались бетонная плотина, здание ГЭС и судо-



Водосливная плотина.

1 — анкерный понур; 2 — дренажная скважина; 3 — секторный затвор.



Земляная плотина.

1 — мелкий песок; 2 — мощение камнем; 3 — упор 1ая призма; 4 — дренажная призма; 5 — обратный фильтр; 6 — глубокий дренаж (28,0—НПУ; 25,5—У МО; 10,9 — макс. УНБ; 11,0 — мин. УНБ).



ходный шлюз. Пропуск строительных расходов и судоходство по реке осуществлялись по стесненной части русла у правого берега шириной около 150 ж.

Во вторую очередь возводилась земляная плотина в правобережной части русла. Пропуск строительных расходов осуществлялся через временные пороги водосливной плотины и донные водосбросные отверстия под монтажной площадкой здания ГЭС.

В начальный период доставка бетонной смеси к месту укладки производилась автосамосвалами. В дальнейшем в плотину и здание ГЭС бетонная смесь доставлялась мотозамами в 3-м<sup>3</sup> бадах то узкоколейной дороге. Подачей бадей к месту укладки осуществлялась тремя 10-т портально-стреловыми кранами при вылете стрелы до 40 м. Подача арматуры и опалубки для плотины и здания ГЭС обеспечивалась радиальным 7,5-т кабельным краном.

Подача бетонной смеси в шлюз осуществлялась ленточными транспортерами, а арматуры и опалубки — двумя поперечными 7,5-т кабельными кранами.

Приготовление бетонной смеси осуществлялось на бетонном заводе производительностью до 100 тыс. м<sup>3</sup> в месяц (восемь бетономешалок по 2 200 л). Склад цемента вмещал до 8 тыс. т и состоял из восьми деревянных цилиндрических силосов.

Разрезка тела плотины на блоки бетонирования предусматривала перевязку строительных швов. Наряду с этим для уменьшения напряжений от деформаций фундаментной плиты (флутбета) в связи с ее осадками ее возведение осуществлялось с устройством швов раздельного бетонирования (в середине пролета). Замоноличивание этих швов производилось после того, когда отдельные части плотины давали величину осадки, равную 50% расчетной. Для плотины был

принят бетон марки 140. Бетонирование блоков велось слоями по 25 см с уплотнением вибраторами в деревянной щитовой опалубке при высоте блоков 3—4 м. Наибольшая интенсивность укладки бетона в летние месяцы во все сооружения гидроузла (плотину, силовое здание, шлюз) достигала 37 тыс. м<sup>3</sup>.

В период строительства велись наблюдения за изменениями избыточного пьезометрического давления грунтовых вод в процессе откачки котлована, за осадками сооружений в процессе их возведения и отклонениями осей агрегатов от вертикали по мере затопления котлована. Для ведения наблюдений в эксплуатационный период установлена контрольно-измерительная аппаратура по измерению взвешивающего давления на подошву сооружений, вертикальных и горизонтальных смещений сооружений и фильтрационных расходов.

Кроме того, установлена аппаратура по определению уровня воды в верхнем и нижнем бьефах, геометрических и действующих напоров, расходов воды, пропускаемых турбинами, перепада на сороудерживающих решетках и начала появления шугообразования.

По всем сооружениям выполнен следующий объем работ: выемка грунта 6,89 млн. м<sup>3</sup>, в том числе сухим способом — 2,42 млн. м<sup>3</sup>, насыпь грунта — 2,42 млн. м<sup>3</sup>, в том числе сухим способом — 1,76 млн. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 765 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции и механизмы — 10,35 тыс. т, гидросиловое оборудование — 3,9 тыс. т и электротехническое оборудование — 4 тыс. т.

Наполнение водохранилища было начато в декабре 1961 г. Первый гидроагрегат был пущен на пониженном напоре (около 6 м) в конце декабря 1951 г. Остальные три агрегата были пущены в течение 1952 г.

# НИЖНЕ-СВИРСКАЯ ПЛОТИНА

Нижне-Овирская ГЭС является нижней ступенью каскада гидроэлектростанций на р. Свирь, соединяющей Онежское и Ладожское юзера. В подпорный фронт длиной 1 865 м входят следующие сооружения: земляная плотина (русовая и правобережная часть) — 1 075 м, бетонная водосливная плотина — 191,6 м, здание ГЭС — 129 м, отдельный островок со шлюзом — около 170 м и левобережная дамба — около 300 м. Полная емкость водохранилища, создаваемого подпорными сооружениями, 24 млн. м<sup>3</sup>.

Регулирование стока р. Свири обеспечивается водохранилищем Верхне-Свирской ГЭС. Емкость собственного водохранилища Нижне-Свирской ГЭС дает возможность только некоторого ограниченного перерегулирования стока в течение суток.

До постройки Верхне-Свирской ГЭС расчетный сбросной расход реки через сооружения Нижне-Свирской ГЭС был принят равным 2 700 м<sup>3</sup>/сек, что соответствовало расходу вероятной повторяемости 1 раз в 1 000 лет.

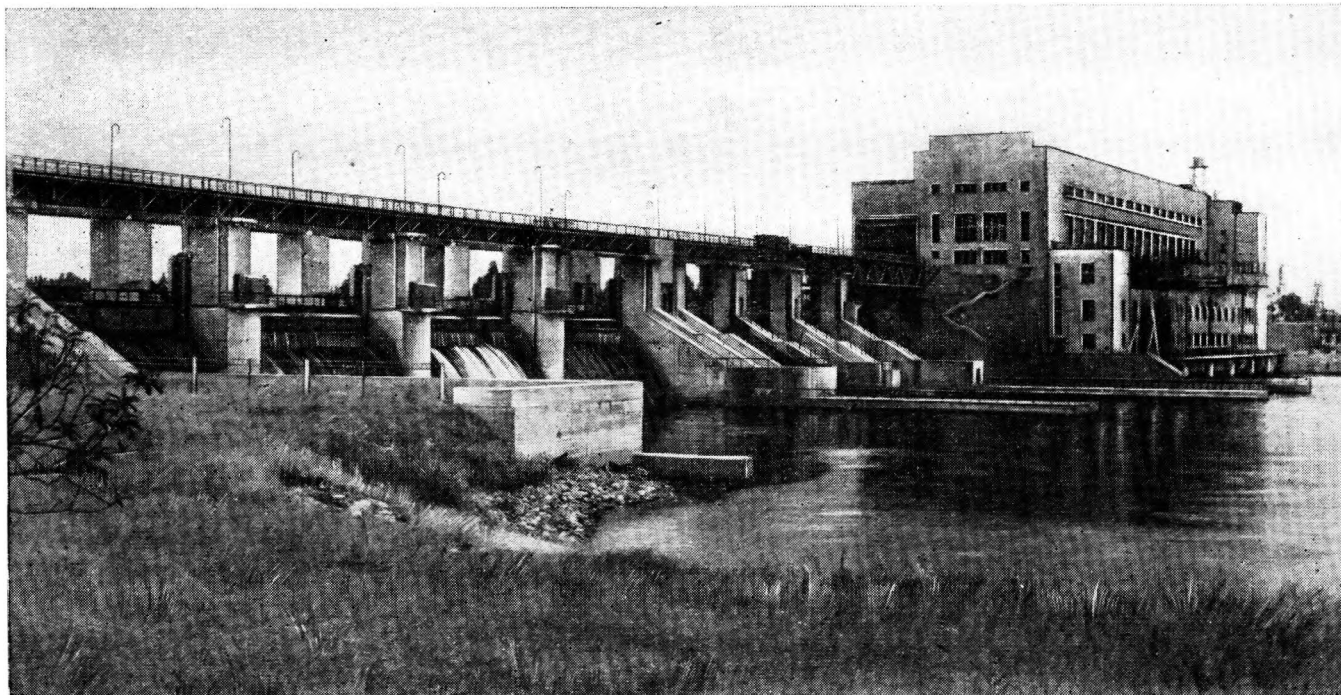
Среднегодовая многолетняя температура в районе гидроузла равна +2,9° С, минимальная — 42,3° С, максимальная +35° С, количество дней в году с отрицательными температурами в течение суток 150. Осенью, перед ледоставом, образуются шуговые заторы, сопровождающиеся поднятием уровня воды в реке.

Коренные породы, залегающие в основании сооружений, относятся к девонским отложениям и представлены переме-

жающимися слоями разнообразных глин и песков, насыщенных напорными грунтовыми водами. Девонская толща прикрыта четвертичными ледниковыми и послеледниковыми отложениями, мощность которых колеблется от нуля до нескольких метров.

Сложные геологические условия потребовали специальной конструкции бетонной плотины распластанного профиля, при котором обеспечивалось более равномерное распределение давления на основание. Для разгрузки толщи девонских грунтов основания от избыточного давления грунтовых вод устроены глубокие дренажные скважины и плоский дренаж под всей подошвой сооружения. Расчетное значение коэффициента сдвига бетона по девонской глине принималось равным 0,1 (коэффициент трения с учетом сцепления). Поэтому для обеспечения устойчивости сооружений, расположенных на девонских глинах, потребовалось устройство анкерных понуров.

Ширина бетонной плотины выбрана по условию, чтобы коэффициент запаса устойчивости сооружения на сдвиг без учета работы анкерного понура был равен 1. Во избежание неравномерных осадок и наклонов отдельных частей сооружения плотина устроена со сплошным фундаментом на всей длине 191,6 ж без температурно-осадочных швов. Плотина объемом бетона 225 тыс. м<sup>3</sup> имеет несколько отверстий: одно отверстие пролетом 30,9 ж, перекрытое секторным затвором высотой 4,7 ж, три глубоких отверстия пролетом по



Общий вид.

13,2 м и глубиной 13,2 м, перекрытых на часть высоты железобетонными балками и над ними на высоту 4,5 м плоскими затворами и четыре отверстия пролетом по 5 м, перекрытых плоскими затворами высотой 2,5 м.

Пропускная способность всех отверстий при нормальном подпорном уровне составляет 1 821 м<sup>3</sup>/сек, а при форсировании уровня — 2 231 м<sup>3</sup>/сек.

В здании ГЭС руслового типа, расположенном у левого берега, размещаются главные и вспомогательные агрегаты с поворотнлопастными турбинами.

Диаметр турбин основных агрегатов 7,42 м, вспомогательных — 2,3 м. Объем бетона в здании ГЭС с ледозащитной стенкой 199 тыс. м<sup>3</sup>.

Земляная плотина состоит из русловой и береговой частей. Длина русловой части 70 м, береговой — 1 005 м, максимальная высота плотины 28 м. Русловая часть имеет ядро из уплотненного суглинка; ядро сопрягается с металлическим шпунтом и коротким суглинистым понуром. С верховой и низовой сторон ядро прикрыто уплотненным песком. Береговая часть земляной плотины выполнена из песка с суглинистым экраном на верховом откосе, прикрытым песчаной отсыпкой. Объем тела земляной правобережной плотины 320 тыс. м<sup>3</sup>.

Левобережная дамба выполнена из песка с суглинистым ядром, которое сопрягается с металлическим шпунтом, забитым через намытый грунт в девонские глины. Объем левобережной дамбы 51 тыс. м<sup>3</sup>.

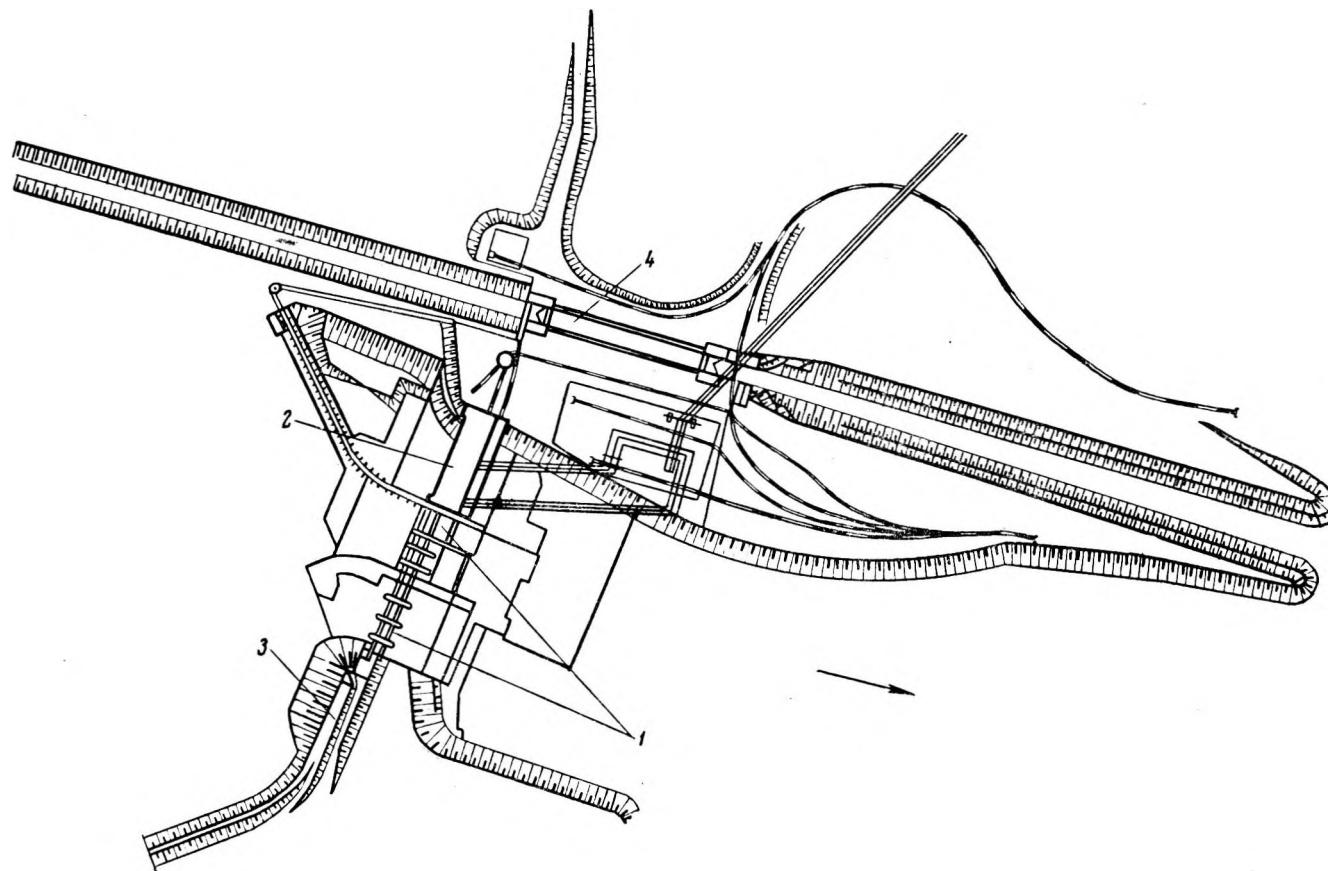
Подготовительные работы по гидроузлу были начаты в 1927 г., а работы по основным сооружениям — в 1930 г.

Возведение основных сооружений велось в две очереди. В первую очередь за перемычками возводились левая часть бетонной плотины (четыре отверстия, из них три — глубоких), здание ГЭС с ледозащитной стенкой и судоходные устройства.

Во вторую очередь, также за перемычками, были возведены четыре правобережных отверстия плотины с высокими

порогами. При выполнении этих работ пропуск расходов реки производился через три глубоких отверстия левой части бетонной плотины.

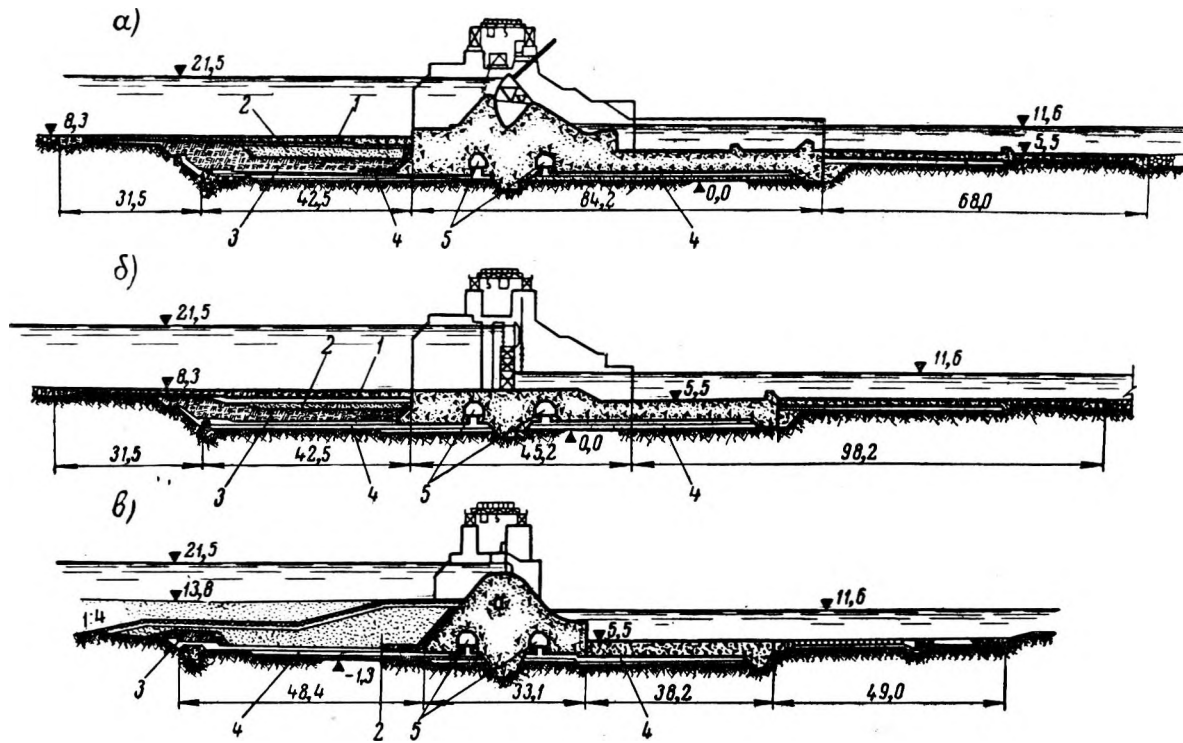
Разрезка тела плотины и других основных сооружений на блоки бетонирования осуществлена с перевязкой вертикальных швов. Для уменьшения напряжений от деформации фундаментной плиты плотины ее возведение выполнялось со швами отдельного бетонирования (в середине пролетов). Замыкание этих швов производилось после того, как проис-



План.

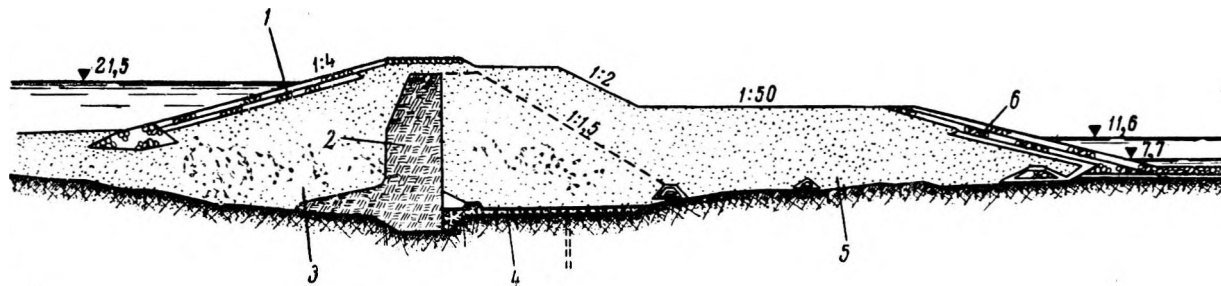
1 — водосливная плотина; 2 — здание ГЭС; 3 — земляная плотина; 4 — судоходный шлюз.





Водосливная плотина. Поперечные разрезы,

а — с секторным затвором; б — с плоским затвором и балочным ограждением; в — с плоским затвором; 1 — бетонные плиты; 2 — песок; 3 — глина; 4 — плоский дренаж; 5 — галереи.



Земляная плотина.

1 — камень; 2 — суглинок; 3 — песок уплотненный; 4 — бетон; 5 — песок без уплотнения; 6 — наклонный дренаж (21,5 — НПУ; 11,6 — макс. УНБ; 7,7 — мин. УНБ).

ходило не менее 50% осадок отдельных частей сооружения. На основании опыта строительства было установлено, что  $\frac{2}{3}$  осадок происходит в период постройки и только  $\frac{1}{3}$  осадок — в течение первых 10 лет эксплуатации.

Установка контрольно-измерительных устройств была начата еще до начала возведения основных сооружений. Эти устройства предназначались для наблюдений за давлением грунтовых вод, осадками сооружений и отклонениями осей агрегата от вертикали по мере наполнения водохранилища.

В эксплуатационный период установленные контрольно-измерительные устройства позволяют определять величины взвешивающего давления на подошву сооружения, верти-

кальных и горизонтальных смещений сооружений и фильтрационных расходов под сооружениями.

По всем сооружениям гидроузла выполнен следующей объем работ: выемка земли—4,1 млн. м<sup>3</sup>, насыпь грунта — 1,8 млн. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 576 тыс. м<sup>3</sup>, монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования — 8 130т, гидросиловое оборудование — 2 740 т.

Первый агрегат ГЭС был пущен в декабре 1933 г., остальные — в 1934 г.

Строительство Нижне-Свирской ГЭС обеспечивает энергетическое и транспортное использование р. Свири. Энергия ГЭС выдается в Ленинградскую энергосистему.

# КАУНАССКАЯ ПЛОТИНА

В состав сооружений гидроузла Каунасской ГЭС, расположенного на р. Неман выше г. Каунаса, входят: здание ГЭС обычного типа с блоком монтажной площадки, бетонная водосливная плотина, земляная намывная русловая плотина, земляная насыпная правобережная плотина, перевалочная база речного флота и ОРУ 110 кв. Назначение гидроузла — энергетика, транспорт и рыбное хозяйство.

Подпорные сооружения образуют водохранилище площадью 6,3,5 км<sup>2</sup>, длиной 83 км и полезным объемом 0,22 млрд. м<sup>3</sup>.

Климат района умеренно континентальный; он характеризуется преобладанием ветров западного и юго-западного направлений, высокой влажностью воздуха и частыми осадками. Среднегодовая температура воздуха +6,5° С. Годовое количество осадков в среднем составляет 620—640 мм с максимумом в августе и минимумом в феврале. Максимальная высота снежного покрова достигает 10—15 см при глубине промерзания до 1 м.

Среднегодовые расходы реки за период с 1890 по 1959 г.: максимальный — 439 м<sup>3</sup>/сек, минимальный — 221 м<sup>3</sup>/сек; паводковые максимальные расходы зафиксированы в 1931 г. — 2 340 м<sup>3</sup>/сек и в 1958 г. — 3 660 м<sup>3</sup>/сек, минимальный равен 98 м<sup>3</sup>/сек.

Расчетные расходы: обеспеченностью 1 раз в 1 000 лет — 2 960 м<sup>3</sup>/сек, обеспеченностью 1 раз в 10 000 лет — 4 500 м<sup>3</sup>/сек при горизонте форсировки, превышающем нормальный подпорный уровень на 2,4 м.

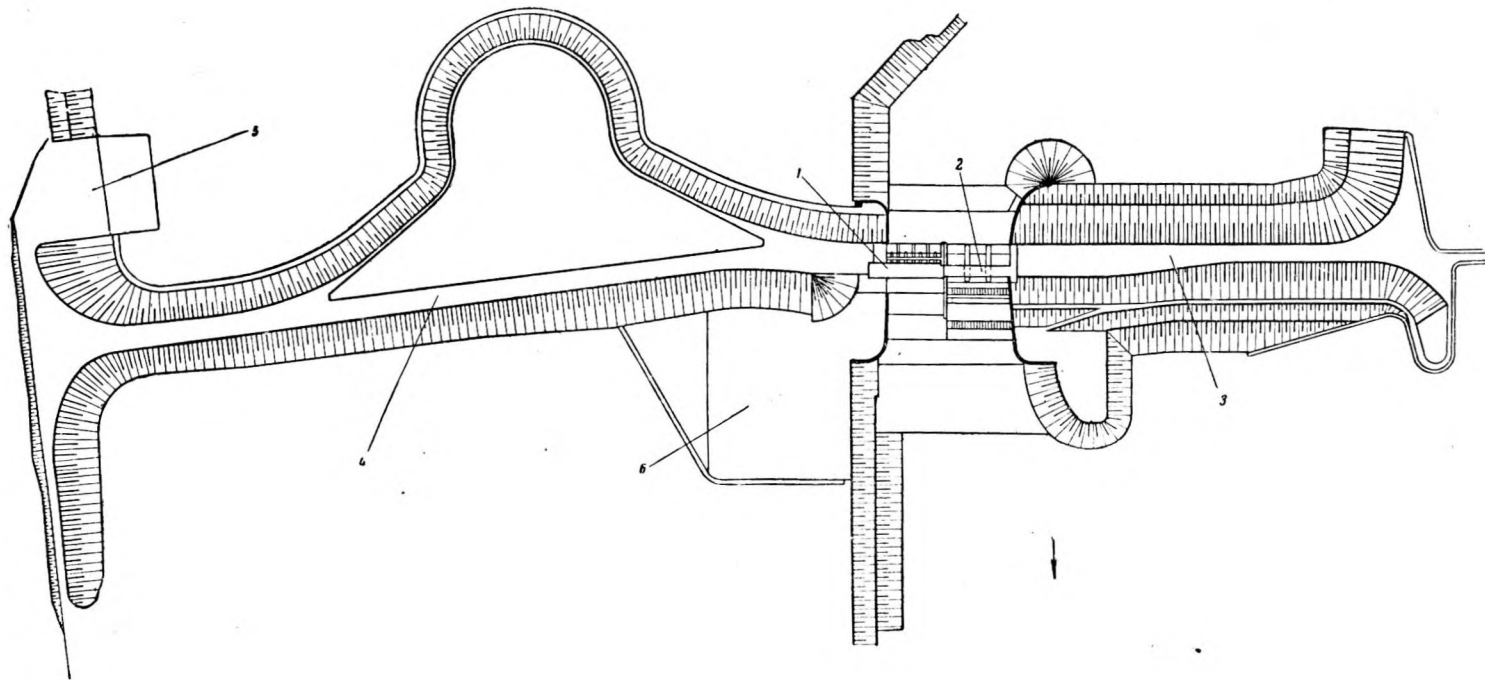
Ширина реки в межень в створе — около 230 м при глубине до 2,0 м. Ширина долины при нормальном подпорном уровне составляет 1,5 км. На правом берегу имеется высокая пойма шириной 160 м с надпойменными террасами общей шириной 900 м. Склоны коренных берегов долины пологие. Долина реки врезана в четвертичные отложения, подстилаемые юрскими глинами мощностью около 50 м.

Основные бетонные сооружения — здание ГЭС и водосливная плотина — располагаются на правом берегу реки в пределах высокой поймы с обоснованием на плотных водонепроницаемых моренных суглинках и супесях (объемный вес 2,1 т/м<sup>3</sup>, влажность 8,8%, содержание гравия 7,5%, песка 54%, сжимаемость 10—15 мм/м при нагрузках 3 — 5 кг/см<sup>2</sup>, угол внутреннего трения 30°, сцепление 0,25 кг/см<sup>2</sup>).

В левобережном склоне залегает линза флювиогляциональных отложений с напорными грунтовыми водами. Для предотвращения оползневых явлений осуществлен вертикальный разгрузочный дренаж.

Основанием водосливной плотины служит толща морены из весьма плотных суглинков (объемный вес 2,28 т/м<sup>3</sup>), обладающих высокой несущей способностью при большом сопротивлении сдвигу (0,55 при нагрузке 5 кг/см<sup>2</sup>).

Отметка гребня водослива выбрана по условию пропуска расчетного паводка обеспеченностью 1 раз в 1 000 лет при нормальном подпорном уровне и учете работы трех турбин ГЭС. Катастрофический паводок обеспеченностью 1 раз в 10000 лет пропускается с учетом работы всех турбин ГЭС



План.

1— здание ГЭС; 2—водосливная плотина; 3—земляная русловая плотина; 4—земляная правобережная плотина; 5 — перевалочная база речного флота; 6 — ОРУ 110 кВ.

при уровне воды в водохранилище, превышающем на 1,4 м нормальный подпорный уровень.

Коэффициент устойчивости сооружения равен: при нормальных условиях — 1,25, при нарушенном понуре—1,0, при пропуске поверочного расхода обеспеченностью 1 раз в 10000 лет  $4\ 500\ м^3/сек$ — 1,10.

Бетонная водосливная плотина представляет односекционное сооружение длиной 79 м с тремя водосливными пролетами размером в свету 7X20 м каждый, перекрываемыми сегментными затворами.

В конструктивном отношении плотина состоит из массивной армобетонной фундаментной плиты, на которой расположены бычин (средние шириной 4 м, крайний со стороны здания ГЭС — 3 м), сопрягающего устоя шириной 8 м и водо-

сливов. Бычки и устой жестко соединены с фундаментной плитой. Сливная грань водослива конструктивно армирована сетками для восприятия температурно-усадочных напряжений и возможности ремонта в случае ее повреждения (выштрабование с последующим бетонированием по готовой сетке).

Каждый пролет посередине разрезан на глубину 14,0 м температурным швом, перекрытым металлическим компенсатором.

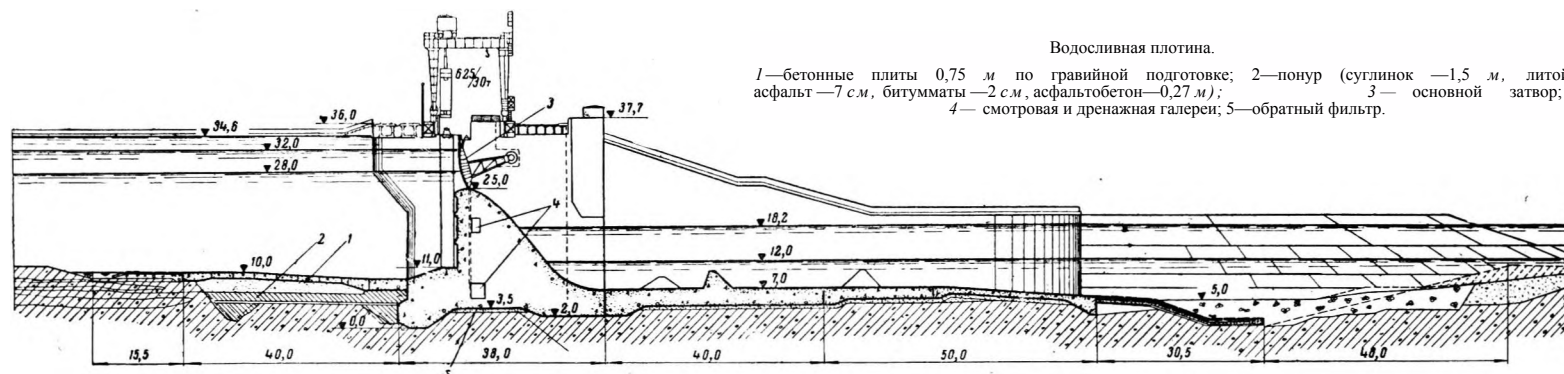
От здания ГЭС водосливная плотина отделена деформационным швом, имеющим систему горизонтальных и вертикальных шпонок; с русловой земляной плотиной она сопрягается диафрагмой длиной 25 м. Шов между диафрагмой и водосливной плотиной уплотнен битумной шпонкой.

Для обеспечения устойчивости на сдвиг фундаментная пли-



Водосливная плотина.

1—бетонные плиты 0,75 м по гравийной подготовке; 2—понуры (суглинок —1,5 м, литой асфальт —7 см, битумматы —2 см, асфальтобетон—0,27 м); 3—основной затвор; 4—смотровая и дренажная галереи; 5—обратный фильтр.



га выдвинута в сторону верхнего бьефа с устройством зубьев, заглубленных в основание на 1,5—3,5 м.

Под плитой между зубьями заложен трехслойный обратный дренажный фильтр, соединенный с дренажными колодцами, которые выходят в галерею плотины, расположенную в фундаментной плите. Сброс фильтрационных вод производится через магистральный коллектор, имеющий свободный выход в нижний бьеф. Водосбросной коллектор оборудован двумя дифференциальными реле давления для измерения фильтрационных расходов. Величина фильтрационного расхода через дренаж водосливной плотины составила 0,012—0,014 л/сек.

Для наблюдения за состоянием тела плотины расположена смотровая галерея, соединяющая помещения левобережного устоя плотины со зданием ГЭС.

В помещениях левобережного устоя размещены насосно-нагревательная станция обогрева закладных частей затворов и компрессорная для создания майны перед затворами. Кроме того, в массиве устоя имеются транспортная шахта для подачи оборудования в указанные помещения и лестничные клетки для выхода на верхние отметки плотины.

С верховой стороны бычки и устои имеют вертикальные пазы с закладными частями для ремонтного затвора; в средней части расположены опоры сегментных затворов с помещениями для осмотра и смазки.

Для обслуживания затворов плотина оборудована козловым 2X62,5/30-т краном пролетом 13 м.

Вентиляция дренажной и смотровой потерн осуществляется теплым воздухом из машинного зала здания ГЭС путем циркуляции, вызываемой отсосом воздуха из тупиковой части дренажной потерны.

Контрольно-измерительная аппаратура заложена в виде пьезометров и высотных марок.

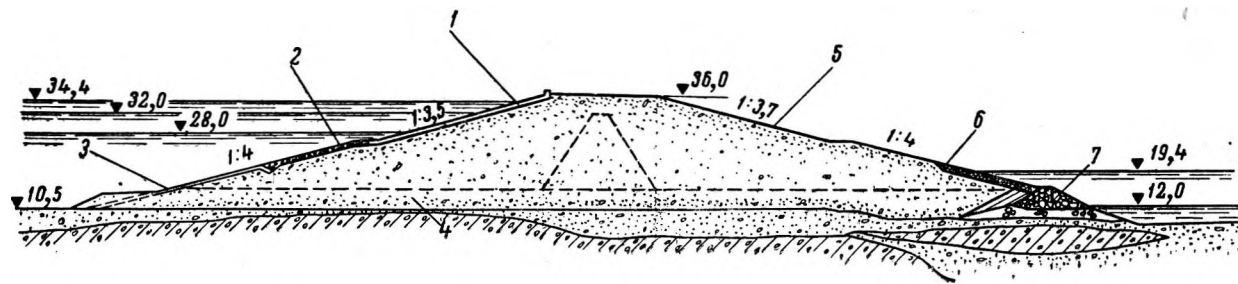
Армирование тела плотины произведено в основном армокаркасами, армосетками и прутковой арматурой. Напорная грань водослива облицована сборными армоплитами. Расход арматуры составляет в среднем 25,0 кг/м<sup>3</sup> бетона.

Все сооружение по высоте разбито на девять ярусов бетонирования. Максимальные размеры блоков бетонирования в плане — до 20 м, по высоте — до 6 м при площади до 300 м<sup>2</sup>.

Марш бетона приняты с зональным распределением по условиям прочности, плотности и морозостойкости: фундаментная плита и устой — 200, бычки и водослив — 150 и 200.

Требования морозостойкости предъявлялись к бетону, расположенному в зонах переменного горизонта.

Понуры водосливной плотины совместно с основанием создают общий противофильтрационный подземный контур сооружения. Длина понура принята по лабораторным фильтрационным исследованиям 30,0 м (1,75Н). В рабочем проекте



Земляная плотина.

1 —армобетонные плиты; 2—каменная наброска; 3 — гравийное покрытие; 4—подводный намыв; 5—одерновка с посевом трав; 6 — наклонный фильтр; 7 —качанный банкет.

из конструкции понура исключена бетонная подготовка, так как при весьма малой водопроницаемости (0,05 м/сек) моренных суглинков тощая бетонная подготовка является водопроводящей средой, значительно снижающей эффективность работы понура.

Понур ГЭС и водосливной плотины включает в себя следующие элементы: асфальтобетон — 27 см, два слоя битумных матов — 1 см, асфальтовая мастика — 1 см, литой асфальт — 7 см, мятый суглинок — 150 см.

Понур пригружен слоем песчаного грунта толщиной 1,5 м, являющегося тепловой изоляцией от низких температур в строительный период, и армобетонными плитами толщиной от 0,75 до 2,00 м, уложенными на однослойном гравийном слое. Длина крепления понура бетонными плитами принята в соответствии с результатами гидравлических исследований в лаборатории ВОДГЕО. Верховая часть крепления понура длиной 15 м выполнена из шести рядов бетонных плит размером 2,3 X 2,0 м и толщиной 0,35 м с пригрузкой камнем первых двух рядов.

В рабочую часть понура входит также зуб глубиной 2,5 м и шириной понизу 1,5 м из суглинка, который проходит по всему фронту понура и под сопрягающими стенками.

Форма крепления нижнего бьефа выбрана с расчетом получения при сбросе паводковых расходов донного режима сопряжения струй с затопленным прыжком.

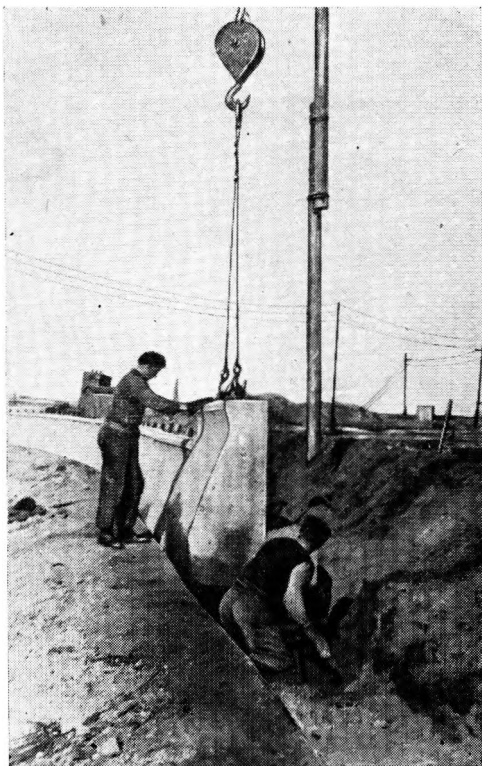
В целях исключения бокового сжатия потока, а также связанного с ним местного увеличения удельных расходов за рисбермой предусмотрено устройство боковой струнаправляющей дамбы за низовой стенкой левобережного устоя.

Для защиты от размыва в конце гибкой рисбермы предусмотрен ковш-регулятор размыва, заполненный каменной наброской. Торце рисбермы, примыкающий к земляному пирсу, защищен от размыва специальной каменной призмой. Общий объем каменной наброски за рисбермой составляет 31 тыс. м<sup>3</sup>.

Плита водобоя плотины длиной 40 м и толщиной 3,5 м в поперечном направлении разрезана на три плиты строительными швами через 24 м (против каждого бычка).

<sup>4</sup> Плиты водобоя армированы сетками и фермопакетами. Марка бетона 250. Под плитами уложен трехслойный фильтр толщиной 50 см из песка и гравия. Выход фильтрационных вод обеспечивается через дренажные колодцы, расположенные через 5 м в шахматном порядке, заполненные гравием и покрытые сверху металлическими решетками.

Гашение энергии при сбросе паводка через водосливы плотины осуществляется армобетонными зубчатыми гасителями высотой 2 м и шириной 1,6 ж с расстоянием между ними 1,5 ж и водобойной стенкой высотой 3 м. Марка бетона гасителей и стенки 400. Ребра гасителей усилены металлическими листами толщиной 10 мм.



Земляная плотина. Установка сборного парапета.

Плиты жесткой рибсермы толщиной 2,5—1,5 м уложены на трехслойном обратном фильтре из песка и гравия, аналогичном фильтру водобоя. В плитах устроены дренажные колодцы 40X40 см, заполненные гравием; в первом ряду плит колодцы расположены через 5 м в шахматном порядке, во втором, и третьем рядах — по одному колодцу в каждой плите. На плитах первого ряда расположены зубчатые гасители-рас- текатели высотой 3 м и шириной 1,6 м с просветом между ними 1,5 м.

Гибкая рибсерма длиной 30,5 м состоит из двух рядов армобетонных плит размером 1,9X12,27X0,35 м, уложенных

на обратном фильтре толщиной 0,5 м (по аналогии с фильтром водобоя).

Все плиты гибкой рибсермы связаны между собой шарнирно с помощью креплений из арматурной стали диаметром 32 мм. Конец гибкой рибсермы заведен в ковш-регулятор размыва на глубину 4,7 м. Наблюдения за осадками сооружения были начаты через 10—11 мес. после начала укладки бетона. До наполнения водохранилища осадка сооружения протекала равномерно с небольшим (6—7 мм) креном в сторону нижнего бьефа и левобережного устоя. После наполнения водохранилища до нормального уровня осадка прекратилась и только спустя 4 мес. произошло дополнительное обжатие основания на 4—5 мм. Средняя величина осадки на 1/1 1961 г. составила 31,2 мм при максимальной ее величине 36,6 мм.

Объемы бетонных работ по плотине: монолитный бетон — 48,67 тыс. м<sup>3</sup>, сборный бетон — 627 м<sup>3</sup>, арматура — 1 280 т.

Русловая земляная намывная плотина (длина 464 м, высота 25,8 м, ширина по основанию 225 м, объем 1,22 млн. м<sup>3</sup>) перекрывает р. Неман, сопрягаясь с одной стороны с коренным склоном левого берега, а с другой — с бетонным устоем водосливной плотины. Основанием русловой части плотины служат песчано-гравелистые отложения мощностью до 7 ж, подстилаемые плотными моренными суглинками. На участке левобережной поймы залегают супеси и суглинки мощностью до 4 м. Склон левого берега сложен озерно-ледниковыми ленточными водонасыщенными глинами, лежащими на водоносном слое флювиогляциальных отложений.

Верховой откос с заложением от 1 : 3,5 до 1 : 4 имеет берму, заглубленную под уровень мертвого объема на 1,5 высоты волны. Ширина бермы выбрана по условию размещения кранового оборудования при бетонировании защитного армобетонного покрытия из плит 10X10X0,25 м. Ниже бермы на глубине 5,5 м крепление выполнено из каменной наброски, переходящей в гравийное покрытие. Низовой откос в пределах намывной части имеет заложение 1 : 4, а для насыпной части — 1:2, 1:3 и 1 : 3,5. Крепление низового откоса от гребня до бермы выполнено одерновкой с посевом трав. Ни-



же бермы до начала наклонного фильтра по откосу уложено гравийное покрытие толщиной 0,4 м. Коэффициенты запаса устойчивости откосов по проектным данным равны: эксплуатационный случай—1,32, катастрофический случай—1,19, строительный случай—1,07.

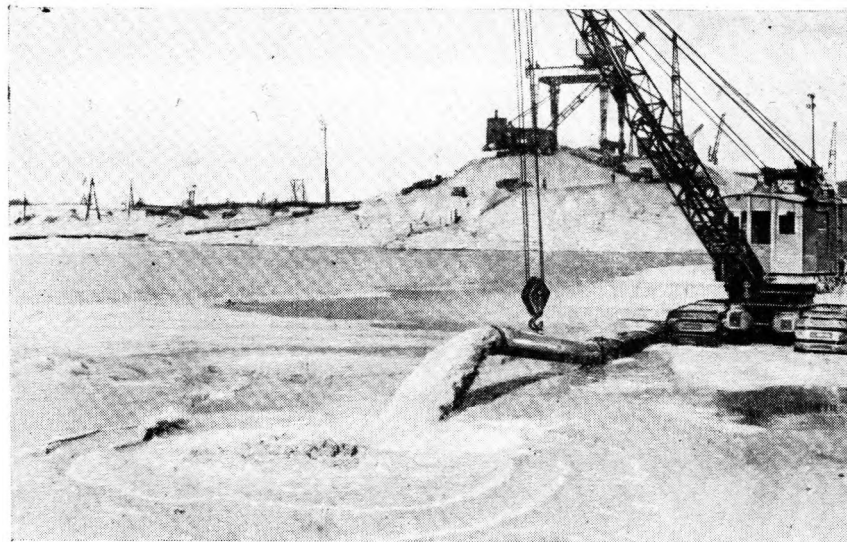
Нижняя часть плотины была возведена на высоту 4,8 м подводным намывом под защитой каменного банкета, остальная часть профиля до гребня—надводным намывом по двусторонней схеме из песчано-гравелистых грунтов, причем на высоту 13 ж с отдельной подачей мелкозернистых песков в центральную часть.

Средние значения физико-механических показателей намывных грунтов тела плотины оказались: в центральной части— объемный вес  $1,64 \text{ т/м}^3$ , коэффициент фильтрации  $13,54 \text{ м/сутки}$ , в боковых призмах— $1,75 \text{ т/м}^3$  и  $27,4$  —  $33,6 \text{ м/сутки}$  соответственно.

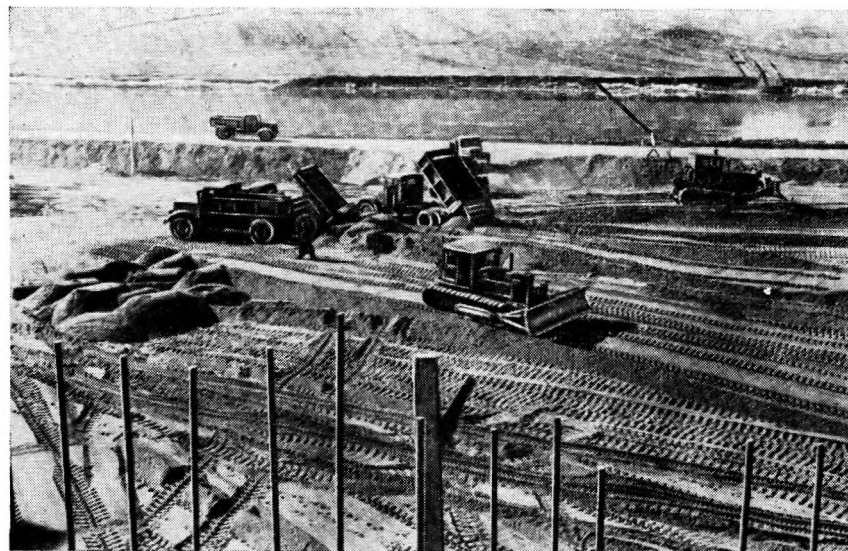
Для намыва тела плотины использовались три земснаряда типа 300-40 со среднемесячной производительностью  $261,7 \text{ тыс. м}^3$ , или на один земснаряд  $96 \text{ тыс. м}^3$ . Объем уложенного грунта в тело плотины составил  $1,15 \text{ млн. м}^3$ , в том числе намывным способом —  $860 \text{ тыс. м}^3$ . Объем бетона: крепление верхнего откоса —  $9,9 \text{ тыс. м}^3$ , сборный парапет —  $558 \text{ м}^3$ .

Правобережная земляная насыпная плотина (длина 930 м, высота 16 м, объем  $1,52 \text{ млн. м}^3$ ) состоит из двух частей: собственно плотины и примыкающей к ней со стороны верхнего бьефа пришлюзовой насыпи, которая предназначена для устройства в ней в будущем судоходного шлюза. Напорный откос плотины в пределах сработки уровня водохранилища покрыт армобетонными плитами толщиной 0,2 ж, уложенными по двухслойному фильтру. Ниже откос, укреплен гравийным покрытием. Низовой откос закреплен одерновкой с посевом трав. В центральной части тела плотины суглинистое ядро сопрягается с водонепроницаемым основанием шпунтовым рядом, прорезающим толщу аллювиальных отложений.

Плотина вместе с пришлюзовой насыпью возводилась



Земляная плотина. Намыв.  
(34,4—ФПУ; 32,0—НПУ; 28,0—УМО; 19,4—макс. УНБ; 12,0—мин. УНБ).



Земляная плотина. Отсыпка грунта в плотину.



насыпным способом. Уплотнение грунтов производилось катками и тракторами для песчаных грунтов до объемного веса 1,6—1,8  $t/m^3$ , для суглинистых грунтов — до 1,9—2,1  $t/m^3$ . Общий объем насыпного грунта составил 1,52 млн.  $m^3$ , в том числе качественной насыпи с уплотнением—1,02 млн.  $m^3$ .

Здание ГЭС, расположенное на толще моренных суглинков (коэффициент сдвига 0,51, сжимаемость 10—15  $mm/m$  при нагрузках 3—5  $кГ/см^2$ , объемный вес 2,1  $t/m^3$ ), практически водонепроницаемых, оборудовано четырьмя поворотнлопастными турбинами (диаметр рабочего колеса 5,0 м, расчетный напор 14,85 м, мощность 23,4 тыс.  $квт$ ). Все турбинные блоки расположены на общей фундаментной плите (длина 75,35 м, ширина 49,5 м).

Передняя стенка машинного зала воспринимает напор воды с верхнего бьефа и служит для размещения основных двухсекционных плоских затворов и 100-т гидроподъемников. Все вертикальные стенки машинного зала, бычки, забраль-

ные стенки выполнены скорлупного типа из сборных железобетонных плит с замоноличиванием внутренних полостей. Плиты включают несущую рабочую арматуру конструктивных элементов. Объем сборного железобетона по зданию ГЭС составил 36%. Коэффициент запаса устойчивости здания ГЭС находится в пределах от 1,11 до 1,41 при напряжениях в основании от 1,7 до 3,64  $кГ/см^2$ .

Осадки бетонных сооружений за период строительства до и после наполнения водохранилища (март 1961 г.) составили: по бетонной плотине—10—14 и 32  $mm$ , по зданию ГЭС—17—20 и 37  $mm$  соответственно.

Общий объем работ, выполненный за 1957—1961 гг., составил: а) по основным сооружениям: выемка — 2,3 млн.  $m^3$ , насыпь — 2,9 млн.  $m^3$ , в том числе 0,86 млн.  $m^3$  гидронамывом, бетон и железобетон — 233,5 тыс.  $m^3$ ; б) всего по всем сооружениям: выемка — 5,1 млн.  $m^3$ , насыпь — 3,5 млн.  $m^3$ , бетон и железобетон—252,5 тыс.  $m^3$ .

Чардаринское водохранилище будет расположено в конце среднего течения р. Сыр-Дарьи в Южно-Казахстанской обл.

Водоохранилище имеет комплексное назначение: ирригационное, энергетическое и для ликвидации опасных наводнений в низовьях реки.

Полный объем водохранилища 5,7 млрд. м<sup>3</sup>, полезный — 4,7 млрд. м<sup>3</sup>.

Из Чардаринского водохранилища будет орошаться Кзыл-Кумский массив, расположенный на левом берегу р. Сыр-Дарьи. Регулятор будущего магистрального Кзыл-Кумского канала предусмотрен на расход 200 м<sup>3</sup>/сек и расположен в теле намывной плотины.

Водоохранилище создается при помощи двух узлов: Чардаринского на р. Сыр-Дарье и Арнасайского на входе в Арнасайское понижение.

Основным узлом является Чардаринский. Он состоит из земляной намывной плотины и здания гидроэлектростанции, совмещенного с водосбросами.

Второй узел предназначен для регулирования расходов воды, сбрасываемых в Арнасайское понижение, и состоит из укатанной супесчаной плотины высотой 10 ж при длине 2,1 км и сбросного сооружения на расход 2 100 м<sup>3</sup>/сек.

Климат района гидроузла характеризуется короткой зимой с неустойчивым снежным покровом и продолжительным жарким летом. Среднегодовая температура воздуха 13—14° С, максимальная летняя +47°С и минимальная зимняя — 34° С.

Годовое количество осадков 1/0—200 мм, годовая величина испарения 1 157 мм.

Чаша водохранилища имеет довольно крутой холмистый правый берег четвертичных возрастов с выходами меловых пород в районе возвышенности Джаусум-Кум, где располагается Чардаринский узел. Левый борт долины сложен золотыми песками пустыни Кзыл-Кум.

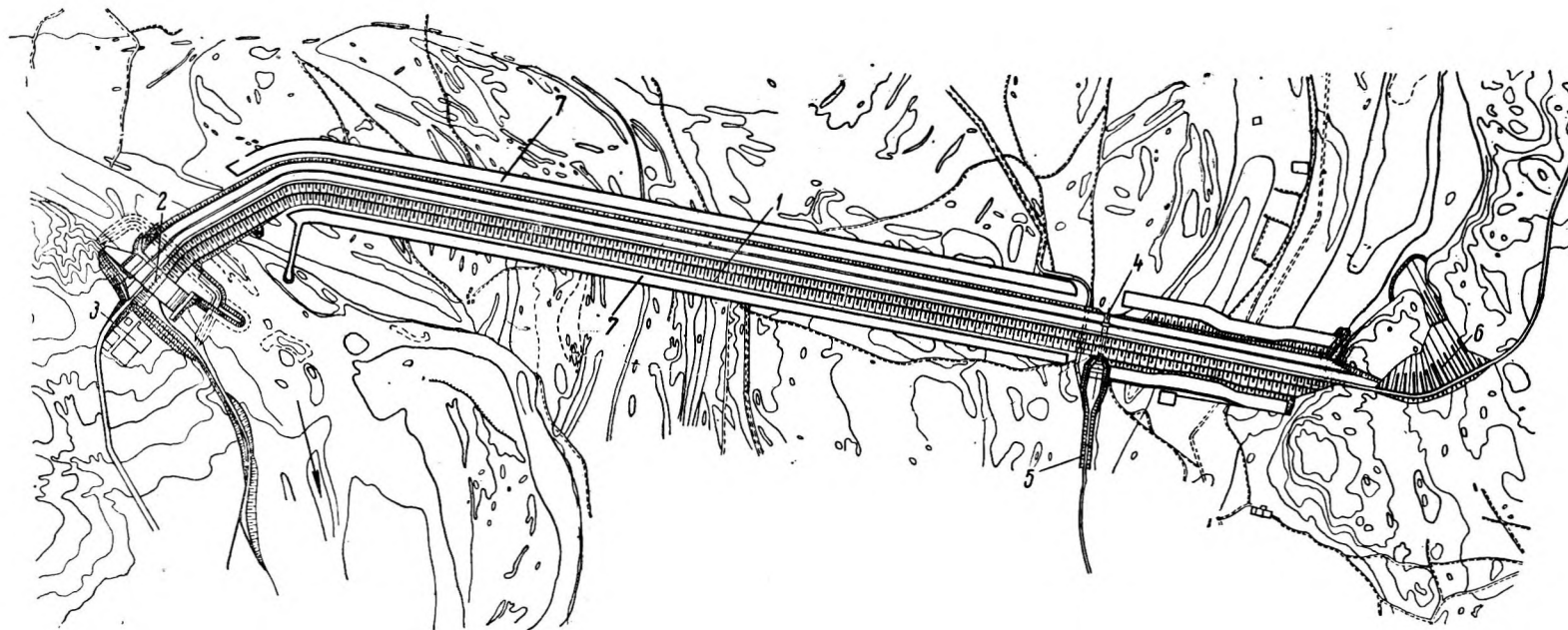
Сооружения Чардаринского узла имеют в основании коренные породы, сложенные алевролитами, мергелистыми глинами, песками и песчаниками и прослойками конгломерата.

Здание станции расположено на глинах и песчаниках. Пойменная часть реки, где располагается земляная плотина, сложена мелкозернистыми песками, покрытыми супесями и на некоторых участках суглинками.

Водный режим реки характеризуется следующими данными: среднемноголетний расход — 709 м<sup>3</sup>/сек, средний зимний расход воды — 499 м<sup>3</sup>/сек, максимальный наблюдаемый паводковый расход — 3 860 м<sup>3</sup>/сек, расчетные максимальные расходы повторяемостью 1 раз в 1000 лет — 4 184 м<sup>3</sup>/сек и 1 раз в 20 лет — 3 079 м<sup>3</sup>/сек.

На участке реки выше створа наблюдается шугообразование.

Общая протяженность земляной намывной плотины 4 760 м. Правой стороной плотина примыкает к бетонным сооружениям здания станции. Левая сторона плотины упирает-



План.

1—земляная плотина; 2—здание ГЭС совмещенного типа; 3—ОРУ 110 квт; 4—регулятор; 6—дамба; 7—отвалы.

ся в барханные пески Кзыл-Кумского плато и сопрягается с ними левобережной намывной дамбой длиной 480 м.

Плотина намывается из мелкозернистых песков с объемным весом скелета грунта боковых призм  $1,52 \text{ т/м}^3$ . Карьеры приходится на русло р. Сыр-Дарьи. Для намыва расположены со стороны верхнего и нижнего бьефов на расстоянии 300 м от плотины. Заложение откосов бьефа располагается упорная призма, совмещенная с камен- принято 1 : 4,5 в нижней части и 1 ; 4 в верхней части плотины.

Отметки гребня плотины и бетонного парапета определены, исходя из расчетной высоты волны, 3,1 м.

Верховой откос плотины крепится монолитными железобетонными плитами размером  $12,5 \times 12,0 \text{ м}$  толщиной 0,28 м по слою подготовки из мелкого гравия толщиной 0,15 м. В местах швов размещаются ленточные двухслойные обратные фильтры.

Плотина делится на три участка: русловой, левобережный и озерный.

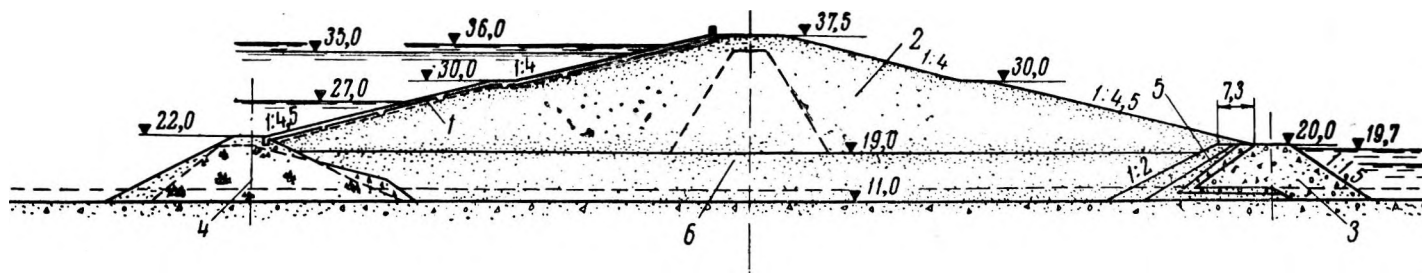
Длина руслового участка 796 м, из них примерно 300 м

Наибольшая высота плотины 26,5 м. Со стороны верхнего бьефа отсыпается дренажная призма с двухслойным обратным фильтром.

Со стороны нижнего бьефа отсыпается дренажная призма с двухслойным обратным фильтром.

Левобережный участок располагается в основном в пойме реки и частично на первой террасе. Длина участка 3 087 м, высота плотины примерно 18 м.

В плотине устраивается закрытый трубчатый дренаж с двухслойным обратным фильтром и обсыпкой трубы крупным гравием. По длине дренажа через 100 м располагаются



Земляная плотина

1 — армированные бетонные плиты; 2 — мелкозернистый песок; 3 — дренажная призма; 4 — каменный банкет; 5 — обратный фильтр; 6 — подводный намыв.

смотровые колодцы. Фильтрационная вода поперечными отводами собирается в водосборной канаве и отводится в реку.

Длина озерного участка 877 м. Плотина на этом участке перекрывает два озера глубиной до 4 м. В связи с тем, что на этом участке в основании залегают суглинки, все откосы плотины приняты 1 : 4,5.

Дренаж плотины этого участка аналогичен дренажу левобережного участка.

За примыканием плотины к Кзыл-Кумским барханам имеется понижение, которое перекрывается дамбой, достигающей высоты 5 м, намываемой из барханных песков.

Напорный откос дамбы также принят с железобетонным креплением толщиной 0,28 м, заведенным на глубину, обеспечивающую защиту от переработки берега.

Общий расчетный сбросной расход 3 900 м<sup>3</sup>/сек распределяется между Чардаринским узлом — 1 800 м<sup>3</sup>/сек и Арнасайским — 2 100 м<sup>3</sup>/сек.

Водосбросы Чардаринского узла приняты в виде четырех донных отверстий размером 5,0Х6,0 м каждое, совмещенных со зданием ГЭС в одно сооружение и расположенных по два справа и слева от блоков агрегатов ГЭС.

Симметричное расположение водосбросов обеспечивает равномерное распределение потока на рисберме.

Расчетный расход водосбросов 1 000 м<sup>3</sup>/сек.

Здание станции, совмещенное с водосбросами, расположено на правом берегу; подъезд предусмотрен со стороны нижнего бьефа.

Сопряжение здания станции с правым берегом осуществляется насыпью из укатанной супеси с бетонной одеждой со стороны верхнего бьефа.

В верхнем и нижнем бьефах ГЭС насыпи обоих берегов поддерживаются подпорными стенками.

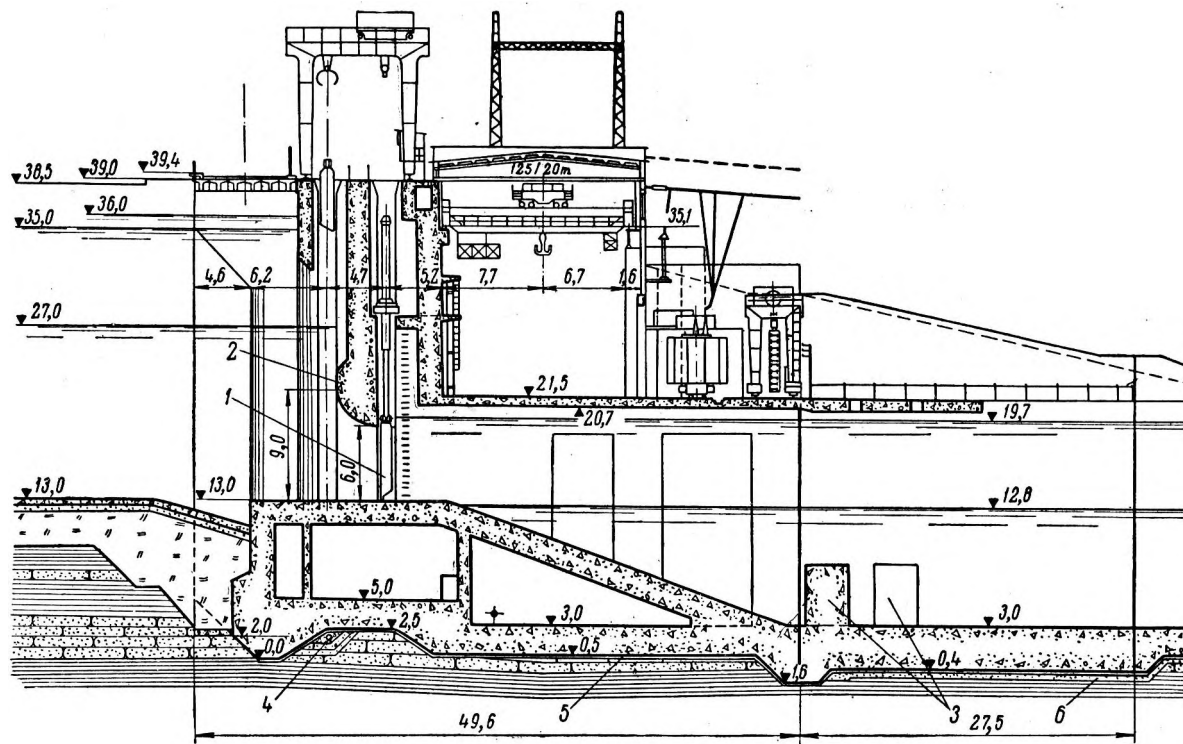
За левобережной стенкой нижнего бьефа предусмотрено устройство защитной дамбы длиной 208 м для защиты низового откоса руслового участка намывной плотины и направления потока в основное русло реки.

Кзыл-Кумский регулятор на расход 200 м<sup>3</sup>/сек расположен в теле намывной плотины на левом берегу на расстоянии 3,8 км от здания ГЭС. Сооружение представляет собой трехочковый трубчатый регулятор с входными отверстиями 2,5Х4,5 м с гасителем, расположенным в нижнем бьефе.

Очередность строительства намечена следующая. В первую очередь в котловане, огражденном от русла реки земляной перемычкой с противофильтрационной однорядной шпунтовой завесой, возводятся бетонные сооружения здания станции с водосбросами.

В этот же период производятся намыв и крепление откосов левобережного и озерного участков плотины до проект-





Водосброс в здании ГЭС.  
 1 — основное затвор донных отверстий; 2 — забральная стенка; 3 — гасители; 4 — трубчатый дренаж; 5 — бетонная подготовка;  
 6 — обратный фильтр (36,0 — ФПУ; 35,0 — НПУ; 27,0 — УМО; 19,7 — макс. УНБ; 12,8 — мин. УНБ).

пых отметок. Наличие Кзыл-Кумского регулятора с объемом бетонных работ 15 тыс. м<sup>3</sup> усложняет намыв плотины, и поэтому проектом предусматривается опережение бетонных работ по регулятору, с тем чтобы обеспечить окончание береговых участков плотины к моменту переключения расходов реки.

К этому же сроку заканчивается строительство Арнасайского узла сооружений, выполняемого насухо.

Во вторую очередь, после завершения бетонных работ по сооружениям, перемычки разбираются и расходы реки переключаются на сооружение.

Расходы пропускаются через все четыре донных водосбросных отверстия и кратеры турбин всех агрегатов. Переключение расходов намечено на сентябрь 1963 г. Русло реки перекрывается каменным банкетом, часть которого выполняется пионерным способом отсыпкой с берегов до создания прорана шириной 110 м, закрываемого отсыпкой камня и бетонных блоков с понтонного моста.

После перекрытия русла реки выполняется низовая дренажная призма с двухслойным обратным фильтром, производится намыв русловой части плотины и закрепление верхнего откоса,

Окончание работ в блоках гидроэлектростанции с монтажом агрегатов производится в два приема после перекрытия русла реки поочередным закрытием каждой секции из двух агрегатов.

На строительстве должны быть выполнены следующие объемы основных работ: выемки грунта — 3 500 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь — 13 300 тыс. м<sup>3</sup> (в том числе гидромеханизацией — 8 750 тыс. м<sup>3</sup>), каменная наброска — 116 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 374 тыс. м<sup>3</sup>.

Основные выемки выполняются поярусной разработкой па автотранспорт экскаваторами. Срезка растительного слоя выполняется скреперами и бульдозерами. Котлован ГЭС предварительно рыхлится взрывами.

Плотина Чардаринского узла намывается безэстакадным методом земснарядами «300-40» и гидромониторно-землесосными установками.

Остальные насыпи возводятся из грунтов, доставляемых скреперами и автосамосвалами, с уплотнением кулачковыми катками.

Максимальная проектная месячная интенсивность земляных работ: по выемкам — 78 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по плотине — 50 тыс. м<sup>3</sup>, по насыпям — 350 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по намыву плотины — 300 тыс. м<sup>3</sup>.

На Чардаринском узле построен бетонный завод на две бетономешалки по 1200 л, на Арнасайском узле — на две бетономешалки по 425 л. Полигон для производства сборных железобетонных изделий на Чардаринском узле имеет про-

изводительность 10 тыс. м<sup>3</sup> в год, на Арнасайском узле — 3,5 тыс. м<sup>3</sup> в год.

Транспорт бетонной смеси производится автосамосвалами в кузовах и бадьях. Элементы сборного железобетона доставляются к месту установки 20-т трейлерами.

Монтаж сборных элементов и подача бетонной смеси з блоки на Чардаринском узле выполняются в основном двумя башенными кранами; бетонные работы по креплению верхового откоса намывной плотины намечено выполнять также башенным краном.

Укладка бетонной смеси и монтаж сборных элементов Арнасайского водосброса, а также крепление откоса плотины намечено выполнять гусеничными кранами.

Для наблюдения за осадкой намывной плотины, основания и депрессионной кривой в теле плотины в период ее эксплуатации устанавливается контрольно-измерительная аппаратура в 10 створах, т. е. примерно через 500 ж. В каждом створе предусматривается установка глубинных марок, поверхностных марок и пьезометров.

В здании ГЭС предусмотрена следующая аппаратура: временные и постоянные поверхностные марки, щелемеры поверхностные, пьезометрическая сеть для наблюдения за фильтрационным режимом в четырех створах, арматурные и бетонные тензометры в трех створах, грунтовые динамометры для изучения распределения давления в основании, водомерные колодцы и датчики уровней для определения потерь на решетках.

# КАЙРАК-КУМСКАЯ ПЛОТИНА

Кайрак-Кумская гидроэлектростанция «Дружба народов» расположена в среднем течении р. Сыр-Дарьи выше г. Ленин-абада.

Эта ГЭС с большим водохранилищем при ней построена в целях комплексного использования стока р. Сыр-Дарьи; она решает задачи ирригации и энергетики и имеет большое значение для республик Средней Азии.

Водоохранилище полным объемом 4,2 млрд. м<sup>3</sup> и полезной емкостью 2,6 млрд. м<sup>3</sup> позволяет осуществить сезонное регулирование стока, обеспечить среднегодовую выработку электроэнергии 690 млн. *квт* - ч и оросить в Голодной степи 300 тыс. га целинных земель, а в низовьях р. Сыр-Дарьи еще 75 тыс. га. Кроме того, образование большого водохранилища открывает перспективу организации в нем крупного рыбного хозяйства.

Кайрак-Кумская ГЭС закончена строительством и сдана в промышленную эксплуатацию в декабре 1959 г.

В состав гидроузла входят: водосливная ГЭС, сопрягающие сооружения, земляная намывная плотина, открытое распределительное устройство 110 и 220 кв, маслохранилище и здания эксплуатационного хозяйства.

Среднегодовой сток реки в створе водохранилища составляет 16,8 км<sup>3</sup>, в том числе за вегетационный период (с 1/IV— по 1/X) — 11,4 км<sup>3</sup>. Расходы реки в створе плотины: максимально наблюдаемый — 3 440 м<sup>3</sup>/сек и минимально наблюдаемый — 92 м<sup>3</sup>/сек.

Зимний режим характеризуется наличием шуги и заберегов с образованием зажоров в стеснении реки ниже створа гидроузла.

Максимальный паводковый расход реки повторяемостью 1 раз в 10 000 лет составляет 5 600 м<sup>3</sup>/сек, а с учетом трансформации его водохранилищем—5 000 м<sup>3</sup>/сек, повторяемостью 1 раз в 1 000 лет—4 400 м<sup>3</sup>/сек.

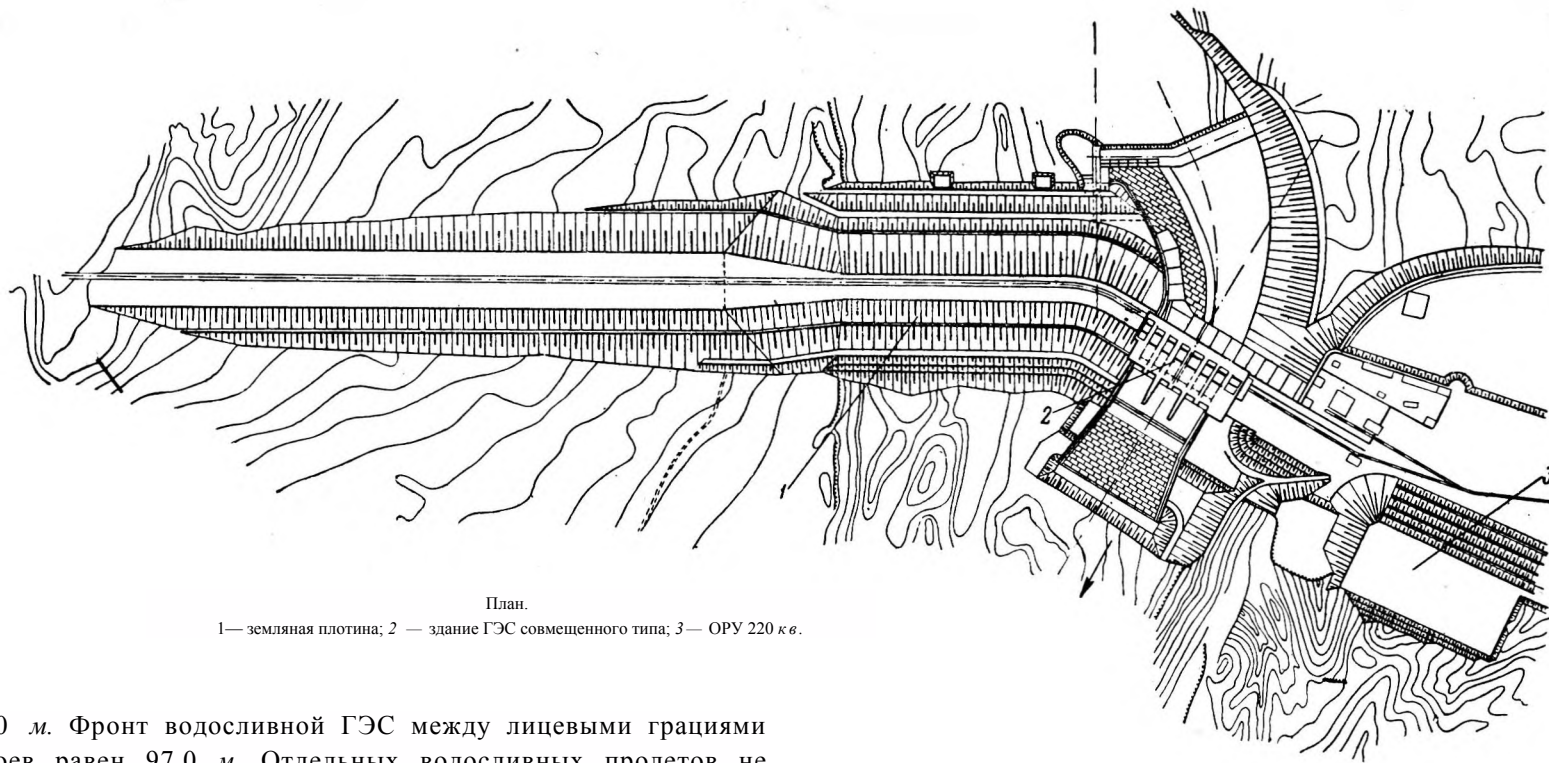
Породы представлены песками, алевролитами и глинами и расположены наклонно, косо пересекая русло реки в пределах сооружений.

Бетонные сооружения расположены на слое материкового цементированного песка и на слое брекчированных глин, залегающих в основании косо по отношению к оси сооружений.

Водосливная плотина — здание ГЭС примыкает к левому берегу подпорными стенами, образующими площадку у входа на территорию станции. Русло реки и правобережная пойма перекрыты намывной песчаной плотиной. В плане ось створа изогнута с целью обеспечения прямолинейного отвода потока в нижнем бьефе.

Через створ гидроузла проходит асфальтированная автодорога. Отдельно от гидроузла находятся дамбы обвалования водохранилища: Чкаловский участок длиной 10,5 км и Махрам-Канибадамский длиной 16,2 км.

Число водосливных пролетов со встроенными в них агрегатами равно шести при расстоянии между осями агрегатов 17,0 м, толщине бычков 5 м и ширине водосливов в свету



План.

1 — земляная плотина; 2 — здание ГЭС совмещенного типа; 3 — ОРУ 220 кВ.

12,0 м. Фронт водосливной ГЭС между лицевыми грациями устоев равен 97,0 м. Отдельных водосливных пролетов не имеется, так как пропуск паводка обеспечивается шестью пролетами водосливной ГЭС и турбинами.

Водосливная ГЭС основана на породах древнечетвертичного возраста, представленных песками и брекчированными глинами, залегающими в основании косо по отношению к оси сооружения. Грунтовые воды, заключенные в водоносных пластах, минерализованы и агрессивны относительно бетона по сульфатной и щелочной агрессивности.

Геологические особенности основания потребовали следующих дополнительных мероприятий: ввиду неоднородности основания (пески и глины) массив сооружения разрезан на две секции сквозным осадочным швом, проходящим по оси среднего бычка (третьего); сооружение возведено на бетонной подготовке толщиной 0,20 м на сульфатостойком цементе;

обеспечен свободный отвод профильтровавшейся минерализованной воды посредством дренажных систем в нижний бьеф, минуя основной бетон и бетонную подготовку.

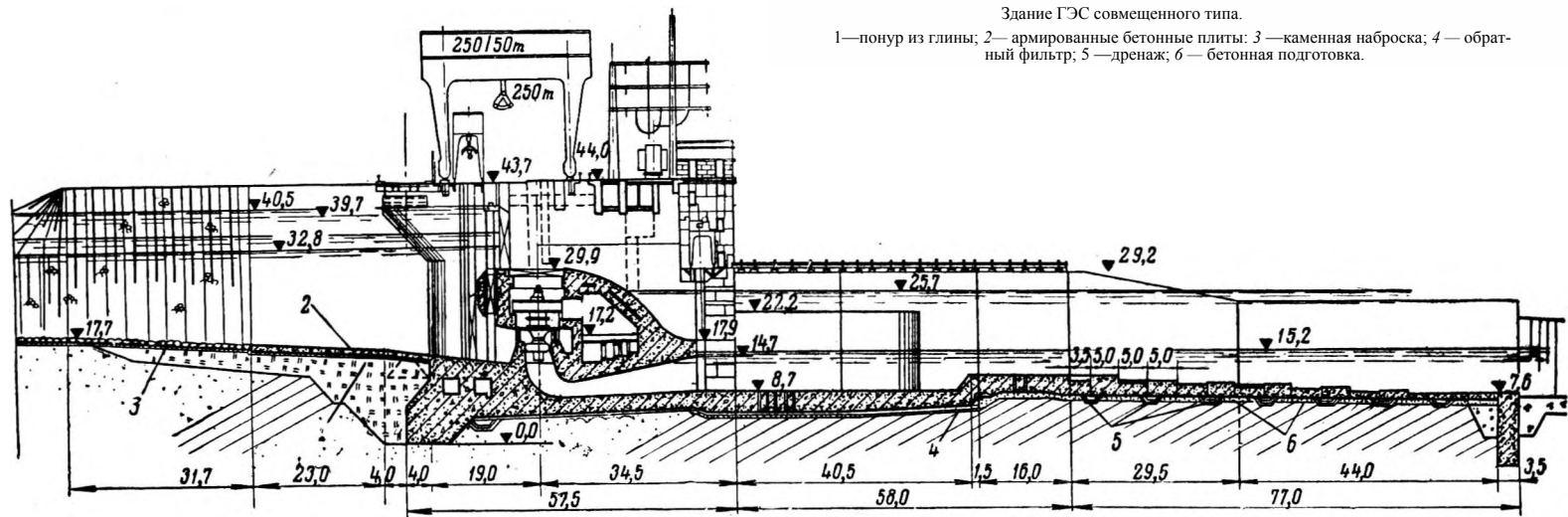
Основное гидросиловое оборудование ГЭС состоит из вертикальных агрегатов с поворотнлопастными турбинами и синхронными гидрогенераторами.

Кайрак-Кумская ГЭС имеет автоматическое управление и телеуправление, осуществляемое с центрального диспетчерского пункта, расположенного в г. Ташкенте.

ГЭС выдает мощность на двух повышенных напряжениях: 220 и 110 кВ в Ташкентскую энергосистему, в г. Ленинабад и потребителям прилегающего района.

На всю ГЭС имеются 2 компл. аварийно-ремонтных заграждений верхнего бьефа, устанавливаемых в пазы решеток,





и 2 компл. ремонтных загораждений отсасывающих труб. Решетка очищается козловым грейферным краном с помощью специального грейферного захвата. Турбинные затворы обслуживаются спаренными гидроподъемниками, питаемыми двумя маслонасосными установками (по одной на три агрегата). Обслуживание всех затворов и загораждений верхнего бьефа осуществляется двумя козловыми кранами грузоподъемностью  $2 \times 125$  т каждый пролетом 22 м. Эти же краны предназначены для монтажа и ремонта основного гидросилового оборудования и силовых трансформаторов. Обслуживание затворов нижнего бьефа осуществляется козловым краном грузоподъемностью  $2 \times 25$  т.

Земляная плотина возведена способом намыва с использованием древнечетвертичных песков надпойменных террас. Для повышения динамической устойчивости этих песков применена каменная пригрузка верхового откоса. Земляная плотина сопрягает правый устой водосливной плотины с повышенными отметками правого берега. Основанием служат древнечетвертичные отложения, представленные песками и брекчированными глинами, прикрытыми незначительным слоем аллювия,

Крепление верхового откоса одновременно удовлетворяет двум требованиям: повышению недостаточной динамической устойчивости намывных в тело плотины песков до значений, соответствующих расчетному сейсмическому ускорению, и прочности крепления против воздействия волны. Исходя из этих требований, крепление верхового откоса руслового участка плотины осуществлено в виде каменной наброски слоем 1,1 м по щебенке слоем 0,3 м и на подготовке из гравийно-песчаного грунта слоем 0,7 м — всего 2,1 м, соответственно для правобережного пойменного участка слой камня 0,70 м, щебенки 0,3 м и гравийно-песчаного грунта 0,5 м — всего пригрузки 1,5 м.

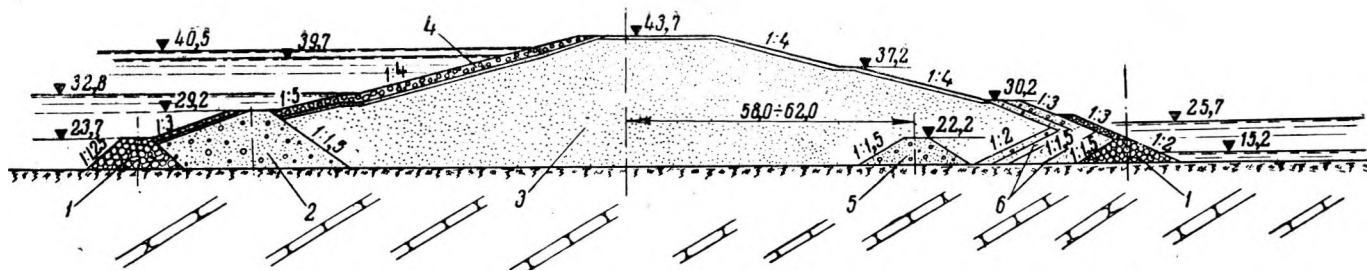
Длина плотины по гребню 1 202 м, из которых русловой участок плотины составляет 603,0 м и береговой правобережный участок 699,0 м.

Защитные сооружения в зоне водохранилища расположены на двух участках: Чкаловском, ближайшем к гидроузлу, с общим протяжением по фронту 11,2 км и Махрам-Канибадамском с общим протяжением по фронту 26 км (имея в виду дамбы, дрены и т. д.).

В комплекс этих сооружений входят: дамбы обвалования.

### Земляная плотина.

1 — каменный банкет; 2 — упорная призма; 3 — мелкозернистый песок; 4 — каменная наброска; 5 — ограждающая призма; 6 — обратный фильтр (40,5 — ФПУ; 39,7 — НПУ; 32,8 — УМО; 25,7 — макс. УНБ; 15,2 — мин. УНБ).



береговые дрены с насосными станциями для откачки воды из них, железнодорожные дрены с самотечным отводом воды, самотечные коллекторы и селесбросы.

Мокрый откос дамб обвалования укреплен естественным гравийно-песчаным грунтом с заложением откоса 1 : 7. Эти дамбы работают несколько лет под полным проектным напором и показали достаточную надежность в эксплуатации.

Строительство Кайрак-Кумской ГЭС было начато в июле 1951 г.

В подготовительный период были возведены подсобно-вспомогательные здания и сооружения и большая часть жилья. В период основных работ с 1953 по 1957 г. были выполнены все основные земляные и бетонные работы, подготовлен к затоплению котлован, перекрыто русло р. Сыр-Дарьи, намыта земляная плотина, методом гребенки достроена водосливная плотина со встроенной в нее гидростанцией, смонтировано основное и вспомогательное оборудование ГЭС и плотины, возведены защитные сооружения в верхнем и нижнем бьефах, заполнено водохранилище и введены во временную эксплуатацию все агрегаты на гидростанции. В заключительный период (1958—1959 гг.) производились окончание основных строительно-монтажных работ, отделка помещений и внешних элементов гидроузла.

Для проведения земляных и бетонных работ по гидроузлу в русле р. Сыр-Дарьи осенью и зимой 1953—1954 гг., когда расход реки составлял  $680 \text{ м}^3/\text{сек}$ , перемычками был отгорожен котлован.

Пропуск строительных расходов в этот период производился через правую часть русла реки с небольшим подпором (0,2—0,6 ж). Первоначальная ширина русла в створе гидроузла составляла 400 м. После возведения перемычек ширина протока в наиболее узкой части равнялась 160 м, в наиболее широкой — 250 м. Расчетные величины поверхностных скоростей вдоль низовой части продольной перемычки  $3,5 \text{ м/сек}$  при максимальном расчетном паводочном расходе  $3\ 600 \text{ м}^3/\text{сек}$ . В действительности наблюдался максимальный расход  $2\ 697 \text{ м}^3/\text{сек}$  при максимальной скорости  $2,81 \text{ м/сек}$  с размывом дна до 2—3 м в наносных отложениях, которые обычно вновь восстанавливались.

Для увеличения устойчивости плотины от действия сейсмических сил верхней и нижней откосы опираются на каменные банкеты.

Верховой банкет расположен в 103 м от оси плотины, а низовой — в 105,5 м.

Перекрытие реки осуществлялось отсыпкой верхового каменного банкета с учетом следующих факторов: возможности расчистки основания плотины путем вымыва наносных русловых отложений; недопущения забивки шугой и льдом пространства между банкетами в случае перекрытия реки в зимнее время; возможности подтопления нижнего бьефа верхового банкета ввиду наличия сужения реки в створе низового банкета.

Постепенным возведением пионерным способом указанных банкетов с обоих берегов русло реки было сужено: в верхнем банкете — до 92 м (проран) и в низовом — до 110 м.

В проране был устроен наплавном мост из шести понтонов с шириной настила 16 м при расстоянии между осями понтонов 14,55 м. Понтоны удерживались якорями и тросами, направленными по течению реки, прикрепленными к несущему тросу, концы которого закреплены на берегах реки.

Перекрытие реки началось 31 марта 1956 г. при расходе  $512 \text{ м}^3/\text{сек}$  и общем перепаде 0,74 м.

Для выравнивания дна в проране верхового банкета был отсыпан каменный тьюфак с понтонного моста самосвалами.

Полное закрытие прорана было начато 6 апреля, продолжалось 9 ч и было закончено к утру 7 апреля. Расход реки был  $630 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Всего сброшено в проран камня для перекрытия и создания профиля  $8\,480 \text{ м}^3$  и бетонных тетраэдров и кубов  $700 \text{ м}^3$  — всего  $100 \text{ м}^3$  на 1 пог. м, что на 20% меньше, чем было намечено проектом при расчетном расходе  $750 \text{ м}^3/\text{свк}$ .

В июне 1956 г. через четыре пролета гребенки водослива прошли паводковые расходы р. Сыр-Дарьи, доходившие до  $2\,400 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а с начала июля, после опускания затворов в 3, 4 и 5-м пролетах началось наполнение водохранилища и к августу уже было накоплено 700 млн.  $\text{м}^3$  воды. Это позволило в декабре 1956 г. ввести в эксплуатацию два агрегата Кайрак-Кумской ГЭС.

В продольную перемычку было забито 3 023 г плоского и коробчатого шпунта, а мокрый откос был укреплен камнем объемом 11,8 тыс.  $\text{м}^3$ . Выемка котлована в объеме 900 тыс.  $\text{м}^3$  была выполнена в течение 1 года четырьмя экскаваторами с отвозкой грунта на расстояние до 2 км автосамосвалами.

Водоотлив в коренных глинах и песках осуществлялся через шурфы насосами типов 4НДВ, 5НДВ и 6НДВ. Дебет грунтовых вод составлял  $150 \text{ л}/\text{сек}$ .

В первую очередь были произведены выемка грунта в пунурной части котлована и бетонирование раздельной стенки.

Основная часть котлована разрабатывалась экскаватором с глубиной забоя 10—11 м, с ездой автосамосвалов понизу. Низовой зуб рисбермы разрабатывался отбойными молотками с уборкой разрыхленного грунта в бадьях кранами на

автотранспорт. В верхнем зубе водослива был забит шпунт на глубину 3,5 м пневмомолотками.

Приготовление бетона производилось на бетонном заводе производительностью до  $1\,500 \text{ м}^3/\text{сутки}$ , оборудованном весовыми дозаторами и четырьмя бетономешалками по 2 400 л. В качестве крупных заполнителей для бетонных смесей использовался гравийно-песчаный грунт, который промывался и сортировался на четыре фракции.

При производстве бетонных работ применялась укладка бетонной смеси самосвалами с мостиков, гусеничными кранами на основе экскаваторов СЭ-3 и «Шкода», портално-стреловыми кранами и бетононасосами типа БН-20.

В блоки бетонирования, расположенные под строительной эстакадой, бетонная смесь подавалась по металлическим виброхоботам длиной до 30 м. Всего на ГЭС уложено 304 тыс.  $\text{м}^3$  бетона.

Горизонтальный транспорт бетона осуществлялся автотранспортом на самосвалах МАЗ-205 и узкоколейным железнодорожным транспортом по строительной эстакаде.

Армирование частей сооружения осуществлялось плоскими армофермами и пространственными армокаркасами; применялись также армоопалубочные блоки весом до 7 т, монтаж которых производился портално-стреловыми кранами с эстакады. За время строительства смонтировано 14 000 т армоконструкций.

В основном применялись деревянная щитовая опалубка и железобетонные плиты-оболочки, которых было использовано около  $55\,000 \text{ м}^2$ .

Намыв тела плотины в объеме 2 088 тыс.  $\text{м}^3$  и максимальной высотой 31,5 м произведен был за 1 200 дней, что составило среднюю суточную производительность  $1\,740 \text{ м}^3$ .

При строительстве гидроузла были выполнены следующие объемы основных работ: выемка 1 300 тыс.  $\text{м}^3$ , насыпь — 2 600 тыс.  $\text{м}^3$  (в том числе гидромеханизацией — 2 080 тыс.  $\text{м}^3$ ), каменная наброска и дренажи — 102 тыс.  $\text{м}^3$ , бетон и железобетон — 308 тыс.  $\text{м}^3$ .

## НУРЕКСКАЯ ПЛОТИНА

Нурекская ГЭС установленной мощностью 2 700 тыс. *квт* строится в Таджикской ССР на р. Вахш. При этом создается водохранилище полным объемом 10,5 млрд.  $m^3$  и полезной емкостью 4,5 млрд.  $m^3$ , которое будет регулировать сток рр. Вахш и Аму-Дарья с приспособлением их режима к требованиям энергетики, орошения и водного транспорта и повысит водность р. Аму-Дарья в створах существующих бесплотинных водозаборов в ирригационные магистральные каналы.

На базе исключительно дешевой электроэнергии Нурекской ГЭС намечается широкое применение машинного орошения в республиках Средней Азии.

Для орошения около 1 млн. *га* Каршинской и Кзыл-Кумских степей в Узбекской ССР путем подачи воды из р. Аму-Дарья насосными станциями потребуется около 4 000 млн. *квт* - ч электроэнергии в год.

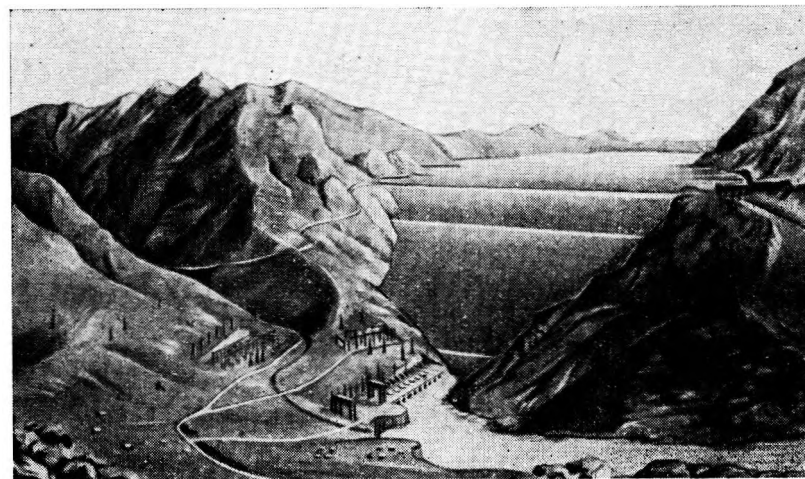
В значительной степени облегчается задача расширения площадей поливного земледелия в южной части Таджикистана за счет машинного орошения.

Общая площадь машинного орошения в Таджикской ССР в перспективе составит 400 тыс. *га*. Для его осуществления потребуется соорудить насосные станции с потреблением 4 800 млн. *квт* - ч электроэнергии в год.

В состав сооружений гидроузла входят: плотина из каменной наброски с ядром из суглинка, строительные туннели, открытый водосброс на левом берегу, здание ГЭС с водоприемником и турбинными водоводами, ОРУ 500 и 220 *кв*.

Режим реки в створе гидроузла характеризуется следующими данными: среднемноголетний сток реки — 20,5  $км^3$  ( в том числе в межень — 3,7  $км^3$ ), максимальный наблюдаемый расход — 3 730  $m^3/сек$ , минимальный наблюдаемый — 120  $m^3/сек$ , максимальный паводковый расход повторяемостью 1 раз в 10000 лет — 5400  $m^3/сек$  и 1 раз в 1 000 лет — 4 220  $m^3/сек$ , твердый сток р. Вахш — 81,5 млн. *т/год*, максимальная наблюдаемая мутность — 39,9  $кг/м^3$ , наибольшая среднегодовая — 6,2  $кг/м^3$ .

Район створа гидроузла Нурекской ГЭС представляет собой ущелье, близкое к трапециевидной форме, почти сим-



Нурекская плотина.



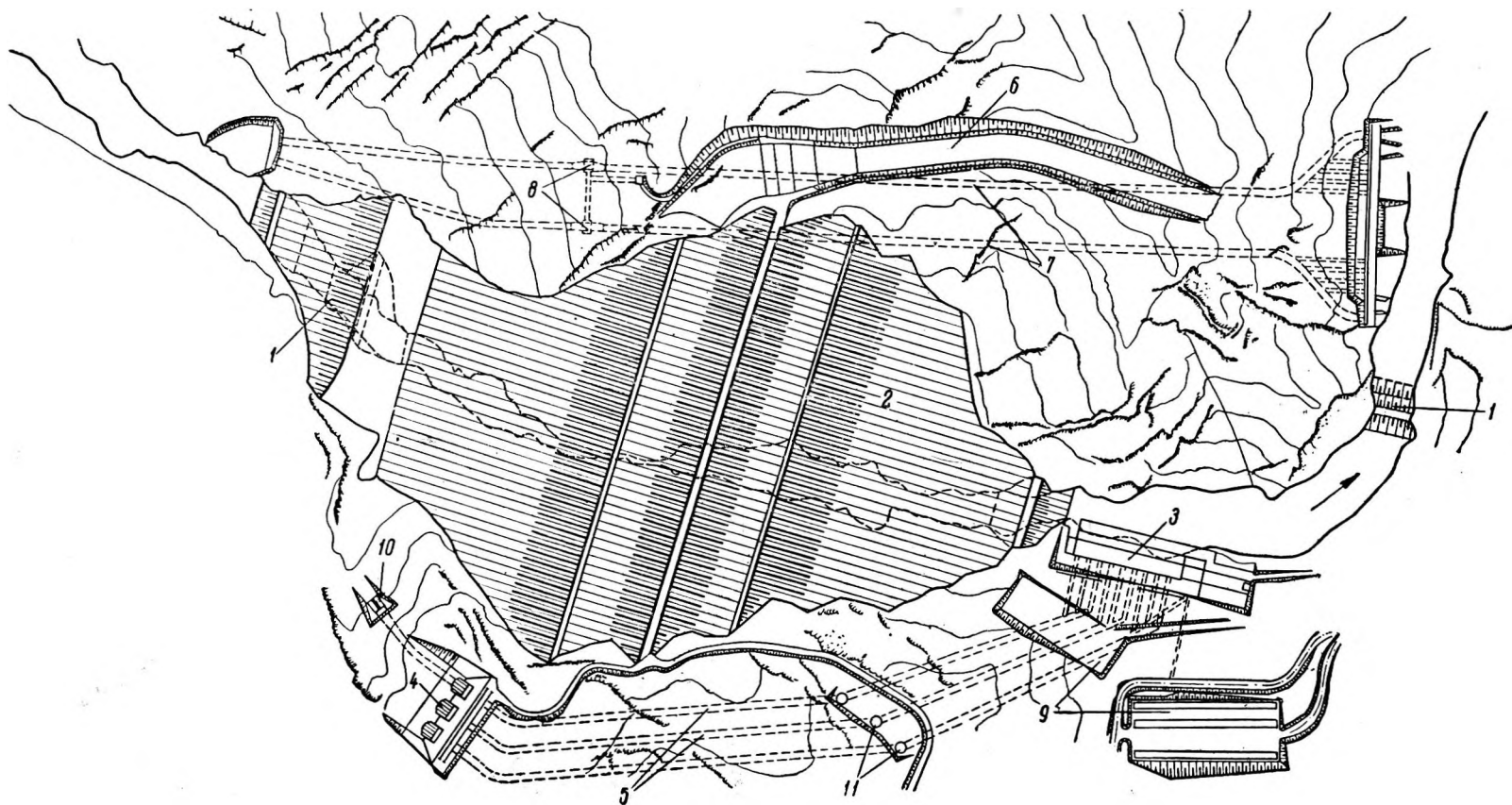
Метричное с крутыми, местами обрывистыми бортами. В дно ущелья врезано узкое и глубокое русло р. Вахш. Дно и борта ущелья сложены слоистой толщей нижнемеловых песчаников и алевролитов, залегающих моноклинально с углом падения 30—35° в сторону верхнего бьефа.

Песчаники и алевролиты состоят из частиц кварца и полевого шпата, прочно сцементированных карбонатами и квар-

цем. Объемный вес их колеблется в пределах 2,5—2,7 г/м<sup>3</sup>, а временное сопротивление на сжатие — 600—2 000 кг/см<sup>2</sup>.

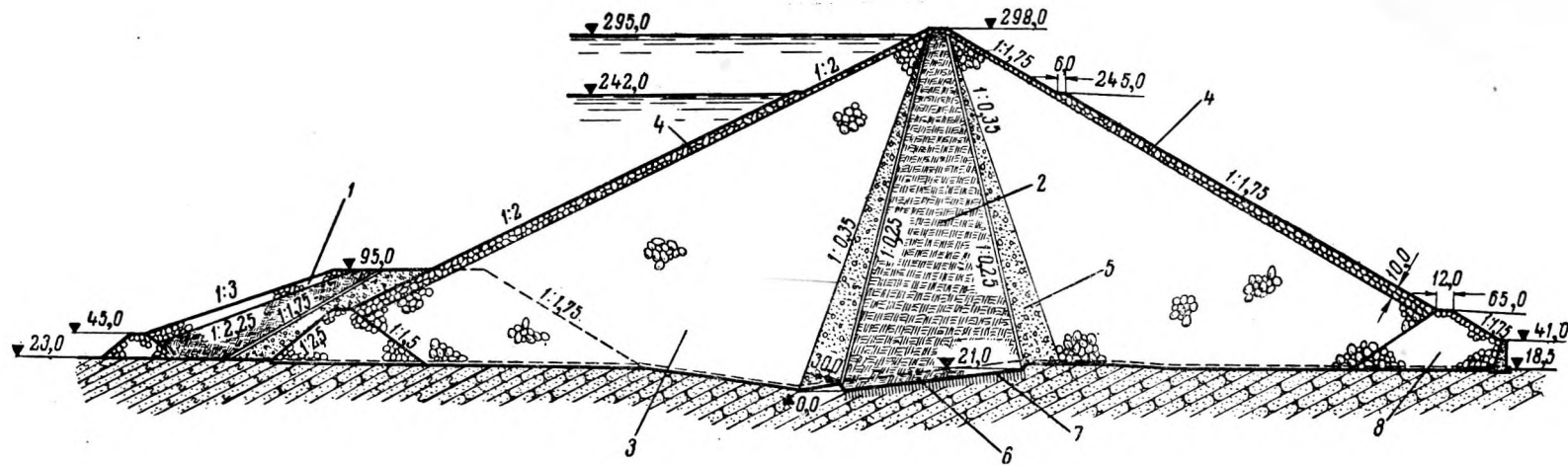
Недостатком алевролитов является быстрая выветриваемость вследствие соприкосания с воздухом при одновременной потере влажности. Мощность выветренной зоны не превышает 5—10 м.

Коэффициент фильтрации пород колеблется в пределах



План.

1— строительные перемычки; 2 — каменнонабросная плотина; 3 — здание ГЭС; 4 — водоприемник ГЭС; 5 — турбинные водоводы; 6 — водоброс; 7 — строительные туннели; 8 — помещение управления аварийно-ремонтными затворами; 9 — ОРУ 500 и 220 кВ; 10 — промежуточный водоприемник ГЭС; 11 — уравнильные шахты.



Каменнобетонная плотина. Поперечный разрез.

1 — верховая строительная перемычка; 2 — суглинок; 3 — каменная наброска; 4 — мощение камнем; 5 — обратный фильтр; 6 — площадная цементация; 7 — шприц-бетон; 8 — дренажная призма (295,0 — НГГУ; 242,0 — УМО).

1,0—0,2 м/сутки для верхней зоны мощностью 70 м и падает до 0,01 м/сутки для нижележащих зон.

Наличие резкого поворота реки влево предопределило расположение строительных туннелей и водосброса на левом берегу, а здания ГЭС — на правом.

Плотина состоит из непроницаемой части — ядра, переходных зон, фильтров и боковых упорных призм из местных материалов. Плотина имеет максимальную высоту 300 м и длину по гребню 730 м.

Основное тело плотины — боковые упорные призмы — возводится из каменной наброски. Ядро плотины принято из суглинка Лонгарского месторождения.

Сопряжение ядра плотины с каменной наброской предусматривается с помощью фильтров и переходных зон. Для фильтра используется карьерный галечник с отсевом фракций крупнее 20 мм. Переходная зона выполняется из неотсортированного гравия.

Скальное основание в пределах подошвы ядра цементруется на глубину до 8 м с целью предотвращения опасной трещинной фильтрации на контакте с ядром.

Для предотвращения контактной фильтрации на поверхности основания в пределах ядра насекаются зубья. Поверхность скалы после цементации и создания зубчатой поверхности покрывается шприц-бетоном толщиной 10 см.

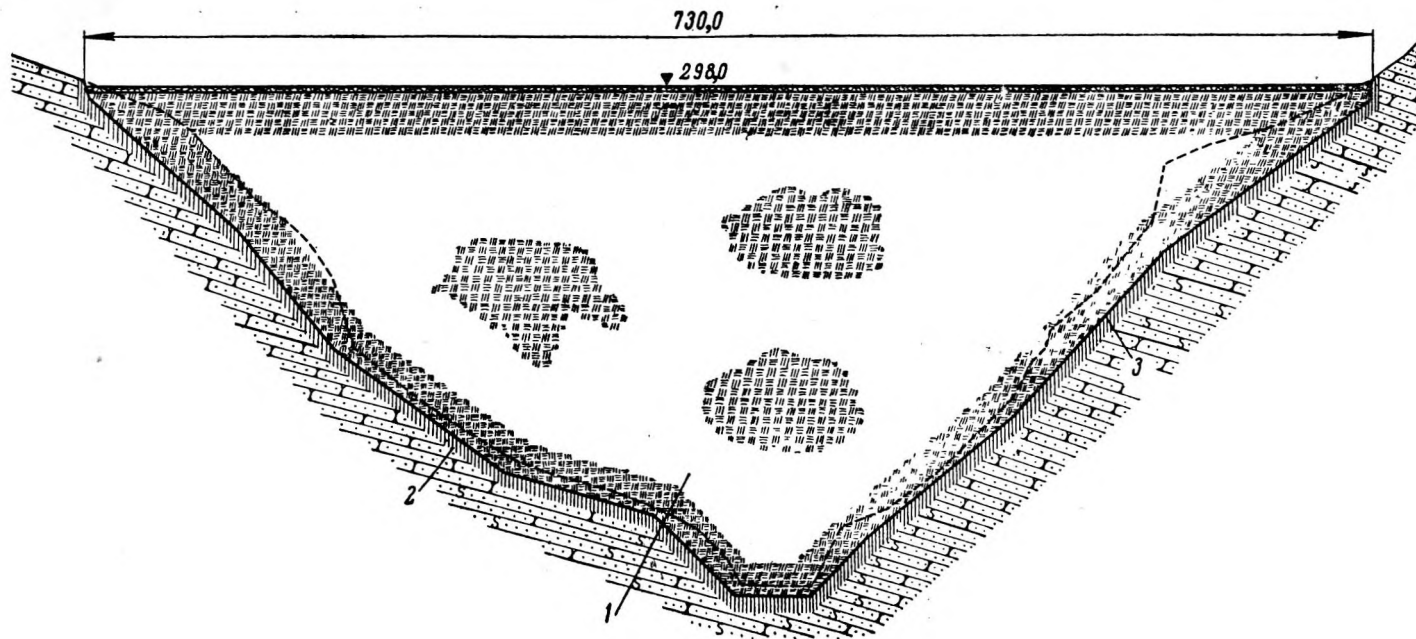
Верховой и низовой откосы плотины покрываются пригрузкой из крупного рваного камня. Толщина пригрузки 10 м внизу и 3 м поверху.

Два строительных туннеля пропускают 3 250 м<sup>3</sup>/сек повторяемостью 1 раз в 20 лет. Сечение туннелей прямоугольное со сводом коробового очертания. Ширина туннелей 11,0 м, высота 12,0 м. Длина туннелей 1 700 м.

Рабочие затворы, регулирующие наполнение водохранилища, приняты конусными и расположены в конце туннелей. Обделка туннелей принята из шприц-бетона толщиной 20 см.

Эксплуатационный водосброс пропускает расход 4 000 м<sup>3</sup>/сек он принят открытого типа со сбросом воды в нижний бьеф отводящим каналом, проходящим в выемке.

Здание ГЭС открытого типа, из условия наименьших объемов работ по скальной выемке, максимально придвинуто



Каменнонабросная плотина. Продольный разрез.

1 — суглинок; 2 — площадная цементация; 3 — шприц-бетон.

к руслу реки. В нем установлено девять вертикальных агрегатов.

В торце здания ГЭС располагается блок холостого водовыпуска, рассчитанного на расход  $300 \text{ м}^3/\text{сек}$  для подачи воды в нижний бьеф при аварийной остановке ГЭС.

Водоприемник ГЭС принят глубинным, берегового типа. Высотное положение водоприемника определилось глубиной сработки водохранилища.

Входные отверстия оборудованы полуцилиндрическими решетками. Очистка их возможна лишь при сработке водохранилища.

Для обеспечения пуска первых трех агрегатов до полного окончания строительства плотины предусматривается промежуточный водоприемник, забирающий воду на  $67 \text{ м}$  ниже отм. ГМО.

Три нитки турбинных туннельных водоводов диаметром  $10 \text{ м}$  каждая облицовываются выравнивающей бетонной обделкой толщиной  $40 \text{ см}$ . Длина каждого водовода — около  $1300 \text{ м}$ .

На подходе к зданию ГЭС в местах приближения к дневной поверхности ближе чем на  $100 \text{ м}$  в водоводах предусматривается металлическая противодиффузионная облицовка.

По трассе турбинных водоводов предусматриваются уравнильные шахты диаметром  $18 \text{ м}$  каждая.

Шахты облицовываются бетоном толщиной  $40 \text{ см}$  с железоторкретным покрытием.

Общие сроки строительства гидроузла  $5,5$  лет, работы по возведению плотины будут вестись в течение  $3$  лет  $8$  мес.

При этом для возможности пуска первых трех агрегатов в четвертом году строительства возведение плотины преду-



сматривается в две очереди. Объем первой очереди составляет 19 770 тыс. м<sup>3</sup>, второй—23 930 тыс.м<sup>3</sup>.

Наполнение водохранилища начинается в середине четвертого года строительства.

Первый этап наполнения соответствует поднятию горизонта, необходимого для пуска первой очереди ГЭС, второй этап наполнения — заполнению водохранилища до НПУ.

До момента начала наполнения водохранилища строительные туннели работают без регулирования. Затем они будут закрыты аварийно-ремонтными затворами, а регулирование расходов воды, проходящих через туннели, будет производиться конусными затворами диаметром по 4,5 м, установленными группами по четыре на каждом туннеле на отводах от них.

После пуска всех агрегатов излишние расходы воды будут сбрасываться через эксплуатационный водосброс, а строительные туннели будут забиты бетонными пробками.

Для возведения плотины используются местные карьеры строительных материалов.

Подача строительных материалов из карьеров в плотину производится 40-г полуприцепами с тягачами МА3-525.

Средняя дальность возки из карьеров в плотину составляет: для суглинка — 4,5 км, для галечника — 5,0 км, для скальной породы — 2,0 км.

Отсыпка каменной наброски плотины производится ярусами высотой 20—60 м.

Уплотнение наброски предусматривается гидромониторами с расходом воды 4 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> наброски с давлением на сопло гидромонитора 4 ат.

Возведение ядра фильтров и переходных зон производится послойно, ядро — слоями 0,3 м с уплотнением 30-г кулачковыми катками. Переходные зоны отсыпаются слоями по 1 м с уплотнением виброплитами.

Укладка материалов фильтров производится грейферами.

Для создания проектного откоса переходных зон 1 : 0,35, последние пригружаются с верховой и низовой сторон галечником.

Для образования проектного верхового и низового откосов плотины незначительный объем скальной породы отсыпается слоями по 10 м, образуя с верховой стороны зубчатый откос с общим заложением 1 : 2, с низовой — 1 : 1,75.

Укладка скальной породы при формировании верхового и низового откосов производится со съездов, отсыпаемых в пределах проектного контура плотины пионерным способом.

Материалы для отсыпки ядра, переходных зон и фильтров подаются по въездам, устраиваемым на низовых откосах плотины первой и второй очередей.

Скальная порода подается на отметки верха отсыпаемых ярусов по дорогам, протрассированным от карьеров по склонам ущелья и откосам плотины.

После возведения первой очереди плотины работы по отсыпке ядра и переходных зон прекращаются до момента, когда скальная наброска второй очереди (с нижнего бьефа) также будет доведена до той же отметки.

Выше отметки первой очереди все зоны плотины возводятся равномерно.

Максимальная месячная интенсивность работ при укладке плотины намечена 1 600 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе: каменная наброска — 1 000 тыс. м<sup>3</sup>, переходные зоны — 220 тыс. м<sup>3</sup>, ядро—350 тыс. м<sup>3</sup>, фильтры — 30 тыс. м<sup>3</sup>.

Для проведения наблюдений за состоянием плотины в период строительства и эксплуатации (за осадками тела плотины, смещением гребня и низового откоса, фильтрацией в теле плотины и бортах каньона, поровым давлением в ядре) плотина оборудуется контрольно-измерительной аппаратурой — поверхностными и глубинными марками, створными знаками и марками, пьезометрами и пьезодинамометрами.

При строительстве гидроузла необходимо будет выполнить следующие объемы основных работ: выемка мягкого грунта — 900 тыс. м<sup>3</sup>, открытая скальная выемка — 6 600 тыс. м<sup>3</sup>, подземная скальная выемка — 1 050 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь суглинка — 7 040 тыс. м<sup>3</sup>, каменная наброска — 33 760 тыс. м<sup>3</sup>, укладка галечников и фильтров — 3 720 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 420 тыс. м<sup>3</sup>.



# КАПЧАГАЙСКАЯ ПЛОТИНА

Капчагайская ГЭС запроектирована в Казахской ССР на р. Или, севернее г. Алма-Аты.

Средняя годовая температура воздуха в районе створа колеблется в пределах от 8,5 до 8,9° С. Число дней со среднесуточной температурой воздуха выше 0° С составляет около 250 дней. Годовая сумма осадков 245 мм, наименьшее количество осадков выпадает зимой и летом, наибольшее — весной.

Сейсмичность района Капчагайской ГЭС оценивается в VIII баллов.

В состав гидроузла входят следующие основные сооружения: русловая земляная плотина с намывным ядром и насыпная плотина в сухом логу, водоприемник, подводящие напорные туннели и здание ГЭС, водосбросы (строительный и эксплуатационный) и подводящий канал.

В створе гидроузла участок реки имеет у левого берега высокую скальную гряду длиной около 1 км, расположенную вдоль реки и отделенную от основного берега сухим логом.

Здание ГЭС располагается на левом берегу в прирусловой части скального массива. Русло реки и левобережный сухой лог перекрываются глухими земляными плотинами.

Земляная плотина, перекрывающая сухой лог, располагается ниже оси русловой плотины на 500 м и примыкает правым плечом к нижней оконечности скального массива. Такое расположение земляных плотин включает скальный массив в напорный фронт в пределах сухого лога и создает

напорный бассейн, из которого вода подводится по четырем напорным туннелям диаметром 8 м и длиной 90 м к гидростанции.

В здании ГЭС устанавливаются агрегаты с турбинами с диаметром рабочего колеса 6,0 м.

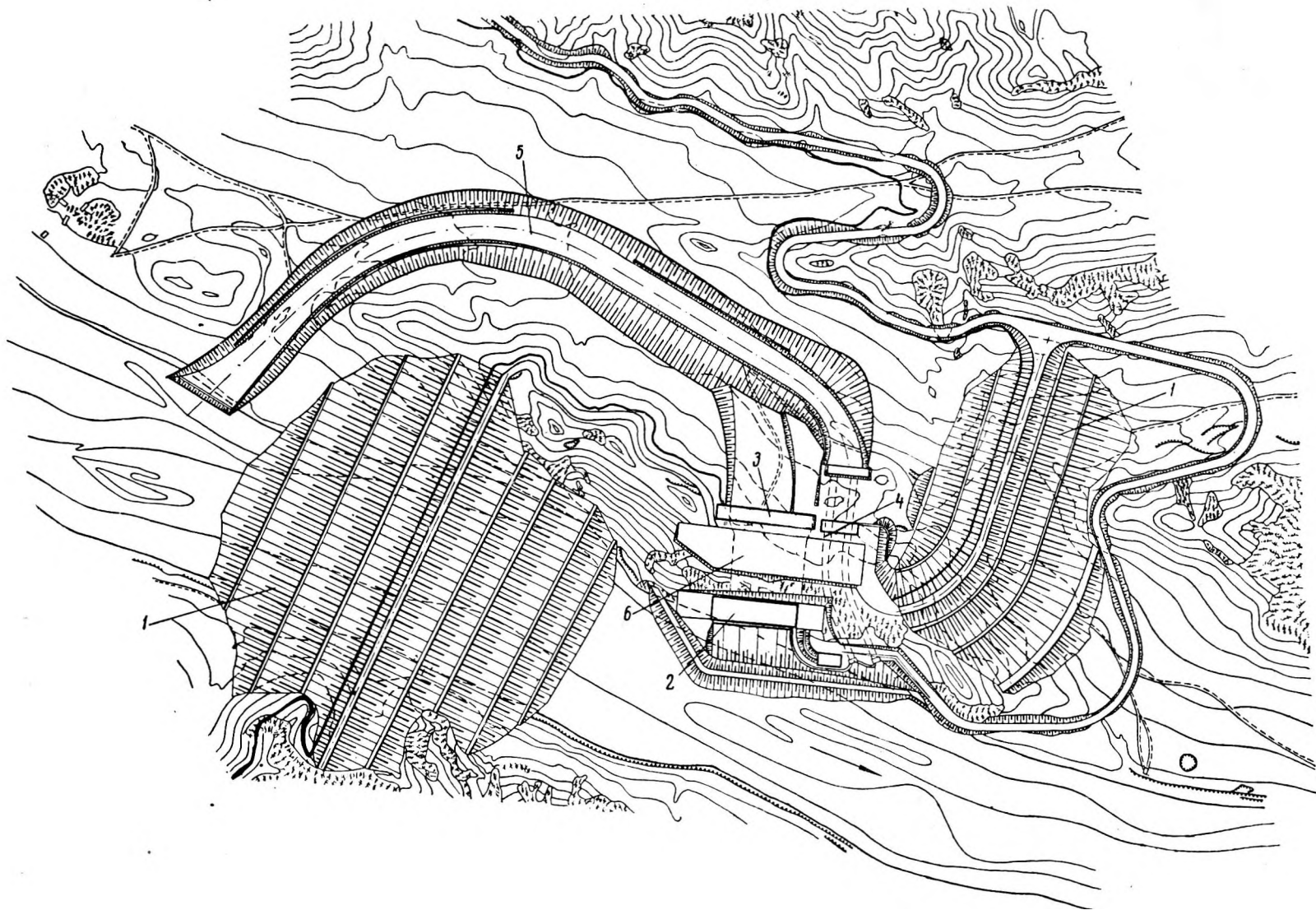
Слева от здания ГЭС располагаются два туннеля диаметром 8 м и протяженностью 220 м каждый для пропуска строительных расходов реки. Концевая часть этих туннелей используется для пропуска паводковых эксплуатационных расходов, для чего головная часть эксплуатационного водосброса соединена наклонными туннелями с концевой частью строительных туннелей.

К строительным туннелям и зданию ГЭС (в начальный период) вода подводится подводящим каналом длиной около 1 км и шириной 30 м.

В основании русловой плотины залегают четвертичные отложения мощностью от 5 до 20 м из разнозернистых песков, песчано-щебеночных, гравийно-галечных и дресвяных отложений, залегающих непосредственно на коренных породах (кварцевых порфирах, гранит-порфирах и порфиритах).

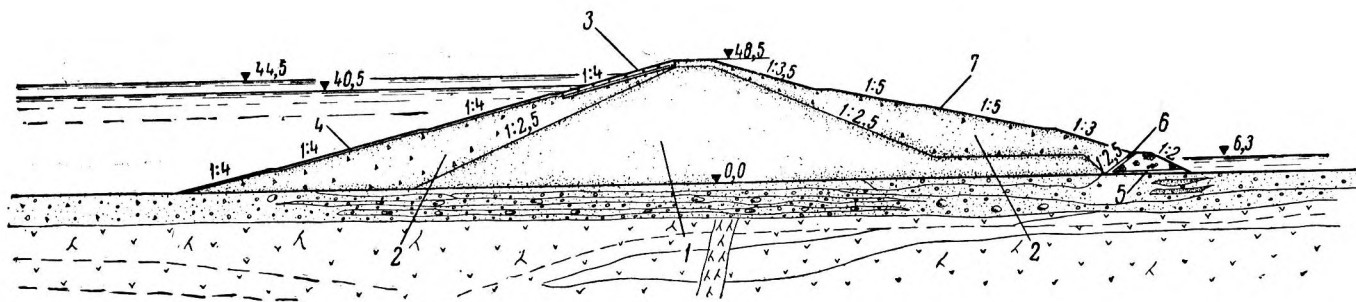
Русловая плотина запроектирована из местных материалов с намывным ядром из мелкозернистых песков. Боковые призмы отсыпаются из крупнозернистых песков ближайших карьеров и грунтов полезных выемок.

Русловая -земляная плотина при длине по гребню 460 м и наибольшей высоте 49 м имеет общий объем тела



План.

1—земляные плотины; 2 здание ГЭС; 3— водоприемник ГЭС; 4— водосброс; 5 — подводящий канал; 6 — ОРУ.



Земляная плотина.

- 1 — мелкозернистый песок;
- 2 — разнородные пески;
- 3 — железобетонные плиты 0,35 м на слое щебня; 4 — отсыпка горной массы;
- 5 — дренажная призма; 6 — обратный фильтр; 7 — одерновка (44,5—НПУ; 40,5 — УМО; 6,3—макс. УНБ).

3 410 тыс. м<sup>3</sup>, из которых объем намывного ядра составляет 60%. Верхние откосы плотин в пределах колебания горизонта укрепляются бетонными плитами толщиной 0,35 м на слое щебня 0,15 м.

Отвод фильтрационных вод и снижение кривой депрессии в теле плотины осуществляются каменным банкетом высотой 9 ж.

Порядок производства работ по возведению плотины наметен следующий. Грунты для намыва ядра плотины добываются гидромониторами из карьера, находящегося на правом берегу реки выше створа на расстоянии 1 км. Полезная толща месторождения состоит в основном из довольно однородных мелкозернистых песков средней крупностью 0,42 мм. После отмыва наиболее мелких частиц (10% объема) эти грунты применяются для намыва. Разработка месторождения производится гидромониторами с уклоном дна карьера 4% для обеспечения самотечного транспортирования пульпы в зумпфы землесосов, откуда она перекачивается на карты тела плотины.

Магистральные трубопроводы укладываются сразу на незатопляемых отметках. Так как намыв плотины должен опережать подъем уровня водохранилища, намыв ведется весьма напряженными темпами. Так, в начальный период (апрель — июнь второго года строительства) необходимо уложить 750 тыс. м<sup>3</sup> грунта.

Боковые призмы плотины возводятся методом отсыпки из крупнозернистого песка и служат обвалованием для намыва

ядра. Отсыпка грунтов в боковые призмы производится с одновременным уплотнением их виброкатками и увлажнением поливкой водой автоцистернами.

Работы по креплению верхнего откоса плотины производятся насухо параллельно возведению тела плотины с небольшим отставанием и только небольшая часть отсыпки горной массы на откос выполняется под воду.

Подача щебня и горной массы производится автосамосвалами, разравнивание — бульдозером, окончательная планировка щебня — автогрейдером.

Укладка дренажа в теле плотины выполняется до ее намыва.

Русло реки перекрывается банкетом с рязевого моста, имеющего 10 пролетов по 9 м каждый с оставлением прорана шириной 96 м. Отсыпка камня производится автосамосвалами через отверстия в середине моста. Во избежание разноса камня между рядами устанавливаются металлические решетки, устроенные из двутавровых балок.

При строительстве Капчагайского гидроузла предстоит выполнить следующие объемы основных работ: выемка скального грунта: открытая—637 тыс. м<sup>3</sup>, скальная в туннелях— 64 тыс. м<sup>3</sup>, выемка мягкого грунта — 1010 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь мягкого грунта — 4 864 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь горной массы— 501 тыс. м<sup>3</sup>, каменная наброска — 54 тыс. м<sup>3</sup>, дренажи и фильтры — 37 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 84 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции, механизмы и гидросиловое оборудование — 12,176 тыс. т, цементация — 8,2 тыс. пог. м.

# ЧАРВАКСКАЯ ПЛОТИНА

Проектируемый Чарвакский гидроузел расположен в горном ущелье несколько ниже слияния рр. Чаткал и Пскем, образующих р. Чирчик.

Создаваемый высокой плотинной подпор 130 м образует водохранилище емкостью 1,42 км<sup>3</sup>. С помощью этого водохранилища при полезном объеме 1,2 км<sup>3</sup> и призме сработки 53 м осуществляется сезонное регулирование стока р. Чирчик в целях ирригации, энергетики, борьбы с селевыми паводками, создаются условия для расширения курортно-санаторной зоны и улучшения водоснабжения населенных пунктов.

Чарвакское водохранилище позволит оросить дополнительно 158 тыс. га новых земель, а также улучшит условия орошения существующей площади 335 тыс. га.

Установленная мощность Чарвакской гидроэлектростанции 480 тыс. квт, годовая выработка электроэнергии 1,7 млрд. квт-ч. Кроме того, на действующем Чирчик-Бозсуйском каскаде ГЭС будет получено дополнительно (без капиталовложений) 108 тыс. квт мощности и 230 млн. квт-ч в год преимущественно зимней электроэнергии.

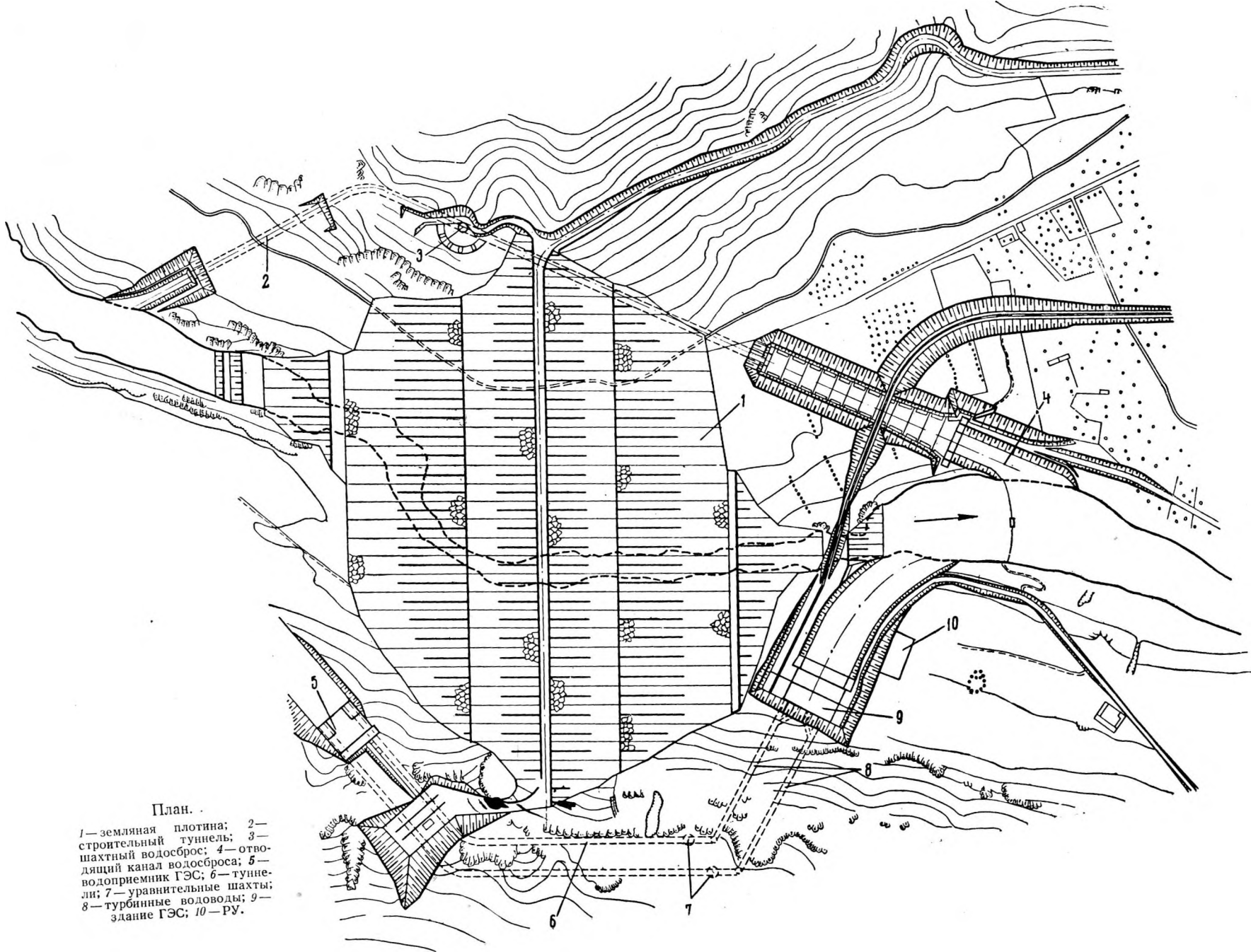
В состав основных сооружений Чарвакского гидроузла входят: глухая плотина из каменной наброски с пластичным ядром, водосбросные сооружения, расположенные на левом берегу ущелья, в составе строительного туннеля на расход 1 200 м<sup>3</sup>/сек диаметром 10 м и длиной 768 м, оборудованного двумя ярусами водозабора для обеспечения работы ГЭС в период временной эксплуатации, эксплуатационный водо-

сброс на расход 1 250 м<sup>3</sup>/сек шахтного типа с использованием части строительного туннеля как отводящей линии и отводящего канала длиной 250 м, сопрягающего водосброс с рекой, энергетические сооружения — глубинный водоприемник шахтного типа с напором 70 м с двумя дроссельными затворами диаметром 7,2 м на расчетный расход ГЭС, равный 444 м<sup>3</sup>/сек, две нитки подводящих туннелей диаметром по 7,2 м каждый общей длиной 1 650 м с двумя уравнительными резервуарами диаметром по 14 м и здание станции открытого типа на четыре агрегата с отводящим каналом длиной 200 м, ирригационный водовыпуск, использующий строительный водосброс второго яруса.

Река Чирчик в створе Чарвакского гидроузла имеет следующие гидрологические характеристики: среднемноголетний расход — 208 м<sup>3</sup>/сек, минимальный наблюдаемый расход — 23 м<sup>3</sup>/сек, максимальный наблюдаемый расход—1470 м<sup>3</sup>/сек, расчетные максимальные расходы повторяемостью 1 раз в 1000 лет—1 658 м<sup>3</sup>/сек и повторяемостью 1 раз в 10 000 лет — 1 400 м<sup>3</sup>/сек.

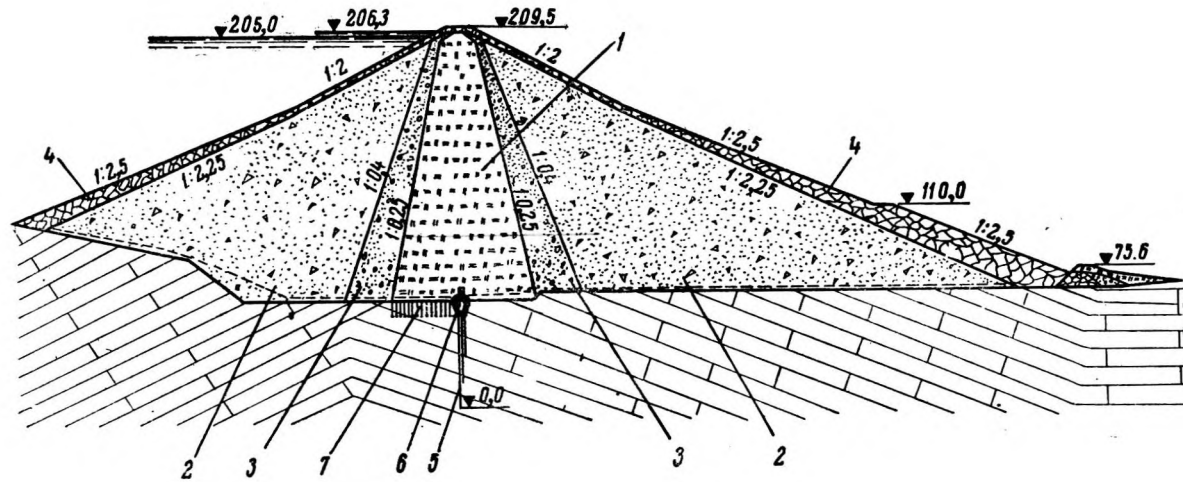
Гидроузел располагается в Чарвакском ущелье, имеющем длину 3 км. Ущелье в районе створа плотины имеет корытообразную форму с относительно круто падающими бортами и плоским дном, в которое врезан глубокий каньон современного русла реки. Оба скальных обрывистых берега каньона поднимаются на 30—40 м над уровнем воды при общей глубине ущелья порядка 200 м.





План.

- 1—земляная плотина; 2—
- строительный туннель; 3—
- шахтный водоброс; 4—отво-
- дящий канал водоброса; 5—
- водоприемник ГЭС; 6—тунне-
- ли; 7—уровнительные шахты;
- 8—турбинные водоводы; 9—
- здание ГЭС; 10—РУ.



Земляная плотина

1—суглинок; 2—камень несортированный; 3—гравелисто-галечный грунт; 4—крупный камень; 5—скважина глубокой цементации; 6—цементационная галерея; 7—площадная цементация (206,3—ФПУ; 205,0—НПУ).

Оба борта ущелья и каньон реки, где размещаются сооружения гидроузла, состоят из известняков палеозойского периода, разделяющихся на две свиты, из которых верхняя представлена слоистыми, а нижняя—массивными известняками. Они собраны в крупную синклинальную складку. Известняки имеют толщину отдельных слоев 10—40 см с прослоями 1—2 мм, сложенными глинистым материалом. Как показали опыты, заполнитель трещин напластования устойчив против вымыва при напорах, значительно превосходящих проектный.

Известняки разбиты системой тектонических трещин. За пределами зоны выветривания (10—25 м) трещинная пустотность составляет от 1,5 до 3%. Слабая и неравномерная трещиноватость, малые размеры трещин, а также заполнение их водоупорным материалом объясняют низкую водопроницаемость скального массива. Слоистые известняки имеют высокую прочность в куске при величине разрушающей нагрузки 1 200—2 300 кГ/см<sup>2</sup>.

Мощность аллювиальных отложений в русле реки не превышает 10 м.

Район сооружений гидроузла сейсмический. Произведенными инструментальными сейсмическими исследованиями и микросейсмическим районированием балльность района установлена в VII баллов.

Строительные материалы, найденные в районе строительства, разведаны в объемах, полностью покрывающих потребности сооружения гидроузла. При этом особый интерес представляют найденные естественные смеси мелкоземов с песчано-гравийным материалом для водонепроницаемых зон (ядра, экрана) плотины смешанного типа, которые могут быть использованы в естественном залегании или с частичным обогащением суглинком.

В результате произведенного анализа преимуществ и недостатков различных типов плотин наиболее целесообразными для данных условий оказались бетонная гравитационная и каменнонабросная плотины.

Сравнение этих вариантов показало, что стоимость гидроузла с гой и другой плотинами была практически одинаковой (с разницей 0,5% в пользу гидроузла с плотиной из местных материалов). Учитывая, что плотина из местных материалов даст экономию 800 тыс. т цемента и значительного количества лесоматериала, был принят вариант гидроузла с плотиной из местных материалов.

Тело плотины состоит из водонепроницаемого суглинистого ядра, боковых каменных призм, составляющих основное тело плотины, и переходных зон. В основании плотины предусмотрен сьем аллювиальных отложений и выветрившейся скалы, площадная цементация на половину ширины ядра и — как элемент противодиффузионной защиты — цементационная завеса на глубину до 60—80 м. Общий объем тела плотины составляет 16 млн. м<sup>3</sup> насыпи.

Плотина имеет максимальную строительную высоту 154 м и длину по гребню 720 м.

Принятый тип плотины полностью обеспечен всеми необходимыми строительными материалами, добываемыми в непосредственной близости от площадки.

Ядро плотины было запроектировано в двух вариантах в соответствии с имеющимися в наличии карьерными материалами: с ядром широкого профиля из грунтов скелетного состава, обогащенных 20%-ной добавкой суглинка, и с ядром обжатого профиля с заложением откосов 0,25 из чистого суглинка.

При рассмотрении проекта плотины был принят вариант плотины с ядром из суглинка. При этом было решено, что вопрос о типе и материале ядра плотины будет окончательно решен при дальнейшем проектировании плотины на основе производства специальных опытно-исследовательских работ. Последующие поиски местных материалов облегчили поставленную задачу, так как обнаруженные запасы естественных смесей грунта вблизи створа могут обеспечить плотину надежным материалом для ядра вообще без какого-либо обогащения суглинком. При этом не исключается возможность принятия составного ядра из указанных естественных смесей

и чистого суглинка, если данная конструкция ядра будет отвечать условиям надежности, экономичности и достаточной простоты производства работ.

Для боковых призм плотины единственным материалом, достаточным по запасам и расположенным в непосредственной близости к площадке строительства, явилась каменная наброска из взорванной скальной породы ущелья.

Для удешевления стоимости плотины предусмотрены максимальное использование полезных выемок, а также отказ от переработки карьерного материала в виде облагораживания и грохочения.

В боковые призмы будет отсыпаться весь карьерный каменный материал (массовая порода); произведенные опытные взрывы в известняках показали очень малый выход мелочи в нем и тем самым достаточную надежность при укладке. Однако это обстоятельство, т. е. отсыпка в тело плотины массовой породы, потребовало устройства более пологих откосов боковых призм с дополнительным усилением их мощности упорными призмами, выполняемыми из крупноблочного камня. Упорные призмы вместе с предусмотренным устройством из того же камня пригрузки откосов плотины одновременно удовлетворяли требованиям антисейсмического строительства.

Такая конструкция боковых призм оказалась легко выполнимой благодаря наличию на месте строительства двух свит известняка: слоистых и массивных, обеспечивающих получение камня различной крупности.

Переходные зоны плотины предназначены для защиты мелкозернистых фракций ядра от механической суффозии, а также выпора и размыва грунта по контакту высачивания. По современным представлениям для подобных плотин с водонепроницаемой зоной в виде ядра из связного грунта (обогащенная суглинком смесь скелетного состава может быть также отнесена к связному грунту) переходные зоны выполняются из однородного фильтрующего материала с отсевом фракций крупнее 100 мм.

Результаты расчета на устойчивость запроектированного

профиля плотины по методу круглоцилиндрических поверхностей характеризуются следующими коэффициентами запаса устойчивости для особых сочетаний нагрузок: для варианта плотины с ядром из смеси—1,40 и для варианта с ядром из суглинка — 1,20.

Тело плотины предусматривается возводить в четыре очереди за 4 года. В первую очередь отсыпается плотина на левом берегу до половины высоты общим объемам 1,8 млн. м<sup>3</sup>. Во вторую и третью очереди после переключения расходов отсыпается русловая и правобережная части плотины объемом 8 млн. м<sup>3</sup>. Четвертая очередь работ ведется по всей длине плотины до отметки гребня и составляет объем 6,2 млн. м<sup>3</sup>.

Ядро плотины укладывается слоями по 33 см и после оптимального увлажнения укатывается 10 проходками тяжелых катков на пневматиках. Переходная зона из гравийно-песчаного материала после увлажнения укатывается теми же катками за пять проходок. Тело плотины из рядового камня укладывается слоями по 10 м и уплотняется струей гидромониторов. Упорные призмы из крупноблочного камня отсыпаются слоями по 10 м.

Пропуск строительных расходов предусматривается по строительному туннелю.

Переключение расходов воды в туннель намечено в зимний период года с созданием подпора в реке 3,7 ж путем перекрытия русла каменной наброской с понтонного моста.

Для наблюдения за осадками и смещениями гребня и низового откоса плотины, деформацией цементационной галереи, кривой депрессии и поровым давлением в суглинистом ядре плотины, противодавлением в основании суглинистого ядра за цементационной завесой устанавливается контрольно-измерительная аппаратура в восьми створах. В каждом створе предусматривается установка глубинных марок, реперов и пьезометров. Грунтовые динамометры закладываются в основании насыпи ядра, над сводом галереи. Внутри галереи размещены телетензометры, щелемеры и другие приборы.

Общие объемы работы по гидроузлу составляют: выемка— 4023 тыс. м<sup>3</sup> (в том числе в мягких грунтах—1216, в твердых—2 457 и туннельная—350); насыпь— 16 055 тыс. м<sup>3</sup> (в том числе мягких грунтов — 3 200, гравийно-песчаных грунтов — 1 375 и каменной наброски—11 480), бетон и армобетон — 265 тыс. м<sup>3</sup>, цементация — 95 тыс. *пог. м.*

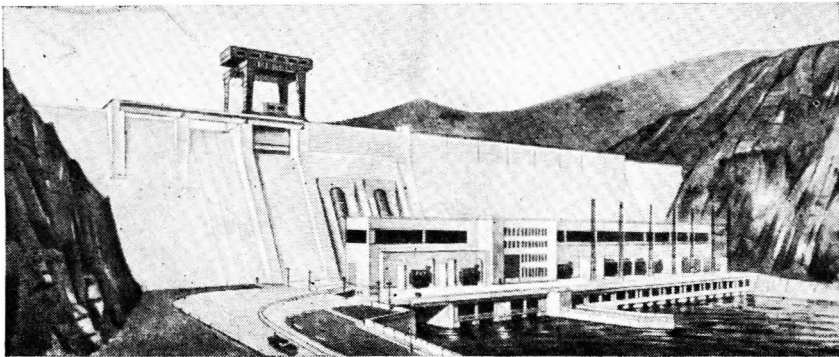


# БУХТАРМИНСКАЯ ПЛОТИНА

Бухтарминская ГЭС, являясь верхней ступенью энергетического использования р. Иртыша, располагается в узком скальном ущелье в районе выклинивания водохранилища Усть-Каменогорской ГЭС.

В состав узла сооружения входят: бетонная плотина, гидростанция приплотинного типа мощностью 675 тыс. квт и четырехкамерный судоходный шлюз, располагаемый в скальном массиве правого берега.

Общая длина напорного фронта сооружения 450 м. Плотина создает подпор на 67,0 м. При этом на 5—6 м перекрываются высокие уровни оз. Зайсан, благодаря чему образуется водохранилище емкостью 53 млрд. м<sup>3</sup> с площадью зеркала 5 500 км<sup>2</sup>.



Общий вид.

Русло реки шириной около 300 м и берега в створе плотины сложены прочными изверженными скальными породами габбро и амфиболитами. Мощность поверхностных выветрелых зон колеблется от 3 до 7 л в русле и от 5 до 15 л в берегах.

Среднегодовой сток реки в створе гидроузла составляет 18,6 млрд. м<sup>3</sup>. Расходы реки: расчетной повторяемостью 1 раз в 1 000 лет — 4520 м<sup>3</sup>/сек, повторяемостью 1 раз в 20 лет (расчетный строительный) — 3 120 м<sup>3</sup>/сек.

Строительство плотины велось в суровых климатических условиях: среднегодовая многолетняя температура равна плюс 2° С, минимальная — 45° С, максимальная +35° С; продолжительность зимнего периода с температурой —20° С составляет 4 мес.

Во время установления ледостава осенью и весеннего ледохода часто наблюдались зажорные и заторные явления с подъемом уровня до 4,0 м.

Плотина состоит из следующих частей:

станционной длиной 210 ж, в которой расположены девять водоприемных отверстий с напорными трубопроводами диаметром 5,6 м,

водосливной длиной 26 м с одним водосбросным пролетом размером 18x12 м на 1580 м<sup>3</sup>/сек, перекрываемым плоским щитом,

глухих общей длиной 144 м на участках сопряжения с правым и левым берегами.

Плотина имеет треугольный профиль с вертикальной напорной гранью при уклоне низовой грани в водосливной части 1 : 0,8 и в глухой 1 : 0,75.

Максимальная высота плотины 90 м.

Сопряжение сбрасываемого через водослив потока с нижним бьефом принято трамплинного типа.

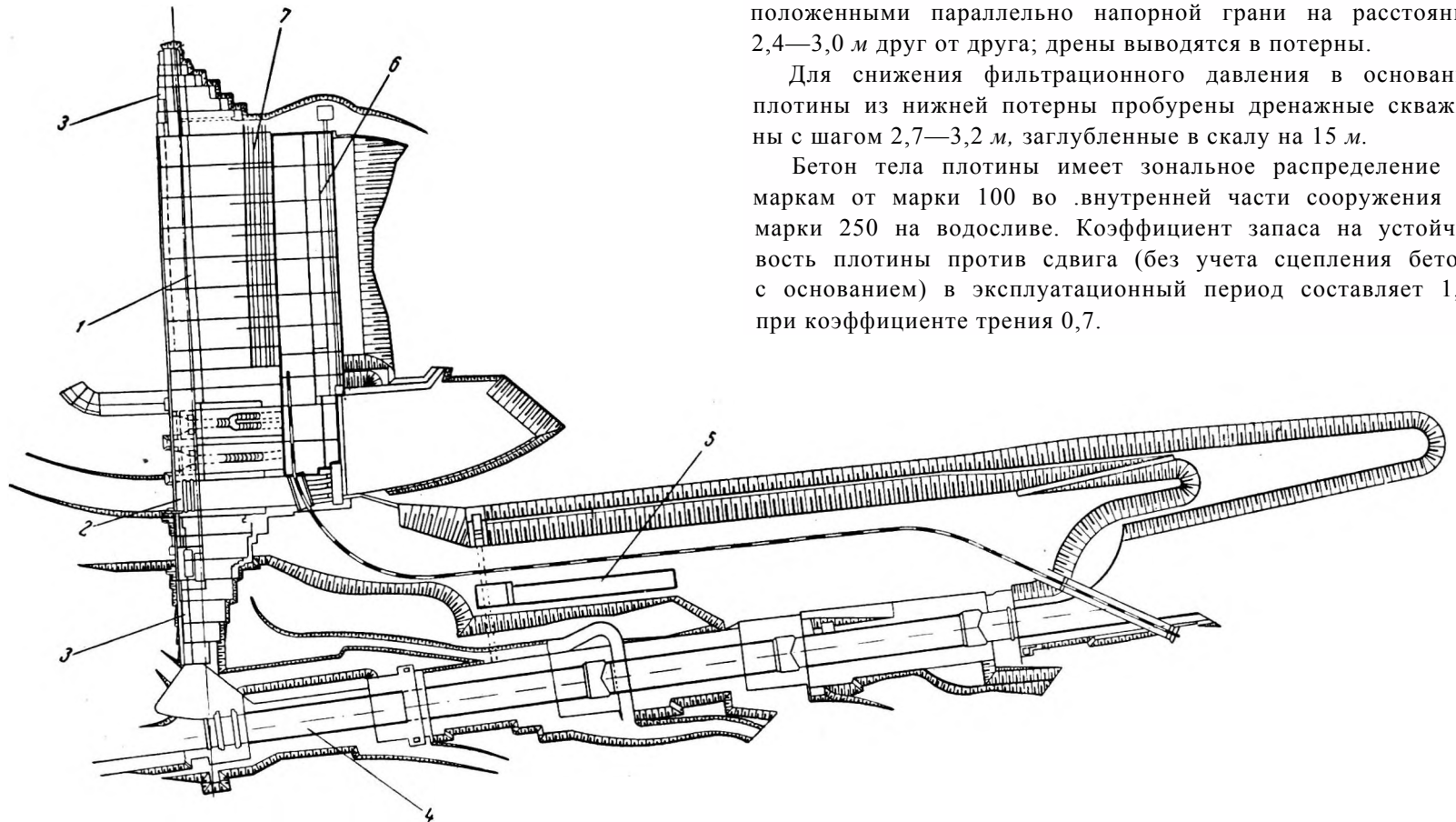
По длине плотина разрезана конструктивными швами в секции шириной 18—19 м. В целях снижения объема бетонной кладки и улучшения отвода тепла, выделяемого бетоном, конструктивные швы в стационарной части плотины расширены до 4,0 м.

В качестве основного противofильтрационного мероприятия в основании плотины предусмотрена двухрядная цементационная завеса из скважин глубиной 25—45 м.

Тело плотины дренируется вертикальными дренами, расположенными параллельно напорной грани на расстоянии 2,4—3,0 м друг от друга; дренаи выводятся в потери.

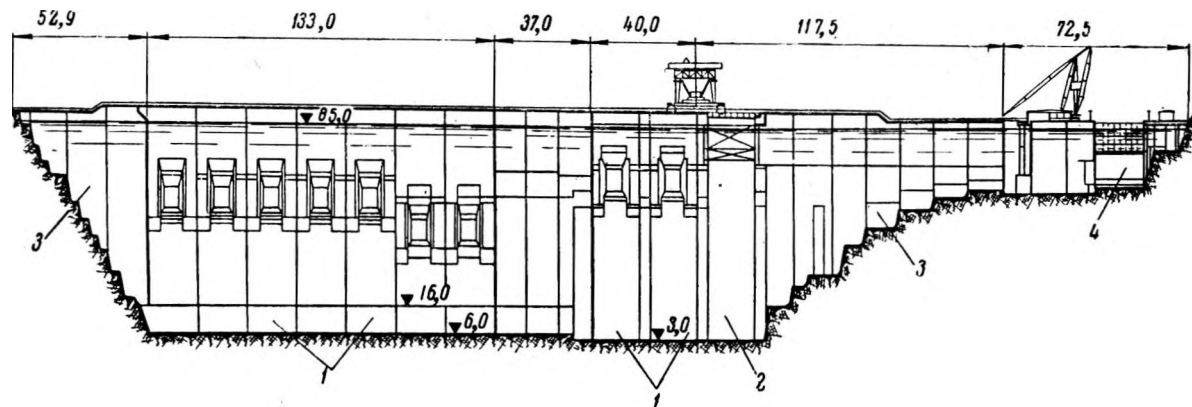
Для снижения фильтрационного давления в основании плотины из нижней потери пробурены дренажные скважины с шагом 2,7—3,2 м, заглубленные в скалу на 15 м.

Бетон тела плотины имеет зональное распределение по маркам от марки 100 во внутренней части сооружения до марки 250 на водосливе. Коэффициент запаса на устойчивость плотины против сдвига (без учета сцепления бетона с основанием) в эксплуатационный период составляет 1,02 при коэффициенте трения 0,7.



План.

1—стационарная часть плотины; 2—водосливная часть плотины; 3—глухая часть плотины; 4—судоходный шлюз; 5 — ЗРУ ЦП кв; 6— здание ГЭС; 7—ОРУ 220 кв.



Вид с верхнего бьефа.

1—станционная часть плотины; 2—водосливная часть плотины; 3—глухая часть плотины; 4—судоходный шлюз.

Нормальные напряжения у подошвы верховой грани плотины равны  $0,9 \text{ кг/см}^2$ , у подошвы низовой грани —  $18 \text{ кг/см}^2$ .

Здание ГЭС примыкает к левому берегу и занимает основную часть русла реки. В нем размещаются девять агрегатов мощностью по 75 тыс. *квт*, из них восемь с радиально-осевыми турбинами с диаметром рабочего колеса 4,10 м и один с опытной диагональной турбиной, с диаметром колеса 4,35 м. Повышающие трансформаторы установлены на площадке, примыкающей к машинному залу со стороны нижнего бьефа. Между зданием ГЭС и станционной частью плотины размещается открытое распределительное устройство 220 *кв*. Распределительное устройство 110 *кв* находится в закрытом помещении на правом берегу.

За подготовительный период строительства (1954—1955 гг.) были выполнены: подъездные пути в гористой местности общей протяженностью 60 *км*, ЛЭП 110 *кв* длиной 70 *км*, база строительной индустрии, базы специализированных организаций, складское хозяйство, строительный поселок и прочие хозяйства.

Строительство основных сооружений выполнялось за перемиками в две очереди. В первую очередь строились пра-

вобережная часть и «бычки» водосливной части плотины с пропуском строительных расходов через левобережную часть русла реки шириной 110 м.

Во вторую очередь возводились станционная и левобережная части плотины и здание станции, а также закрывалась гребенка водослива. Пропуск строительных расходов при работе в котловане второй очереди осуществлялся первоначально через недостроенную водосливную часть плотины. Затем строительные расходы пропускались через три временных донных отверстия, оставленных в теле плотины.

Наполнение водохранилища началось в апреле 1960 г. Первые три агрегата введены в эксплуатацию при пониженном напоре в 1960 г. В 1961 г. были введены еще три агрегата. Опытный агрегат с турбиной диагонального типа будет введен в 1963 г.

Для укладки бетона в плотину и гидростанцию были построены две металлические строительные эстакады: высокая и низкая с общим расходом металла 4,1 тыс. т.

На эстакадах устанавливались бетоноукладочные портално-стреловые 10-т краны.

Кроме того, на нижней эстакаде проложены три железнодорожных пути широкой колеи.

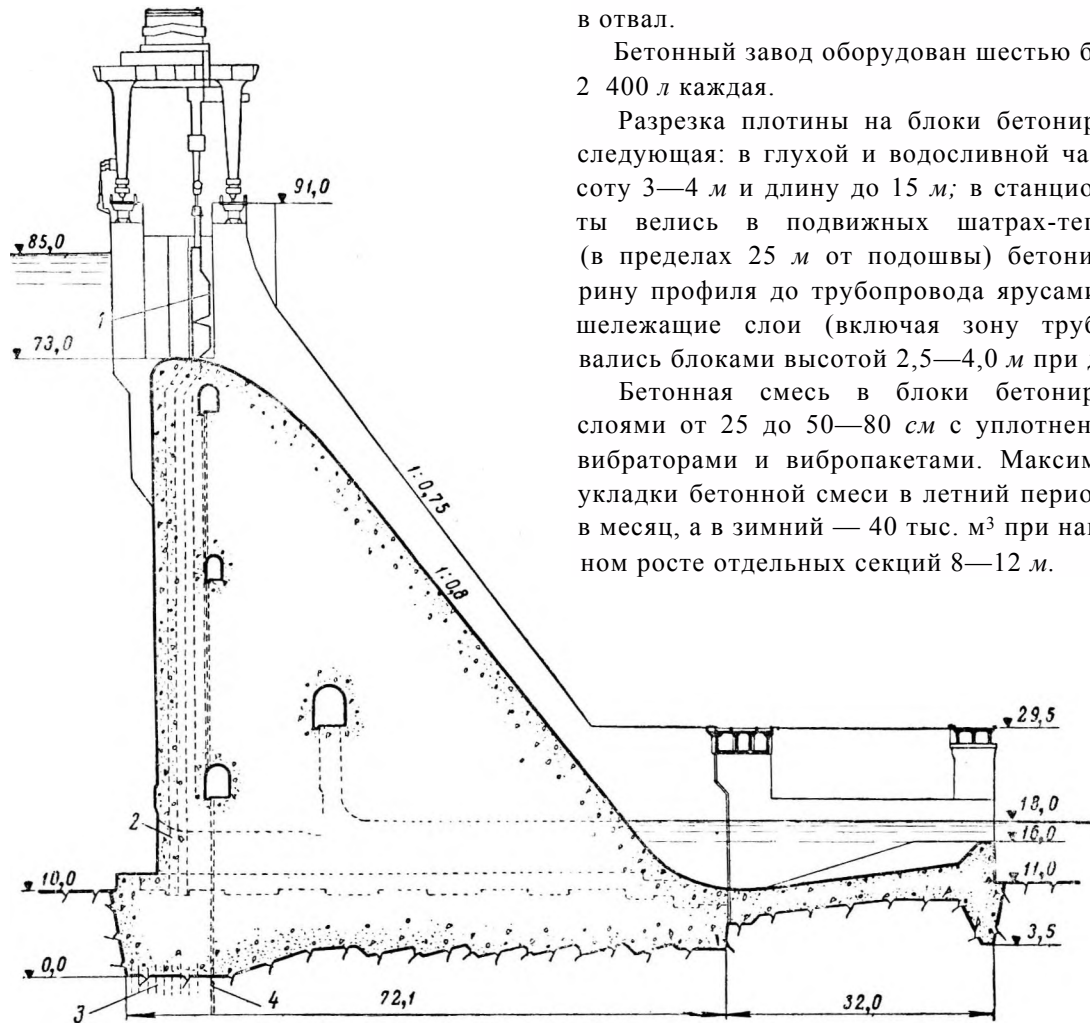
Подача бетона от бетонного завода к месту укладки осуществлялась железнодорожным и автомобильным транспортом.

В качестве заполнителей для бетона использовалась гравийно-песчаная смесь русловых аллювиальных отложений р Иртыша, содержащая 34% песка и 66% гравия. Добыча песчано-гравийной смеси производилась при помощи шагающих экскаваторов с емкостью ковша 4 м<sup>3</sup>, работающих в отвал.

Бетонный завод оборудован шестью бетономешалками по 2 400 л каждая.

Разрезка плотины на блоки бетонирования была принята следующая: в глухой и водосливной частях блоки имели высоту 3—4 м и длину до 15 м; в станционной части, где работы велись в подвижных шатрах-тепляках, нижняя зона (в пределах 25 м от подошвы) бетонировалась на всю ширину профиля до трубопровода ярусами высотой 1,25 м; вышележащие слои (включая зону трубопровода) бетонировались блоками высотой 2,5—4,0 м при длине до 19 м.

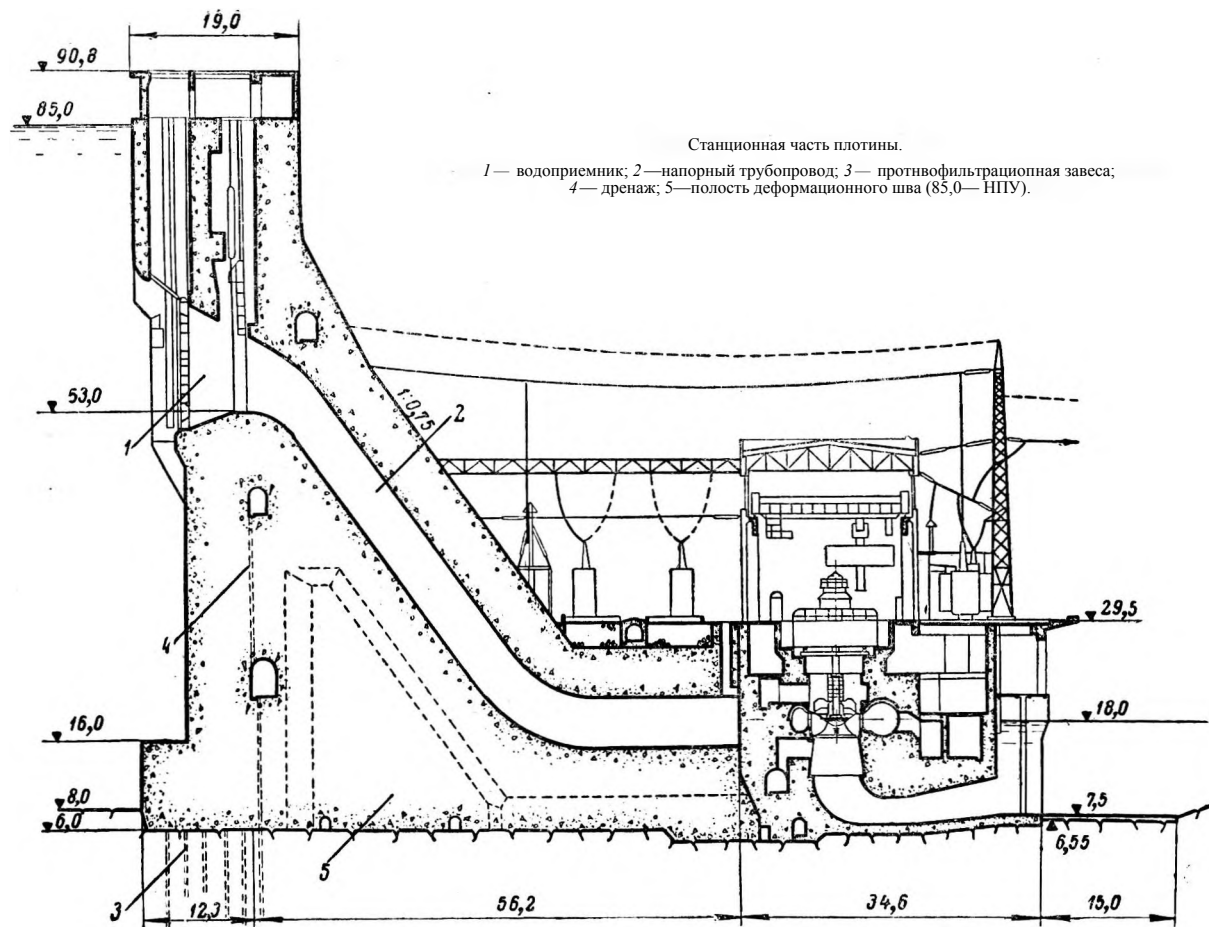
Бетонная смесь в блоки бетонирования укладывалась слоями от 25 до 50—80 см с уплотнением индивидуальными вибраторами и вибропакетами. Максимальная интенсивность укладки бетонной смеси в летний период достигала 50 тыс. м<sup>3</sup> в месяц, а в зимний — 40 тыс. м<sup>3</sup> при наибольшем среднемесячном росте отдельных секций 8—12 м.



Водосливная часть плотины.

1 - основной затвор; 2 - временное строительное отверстие; 3 - противофильтрационная завеса; 4 - дренаж.





Для опалубки поверхности блоков применялась как деревяшка мягкого и скального грунта — 1 375 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь и каменная наброска — 325 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон —

Для установления величины взвешивающего давления на 1 170 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции и механизмы — 11,6 тыс. т. Основное назначение Бухтарминской ГЭС — энергетическое и транспортное. В начальный период электроэнергия направляется в Алтайскую энергосистему, а затем, после постройки сетей, — в объединенную Северо-Казахстанскую систему.

Объем основных работ по сооружениям гидроузла: выем-систему.

## УСТЬ-КАМЕНОГОРСКАЯ ПЛОТИНА

Усть-Каменогорская ГЭС, являясь второй ступенью энергетического использования верхнего участка р. Иртыша, расположена в каньонообразной долине со скальными берегами.

В состав узла сооружений входят: бетонная плотина высотой 65 м, здание ГЭС приплотинного типа и судоходный шлюз шахтного типа, расположенный в скальном массиве правого берега. Общая длина напорного фронта сооружений, создающего водохранилище объемом 0,63 млрд. м<sup>3</sup>, составляет 390 м при подпоре естественных уровней на 42,0 м.

Русло реки и берега в створе плотины сложены изверженными породами габбро с зонами интенсивного выветривания в русловой части до 4 л и в берегах до 14 м. Расчетные расходы реки характеризуются следующими величинами: максимальный расход вероятностью 1 раз в 1000 лет — 4 500 м<sup>3</sup>/сек, максимальный расход в период строительства — 3 800 м<sup>3</sup>/сек.

Строительство плотины велось в суровых климатических условиях. Среднегодовая многолетняя температура составляет плюс 2,8° С, средняя температура зимы — минус 16 — 19° С с морозами в отдельные дни до —45° С. Средняя температура лета 20—23° С и наивысшая 35° С.

Установление ледостава в осенний период сопровождалось значительными шуговыми зажорами с подъемами уровня до 2,7 м.

Плотина треугольного профиля с вертикальной напорной гранью и низовой с уклоном 1:0,67 разрезана температур-

ными швами на секции шириной 9—15 м, а в станционной части — 22 м.

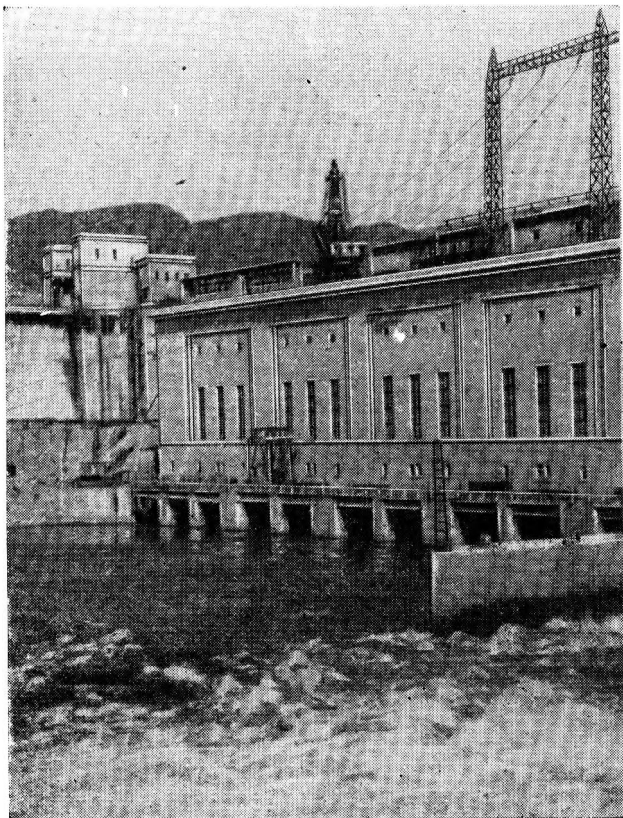
Тело плотины дренировано вертикальными дренами диаметром 20 см, располагаемыми через 2,0—3,0 м друг от друга по длине плотины на расстоянии 4—5 м от напорной грани.

В основании плотины устроена однорядная противофильтрационная завеса максимальной глубиной 40 м. Основание плотины за цементационной завесой дренируется дренажными скважинами, пробуренными из нижней потерны с заглублением в скалу на 10 м при расстоянии между ними 4,0 м.

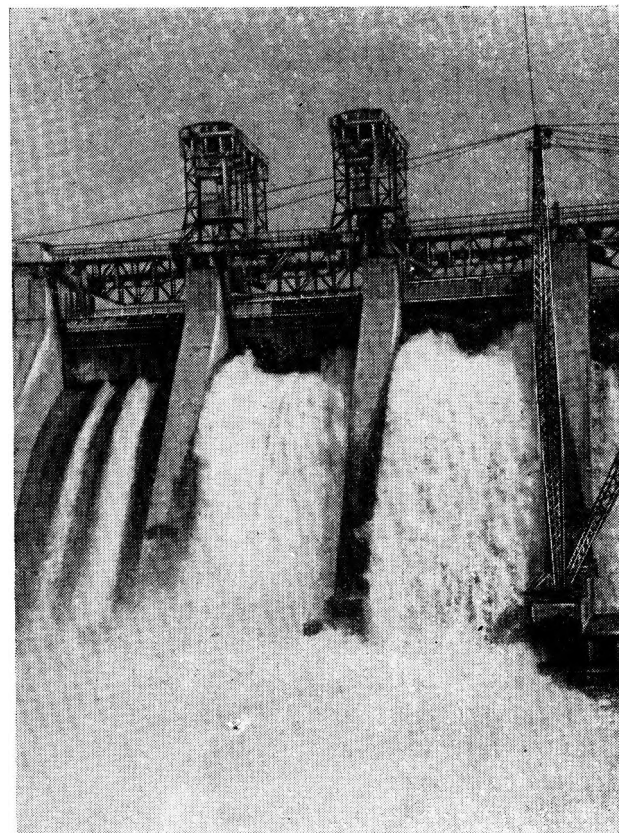
Коэффициент запаса на устойчивость плотины против сдвига в эксплуатационный период равен 1,09 при коэффициенте трения 0,75. Сжимающие напряжения на напорной грани не превосходят 2,0 кг/см<sup>2</sup>, а на низовой грани — 17 кг/см<sup>2</sup>.

Бетонная плотина состоит из следующих частей: станционной части длиной 123 м, где расположены восемь водоприемных отверстий четырех напорных трубопроводов диаметром 7,62 м и одно отверстие для холостого водосброса размером 5X6,5 м, проходящего под монтажной площадкой, водосливной части длиной 92 м с четырьмя водосливными отверстиями, перекрываемыми плоскими затворами размером 18x8 м, глухих левобережной и правобережной плотин общей длиной 175,2 м,





Здание ГЭС.



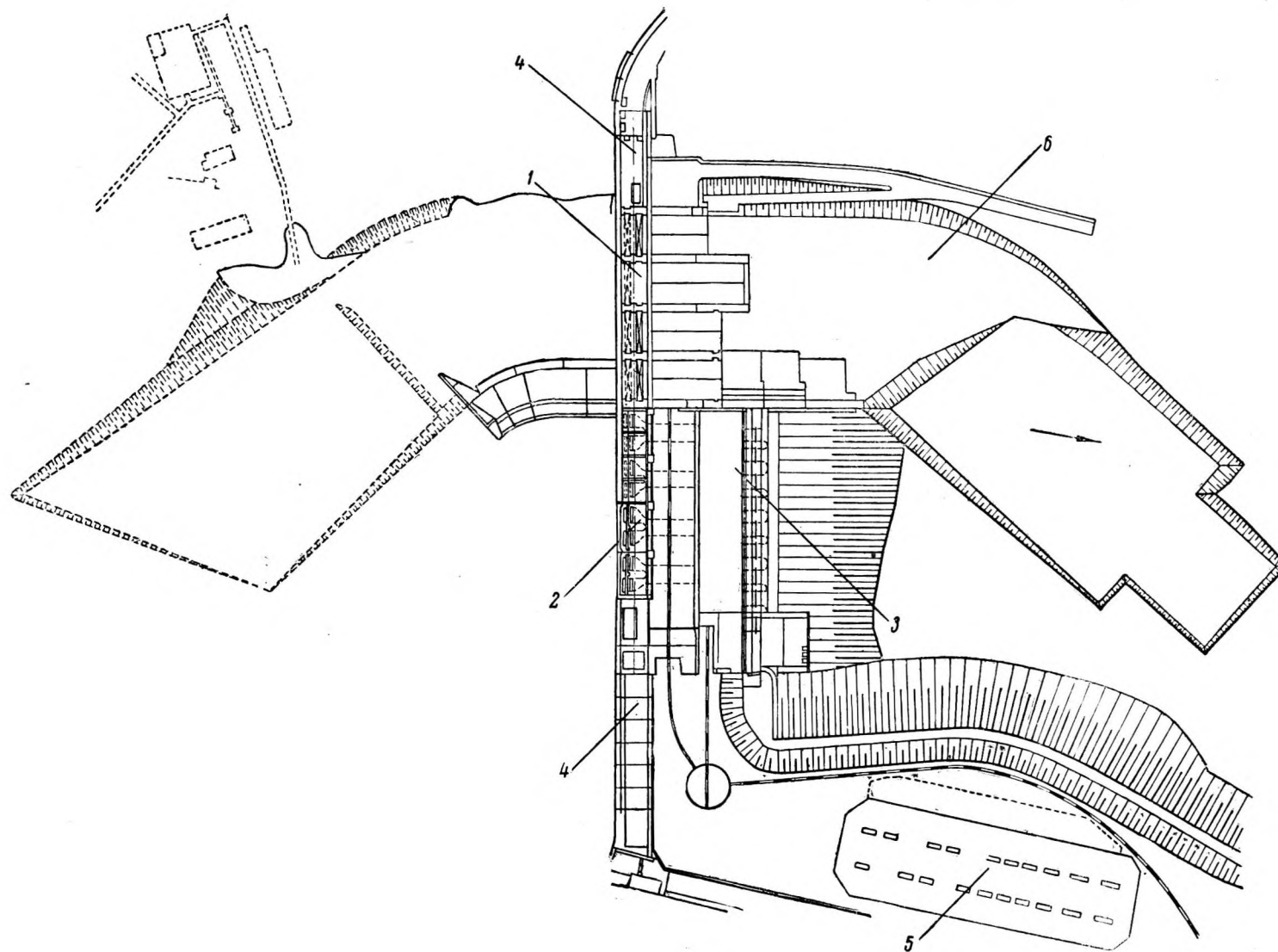
Водосливная плотина.

Максимальная пропускная способность водосливных отверстий: при НПУ —  $3\,360\text{ м}^3/\text{сек}$ , при ФПУ — до  $4\,240\text{ м}^3/\text{сек}$ . Холостой водосброс пропускает  $500\text{ м}^3/\text{сек}$ .

В здании ГЭС, расположенном в русле реки у правого берега, размещаются агрегаты с радиально-осевыми турбинами с диаметром рабочего колеса  $5,5\text{ м}$ . Повышающие трансформаторы установлены в пазухе между станционной частью плотины и зданием ГЭС. Открытое распределительное устройство  $110\text{ кВ}$  расположено на правом берегу на

площадке между шлюзом и рекой. В эксплуатацию гидростанция вступила в 1953 г.

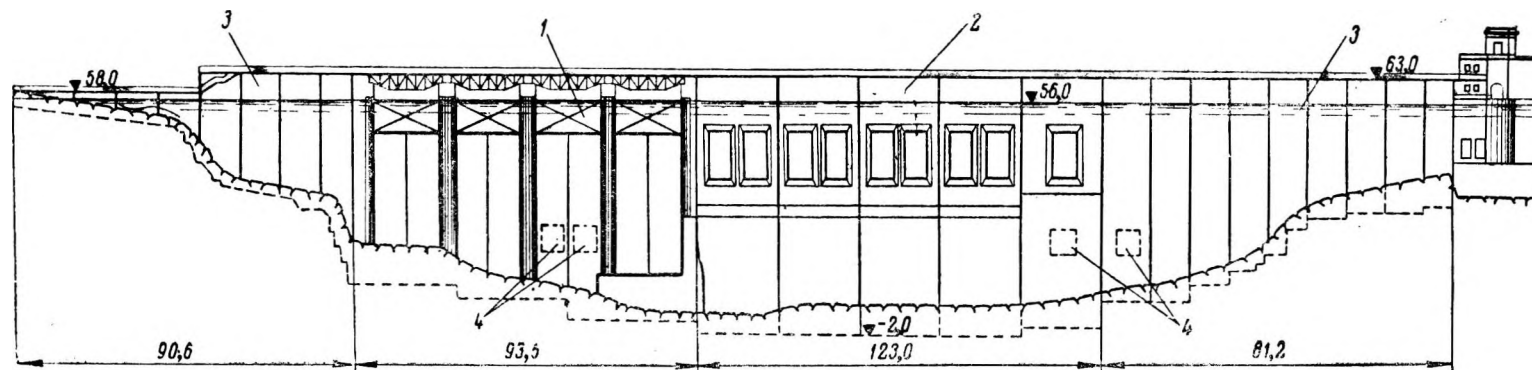
Строительство основных сооружений выполнялось в две очереди за перемычками. В первую очередь возводились левобережная часть и «гребенка» водосливной части плотины. В этот период строительные расходы и суда пропускались через правобережную протоку русла реки. Под защитой перемычек второй очереди производились работы по возведению станционной и правобережной частей плотины и здания



План

1—водосливная часть плотины, 2—станционная часть плотины; 3—здание ГЭС; 4— глухая часть плотины; 5—ОРУ 110 кв.





Вид с верхнего бьефа.

1 — водосливная часть плотины; 2 — станционная часть плотины; 3 — глухая часть плотины; 4 — временные строительные отверстия.

гидростанции. Пропуск строительных расходов в это время осуществляется через водосливные пролеты плотины, а судходство — через шлюз первой очереди.

В дальнейшем, когда бетонные работы станционной части плотины были доведены до состояния, допускающего затопление котлована второй очереди, под защитой строительного затвора производилась укладка бетона в гребенку водосливных пролетов с устройством временных донных отверстий для пропуска строительных расходов. Донные отверстия последовательно заделывались по мере роста сооружений и подъема горизонта воды верхнего бьефа.

Когда горизонт воды в верхнем бьефе поднялся до отметки, допускающей работу агрегатов при промежуточном «апоре, был пущен (20 декабря 1952 г.) первый агрегат гидростанции. Через 4 мес. все бетонные сооружения были доведены до проектных отметок, и в период паводка плотина приняла полный напор.

Для укладки бетона в плотину и гидростанцию была применена строительная металлическая эстакада, на которой устанавливались портално-стреловые 10-т краны и два пути узкой колеи.

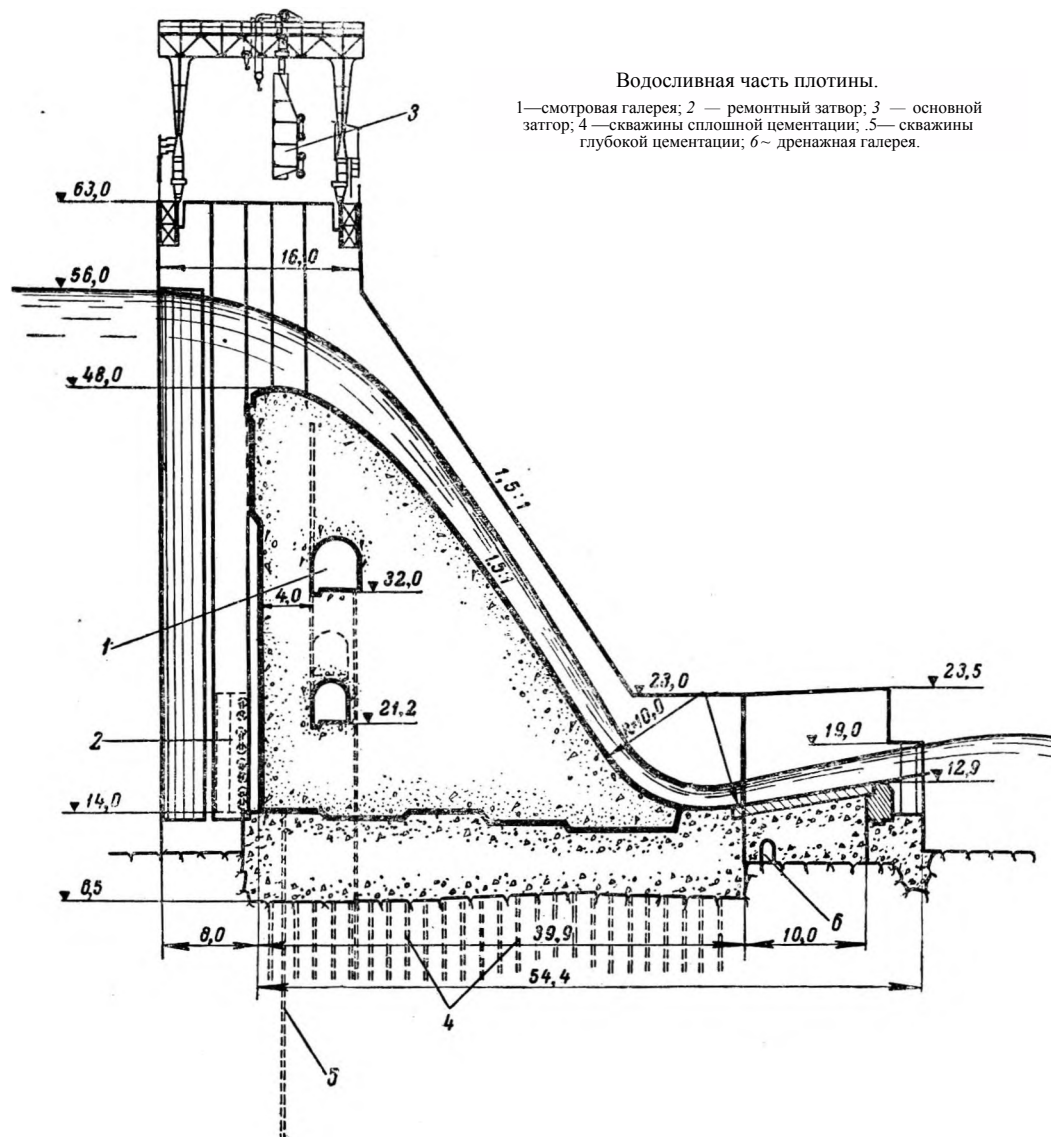
Подача бетона от бетонного завода к месту укладки осуществлялась на железнодорожных платформах в  $3\text{-м}^3$  бадьях и на 5-т автомашинах в  $1,5\text{-м}^3$  бадьях.

В качестве заполнителей для бетона использовалась песчано-гравийная смесь русловых аллювиальных отложений реки, содержащая 34% песка и 66% гравия.

Для приготовления бетона были построены два бетонных завода: один — на левом берегу (две бетономешалки по 2 250 л), второй — на правом берегу (четыре бетономешалки по 2 250 л).

Разрезка плотины на блоки бетонирования принята горизонтальной с высотой блоков 3—4 м и длиной до 15 м; по вертикали швы блоков имеют смещение по отношению к соседнему ярусу, благодаря чему создается «перевязка» блоков.

Бетонная смесь в блоки бетонирования укладывалась слоями средней толщиной 25 см с уплотнением индивидуальными вибраторами. Максимальная интенсивность укладки бетонной смеси в летний период достигала 38 тыс.  $\text{м}^3$ , а в зимний — 30 тыс.  $\text{м}^3$  в месяц. Для опалубки применялись плоские деревянные щиты.



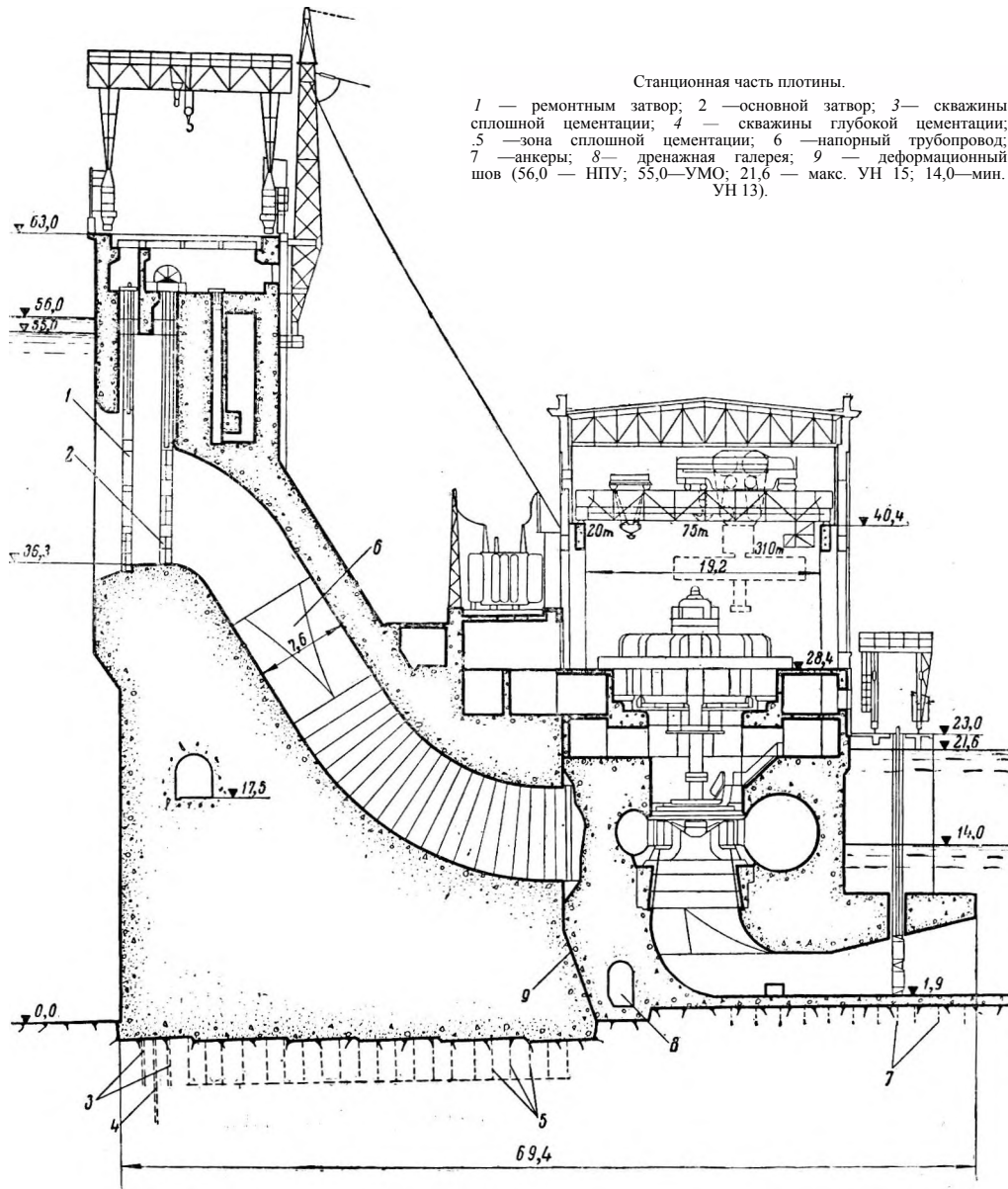
Плотина оборудована пьезометрами, щелемерами и марками для установления вертикальных и горизонтальных деформаций.

По всем сооружениям гидроузла выполнен следующий

объем основных работ: выемка мягкого и скального грунта — I 640 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь и каменная наброска — 345 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 580 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции и механизмы — 9 100 г,

Станционная часть плотины.

1 — ремонтным затвор; 2 — основной затвор; 3 — скважины сплошной цементации; 4 — скважины глубокой цементации; 5 — зона сплошной цементации; 6 — напорный трубопровод; 7 — анкеры; 8 — дренажная галерея; 9 — деформационный шов (56,0 — НПУ; 55,0 — УМО; 21,6 — макс. УН 15; 14,0 — мин. УН 13).



# НОВОСИБИРСКАЯ ПЛОТИНА

Новосибирская ГЭС установленной мощностью 400 Мвт и среднегодовой выработкой 1 636 млн. квт-ч расположена на р. Оби выше г. Новосибирска. В состав основных сооружений гидроузла входят: гидроэлектростанция, бетонная водосливная плотина, земляная плотина и судоходный шлюз.

Общая длина подпорных сооружений гидроузла составляет 4 846 м. Из них 4-64 м приходится на бетонные сооружения и 4 382 м — на земляные плотины. Полный объем водохранилища равен 8,8 млрд. м<sup>3</sup>, из которых полезный объем при сработке на 5,0 ж составляет 4,4 млрд. м<sup>3</sup>, или 8,5% объема среднегодового стока.

Гидроузел расположен в районе с резко континентальным климатом. Среднегодовое температура воздуха — 0,3°С, среднемесячная температура наиболее холодного месяца (января) — 19,7°С, наиболее теплого (июля) +18,6°С.

Максимальные расходы реки характеризуются следующими величинами: расчетный расход повторяемостью 1 раз в 1000 лет—15 900 м<sup>3</sup>/сек, строительный расход повторяемостью 1 раз в 20 лет—10 470 м<sup>3</sup>/сек.

В основании сооружений залегают коренные породы, представленные перемеживающимися пластами песчаников и глинистых сланцев с преобладанием последних. Местами глинистые сланцы разбиты трещинами на тонкие пластинки.

Временное сопротивление сжатию для песчаников равно 1 100 кг/см<sup>2</sup>, для сланцев — 475 кг/см<sup>2</sup>. Залегающие на коренных породах четвертичные отложения представлены ком-

плексом галечников, песков-и супесей, относящихся к древне-четвертичным отложениям.

Бетонная водосливная плотина расположена на скальном основании и врезана в коренную породу на глубину 6—7 м. Основанием земляных плотин являются четвертичные отложения.

Водосливная плотина — гравитационного типа с вертикальной напорной гранью. Конец водослива в примыкании к водобойю выполнен в виде прорезного носка. Длина плотины поверху 194,0 м. Плотина быками разбита на восемь отверстий по 20 м, перекрываемых плоскими затворами, установленными на гребне. Напор на гребне водослива равен 9 м, высота затворов 10,5 м. Опускание и подъем рабочих затворов и ремонтного заграждения осуществляются помощью двух спаренных 150-т кранов.

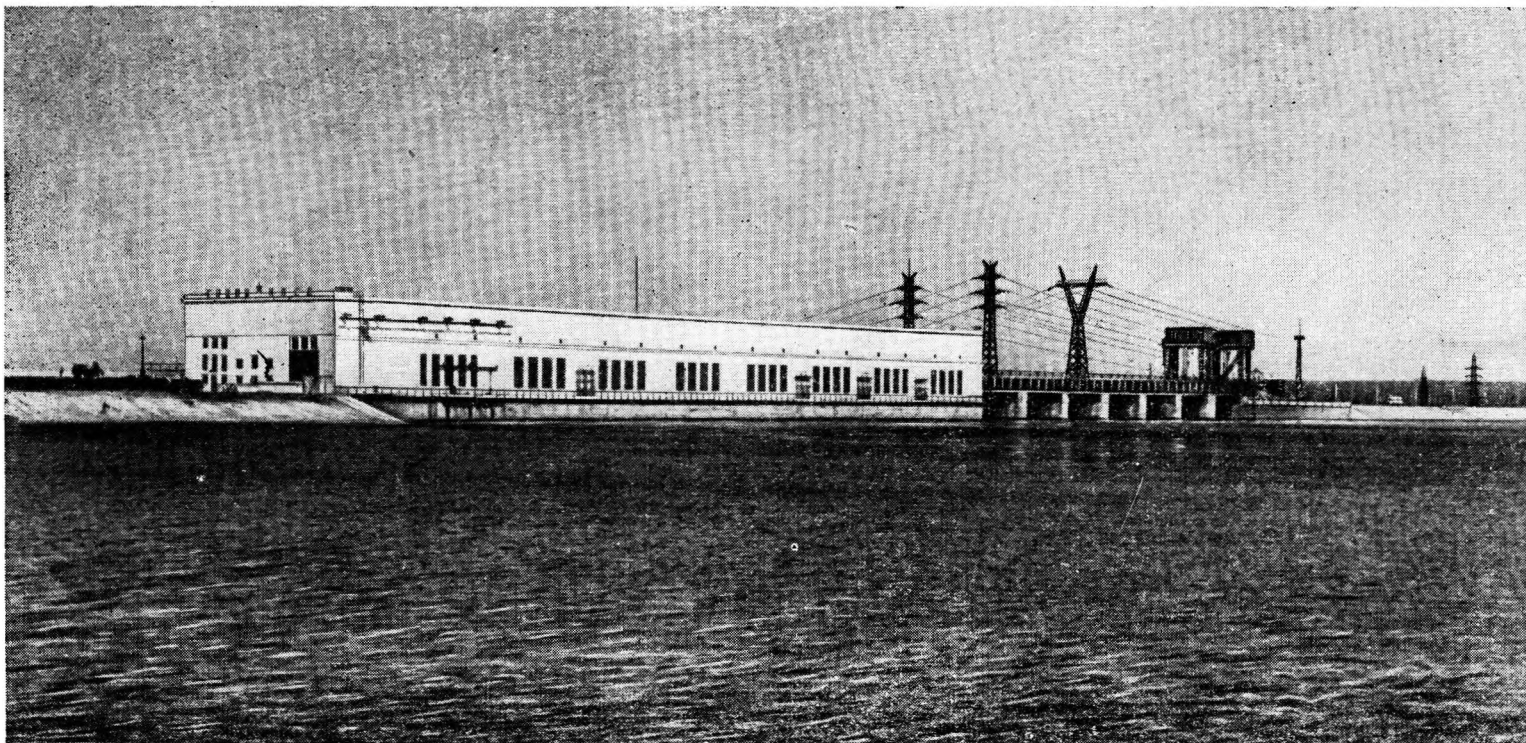
Тело плотины разбито на секции сквозными деформационными швами, проходящими посередине пролетов.

Водобойная часть выполнена в виде бетонной плиты с гасителями из двух рядов пирсов трапецеидальной формы. За водобойной плитой устроена рисберма из наброски крупных камней и бетонных блоков.

Тело плотины дренировано вертикальными трубами, заложеными с интервалом 3,8 ж и выходящими в галерею.

В основании бетонной плотины предусмотрены вертикальный и площадный дренаж, а также цементационная завеса. Вертикальный дренаж осуществлен в виде двух рядов сква-





Общий вид

жин, расположенных под водосливной частью в створе галереи и под водобойной плитой.

Площадный дренаж выполнен в виде продольных и поперечных канав, заполненных камнем, расположенных под подошвой тела плотины и водобоя.

Под верховым зубом плотины устроена противофильтрационная завеса, образуемая из двух рядов цементационных скважин максимальной глубиной 36,5 м.

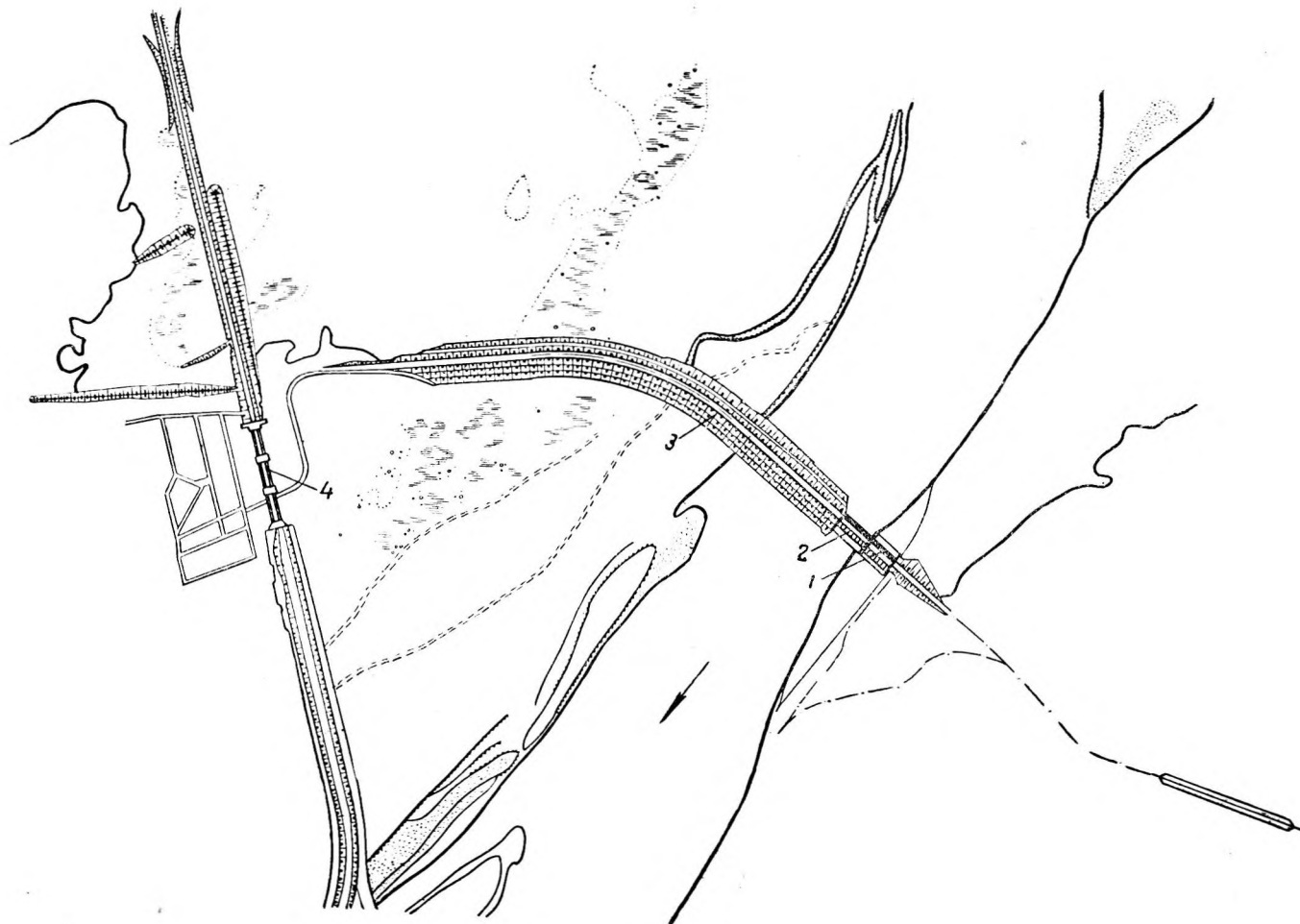
Коэффициент запаса на устойчивость плотины против сдвига в эксплуатационный период равен 1,05 при коэффициенте трения 0,5 (без учета сцепления бетона с основанием).

Максимальная пропускная способность водосливных отверстий при НГПУ равна  $9\,200\text{ м}^3/\text{сек}$ , а при форсировке уровня на 2,2 м достигает  $13\,400\text{ м}^3/\text{сек}$ .

Общий объем бетона в водосливной плотине 182 тыс.  $\text{м}^3$ . В теле бетонной плотины установлена контрольно-измерительная аппаратура для наблюдения за смещением плотины, деформациями и напряженным состоянием бетона, распределением давления на основание и фильтрацией.

Земляная плотина возведена из однородного материала — мелкозернистого песка, слагающего поверхность поймы.

Основной, правобережный, участок плотины примыкает



План.

1- здание ГЭС; 2 — водосливная плотина; 3 — земляная плотина; 4 — судоходный шлюз.



к устью водосливной плотины и перекрывает часть русла речены в виде низового банкета из каменной наброски с обратной и правобережную пойму.

Длина правобережной плотины по гребню (включая небольшую дамбу) 4 071 м, максимальная высота 27,0 м. Откосы плотины с верховой стороны 1:4 и 1:4,5, с низовой стороны — 1:3,5, 1:4 и 1:4,5.

Верховой откос имеет бетонное крепление толщиной 0,3—0,5 м; низовой откос закреплен слоем гравия 15 см.

Дренажные устройства плотины в пределах русла выпол-

нены в виде низового банкета из каменной наброски с обратным фильтром.

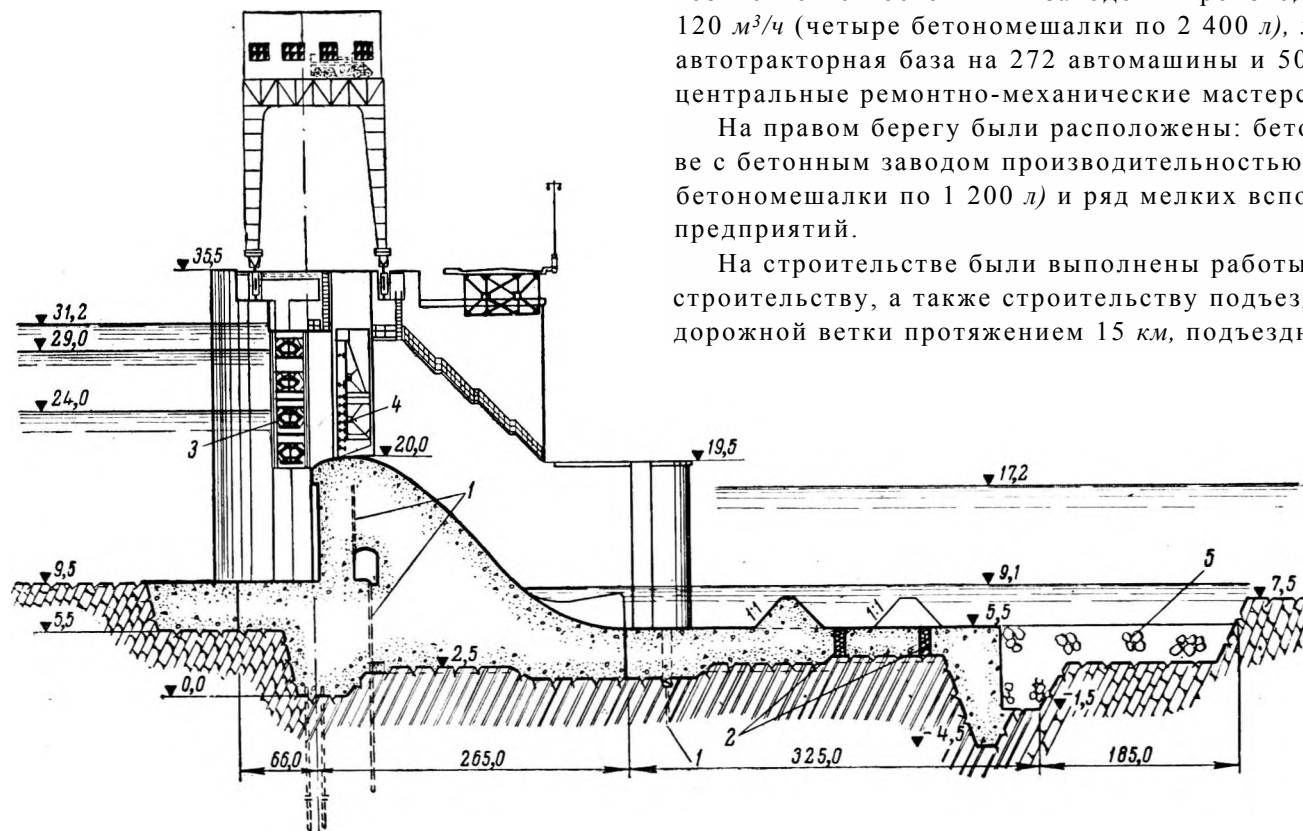
В пределах поймы дренаж плотины закрытого типа из бетонных дырчатых труб с двухслойным обратным фильтром вокруг них.

Левобережный участок плотины перекрывает створ от здания ГЭС до левого берега. Длина его по гребню 311 м.

В соответствии с расположением основных сооружений гидроузла на обоих берегах реки были организованы две стройплощадки. На левом берегу были размещены: бетонное хозяйство с бетонным заводом производительностью 120 м<sup>3</sup>/ч (четыре бетономешалки по 2 400 л), лесокомбинат, автотракторная база на 272 автомашины и 50 тракторов и центральные ремонтно-механические мастерские.

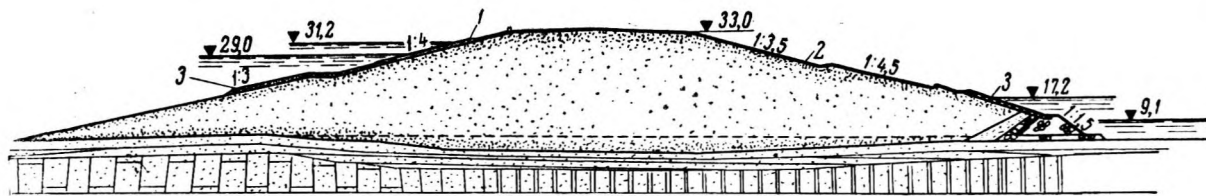
На правом берегу были расположены: бетонное хозяйство с бетонным заводом производительностью 70 м<sup>3</sup>/ч (четыре бетономешалки по 1 200 л) и ряд мелких вспомогательных предприятий.

На строительстве были выполнены работы по жилищному строительству, а также строительству подъездной железнодорожной ветки протяжением 15 км, подъездной автодоро-



Водосливная плотина.

1 — дренажные скважины; 2 — дренажные колодцы; 3 — ремонтный затвор; 4 — основной затвор; 5 — крепление наброской.



Земляная плотина.

1 — армированные бетонные плиты 0,4 — 0,5 м; 2 — гравийно-песчаная отсыпка; 3 — камешная наброска (31,2 — ФПУ; 29,0 — ЦПУ; 24,0 — УМО; 17,2 — макс. УНБ; 9,1 — мин. УНБ).

ги длиной 23 км и внутривостроечных железнодорожных путей.

Строительство основных сооружений осуществлялось в две очереди за перемычками.

Перекрытие русла реки было осуществлено в ноябре 1956 г. каменным банкетом, отсыпка которого выполнялась пионерным способом. Пропуск строительных расходов в период отсыпки банкета осуществлялся через гребенку водосливной плотины и ряжевый мост, возведенный со стороны правого берега. Максимальная высота перепада уровней при перекрытии русла достигала 1,72 м. Последующая фронтальная отсыпка банкета с ряжевого моста производилась при перепадах уровней от 1,7 до 2,0 м.

Бетонные работы по водосливной плотине были начаты в апреле 1955 г.

Первый агрегат был введен в эксплуатацию в ноябре 1957 г., последний агрегат — в марте 1959 г.

Судоходные сооружения шлюза вступили во временную эксплуатацию в июне 1957 г.

При бетонировании на низких отметках транспорт бетонной смеси осуществлялся автосамосвалами МАЗ-205 и ЗИЛ-585 с непосредственной выгрузкой бетонной смеси в блоки бетонирования.

После ввода в эксплуатацию строительной металлической эстакады, расположенной со стороны нижнего бьефа, транс-

порт бетонной смеси осуществлялся автосамосвалами и по железной дороге нормальной колеи. Подача бадей с эстакады велась 7,5—10,0-г портално-стреловыми кранами при вылетах стрелы 40—30 м.

Максимальная интенсивность укладки бетонной смеси по водосливной плотине в летний период составила 14000 м<sup>3</sup> в месяц, в зимний период — 6 200 м<sup>3</sup> в месяц,

Работы по возведению земляной плотины выполнялись методом гидромеханизации, за исключением вскрышных работ в карьерах и работ по подготовке основания плотины, которые были выполнены экскаваторами.

Намыв плотины производился безэстакадным методом. На строительстве получен интересный опыт намыва узкопрофильного напорного сооружения в осенне-зимнее время (температура воздуха минус 20°С).

Всего по гидроузлу выполнены следующие объемы работ: выемка мягкого и скального грунта—25 380 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь и каменная наброска — 11 767 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 747 тыс. м<sup>3</sup>, монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования— 27 274 г.

Основное назначение Новосибирской ГЭС—энергетическое и транспортное. Новосибирская гидроэлектростанция создает энергетическую базу для развития Новосибирского экономического района, образует глубоководный путь по р. Оби до г. Камня, а также увеличивает судоходные глубины на участке реки ниже створа ГЭС до устья р. Томи,



# САЯНСКАЯ ПЛОТИНА

Саянский высоконапорный гидроузел, имеющий в основном энергетическое назначение, является одним из крупнейших объектов гидростроительства на р. Енисее. Гидроузел, располагаемый южнее гг. Абакана и Минусинска, будет состоять из подземного здания ГЭС мощностью до 6 млн. квт при напоре 216 м и среднегодовой выработке 22,2 млрд. квт и каменнонабросной плотины.

Сооружения размещаются в Саянском ущелье, где берега возвышаются на 300—400 м над урезом воды при крутизне склонов 40—45°.

Русло реки шириной 270 м и оба берега сложены порфировидными крупнозернистыми биотитовыми гранитами с выветрелыми зонами мощностью 3—4 м. Временное сопротивление сжатию находится в пределах 1 400 кг/см<sup>2</sup>.

Район характеризуется суровыми климатическими условиями: среднегодовая температура воздуха 1,2° С, минимальная— 38,7° С, максимальная +35,9° С. Максимальная скорость ветра 24 м/сек.

Среднегодовой расход реки составляет 1 450 м<sup>3</sup>/сек, расчетные расходы реки: эксплуатационный повторяемостью 1 раз в 10 000 лет — 25 500 м<sup>3</sup>/сек, строительный повторяемостью 1 раз в 20 лет — 11 500 м<sup>3</sup>/сек.

Во время весеннего ледохода нередко наблюдаются подъемы уровней от заторов. Низкие уровни наблюдаются в конце осеннего ледохода. После установления ледостава происходит подъем уровней вследствие стесненного живого сечения льдом и шугой.

Сооружением, создающим подпор, является каменнонабросная плотина с суглинистым противофильтрационным экраном (длина по гребню 855 м, строительная высота 225 м). Тип плотины выбран ввиду наличия неограниченного количества камня на месте и отдаленности карьеров мягких грунтов от створа сооружения. Суглинки и гравийно-песчаные грунты для фильтров, а также заполнители для бетона доставляются к месту строительства по железной дороге.

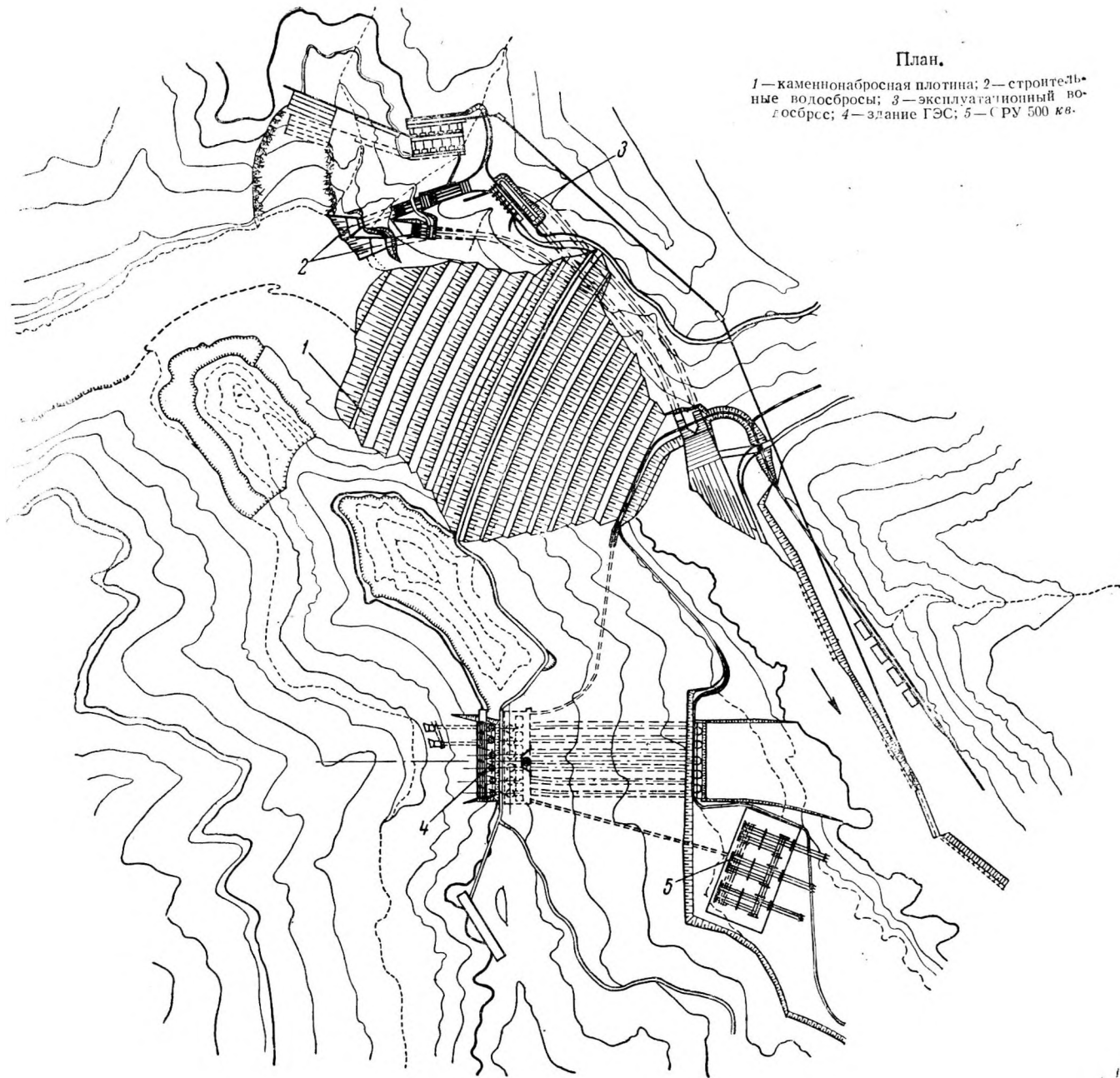
Плотине в плане придано криволинейное очертание, позволяющее в процессе осадки тела обжать противофильтрационный экран.

Экран имеет толщину от 17 м у перелома до 30 м в сопряжении с основанием, что отвечает градиенту 7. Откосы экрана — верховой 1 : 1,5 и низовой 1 : 1,3 — выбраны по условиям отсыпки камня и устойчивости суглинистого тела самого экрана.

Низовая переходная зона от экрана к каменной наброске состоит из двухслойных фильтров толщиной 6 м и слоя карьерной мелочи толщиной 4 м, верховая — из слоя фильтра толщиной 1,5 м и слоя карьерной мелочи 2,5 м.

Карьерная мелочь укладывается в плотину после отсева фракций крупнее 300—400 мм.

Экран сопрягается со скальным основанием зубом глубиной 10 м. В основании зуба через слой суглинка производится площадная цементация глубиной до 6 м. Кроме того, предусмотрено создание двухрядной цементационной завесы глубиной в русле реки 50 м и на береговых участках 20 м.



План.

1—каменнонабросная плотина; 2—строительные водосбросы; 3—эксплуатационный водосброс; 4—здание ГЭС; 5—СУ 500 кв.



самосвалами круглый год. Максимальная интенсивность наброски составляет 1 250 тыс. м<sup>3</sup> в месяц, а с учетом суглинка и фильтра—1710 тыс. м<sup>3</sup> в месяц. Фильтры и суглинок отсыпаются только в теплое время года. Отсыпка камня в наброску принимается со значительным опережением укладки суглинка и фильтров по высоте, и тем самым последние будут укладываться на осевшую в значительной части наброску. Наброска производится ярусами по 30 м с дополнительным уплотнением в теплое время водой при помощи гидромониторов. Наброска ведется пионерно от двух берегов, а в пределах части ярусов — от одного берега, что соответственно сократит объем работ по устройству дорог.

Суглинок в экран укладывается слоями по 0,3 м и уплотняется кулачковыми катками весом 30 т, а в труднодоступных местах — конусными железобетонными трамбовками.

Фильтры отсыпаются слоями по 1,2 м с уплотнением прицепными виброплитами Д-349 на тракторной (ДТ-54) тяге, а в труднодоступных местах—крановыми вибраторами С-489 на экскаватор-кране Э-505.

Увлажнение гравийно-песчаного материала и доувлажнение суглинка производятся в теле плотины.

По всем сооружениям гидроузла предстоит выполнить следующие объемы работ: открытая выемка мягкого и скального грунта — 4 170 тыс. м<sup>3</sup>, подземная выемка скального грунта— 2 490 тыс. м<sup>3</sup>, каменная наброска — 40 000 тыс. м<sup>3</sup>, суглинок для экрана — 5 500 тыс. м<sup>3</sup>, фильтры и дренажи — 1600 тыс. м<sup>3</sup>, карьерная мелочь— 1 350 тыс. м<sup>3</sup>, бетон и железобетон — 810 тыс. м<sup>3</sup>, цементация основания — 120 тыс. *пог. ж*, монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования — 48 тыс. *т*.



## КРАСНОЯРСКАЯ ПЛОТИНА

Красноярская ГЭС, сооружаемая на р. Енисее выше г. Красноярск, будет иметь мощность 5 млн. квт с дальнейшим повышением ее до 6 млн. квт.

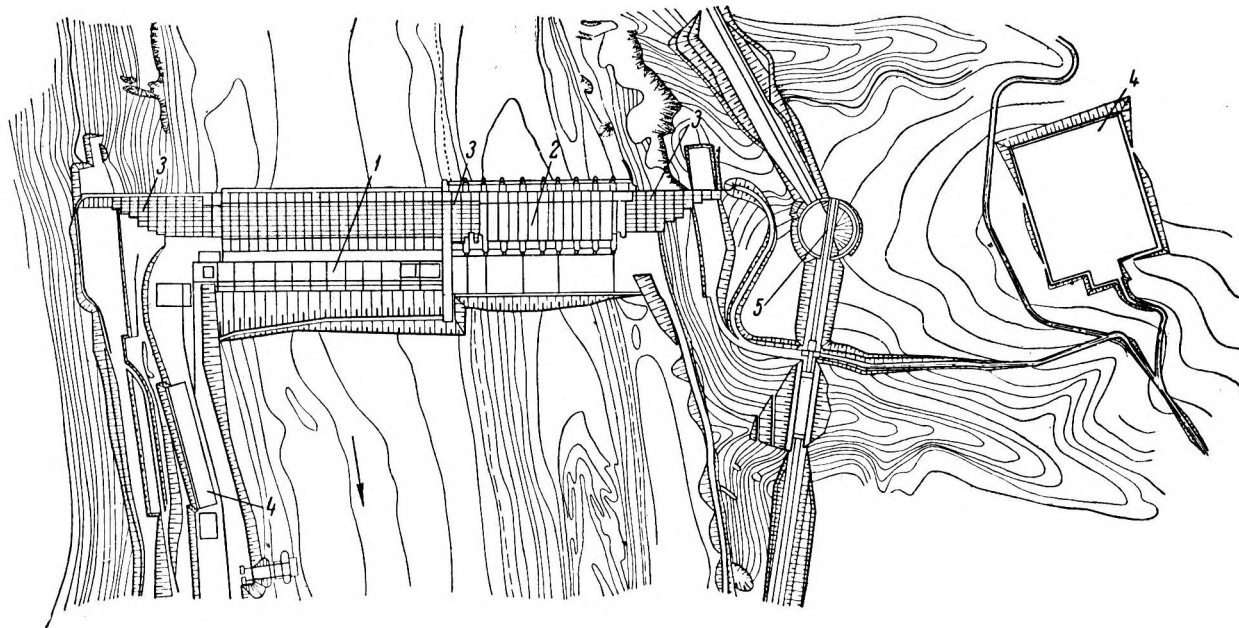
Гидроэлектростанция сооружается по приплотинной схеме. В месте выбранного створа долина реки имеет характер каньона шириной по урезу воды 750 м с крутыми скалистыми берегами, подымающимися на правом берегу на 300—350 м, а на левом — на высоту около 100 м над уровнем воды.

Основным напорным сооружением гидроузла будет бетонная плотина длиной 1045 м и максимальной строительной высотой 120 м. Она создает водохранилище емкостью 73,3 млрд. м<sup>3</sup>; что равно 83% среднегодового стока реки. Из этой емкости будут полезно использоваться 30,4 млрд. м<sup>3</sup> заключенных в пределах призмы сработки высотой 18 м. Подпор, создаваемый плотиной Красноярской ГЭС, распространяется вверх, достигая района г. Абакана.

Дно реки и береговые склоны в створе плотины сложены прочными трещиноватыми гранитами, включающими отдельные жилы порфиринов и тектоническую зону, пересекающую створ под углом 25—30°, представляющую собой сдвиг по плоскости, близкой к вертикальной. Сдвиг этот сопровождается брекчированием и милонитизацией жильных порфиринов, реже — гранитов. Мощность прослоев милонитизированных пород в пределах сооружения переменная: от 0 до 2,5 м. Ближайшие к тектонической зоне участки породы имеют повышенную трещиноватость.

Средний многолетний расход в створе плотины равен 2 800 м<sup>3</sup>/сек, зимой расходы составляют 500—300 м<sup>3</sup>/сек; максимальный наблюдаемый расход весеннего паводка достигал 29 800 м<sup>3</sup>/сек. Климат района строительства резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха — 0,4° С. Максимальная и минимальная наблюдаемые температуры составляют + 37° С (в июле) и —54°С (в январе). Безморозных дней в году бывает в среднем 112. Дней с температурой ниже —20° С в среднем в году 45. Вскрытие и замерзание реки сопровождаются тяжелыми заторами и зажорами, вызывающими подъем уровня воды до 5,0 м.

Выбор типа плотины Красноярской ГЭС произведен в результате сопоставления ряда вариантов гидроузла с бетонными и каменнонабросными плотинами. В процессе работы над проектом был рассмотрен ряд вариантов плотин, в том числе плотина массивно-контрфорсного типа и массивная плотина с полостями, предназначенными для снижения фильтрационного давления на подошву сооружения. Учитывая опыт возведения других сибирских гидроузлов и особенности строительства Братской ГЭС, был принят последний тип. По осуществляемому в настоящее время проекту плотина и низовой с уклоном 1:0,8. Деформационные швы располагаются через 15 м. В нижней части предусмотрены разгрузочные полости шириной 4—6 м, позволяющие снизить величину фильтрационного давления и способствующие отводу фильтрационных вод в нижний бьеф. Плотина имеет цементационную



План.

1 — здание ГЭС; 2—водосливная часть плотины; 3 — глухая часть плотины; 4 — ОРУ 500 и 220 кВ; 5 — судоподъемник.

завесу на глубину до 60 м и трубчатый дренаж, располагающийся в 5—7 м от верховой грани. Дренаж в виде скважин продолжен в скальное основание на глубину 30—40 м. Коэффициент запаса плотины на сдвиг составляет 1,4 при учете коэффициента трения 0,7 и сцепления 30 г/м<sup>2</sup>. Напряжения в основании плотины у -напорной грани с учетом противодействия составляют 1—2 кг/см<sup>2</sup>; главные напряжения в теле плотины вблизи низовой грани достигают 48 кг/см<sup>2</sup>.

Приняты конструктивные меры для уменьшения вредного влияния зоны, нарушенной тектоническими процессами, на напряженное состояние плотины: разрушенные породы, а также прилегающие к ним участки повышенной трещиноватости на ширине 10—15 м подлежат удалению -на глубину до 15 м и заменяются бетоном; сжимающие напряжения

у напорной грани в основании секций, попадающих в зону, несколько увеличены; предусмотрена площадная цементация пород, прилегающих к зоне.

По длине плотина разделяется на стационарную длиной 360 м, водосливную длиной 255 м и соединяющие их между собой и с берегами глухие плотины.

В верхней части профиля стационарной плотины располагаются водозаборные отверстия для 10 агрегатов ГЭС, вводимых в первую очередь, и для двух агрегатов второй очереди. Отверстия будут оборудованы плоскими скользящими затворами размерами в свету 8X12 м с гидropодъемниками; предусмотрены пазы для установки ремонтных заграждений. Перед отверстиями на всей длине фронта стационарной плотины будут расположены решетки.

Напорные трубопроводы диаметром 7,5 м разместятся в теле плотины у ее низовой грани. Каждые два трубопровода перед зданием ГЭС объединятся в один с помощью тройника для присоединения к спиральной камере турбины.

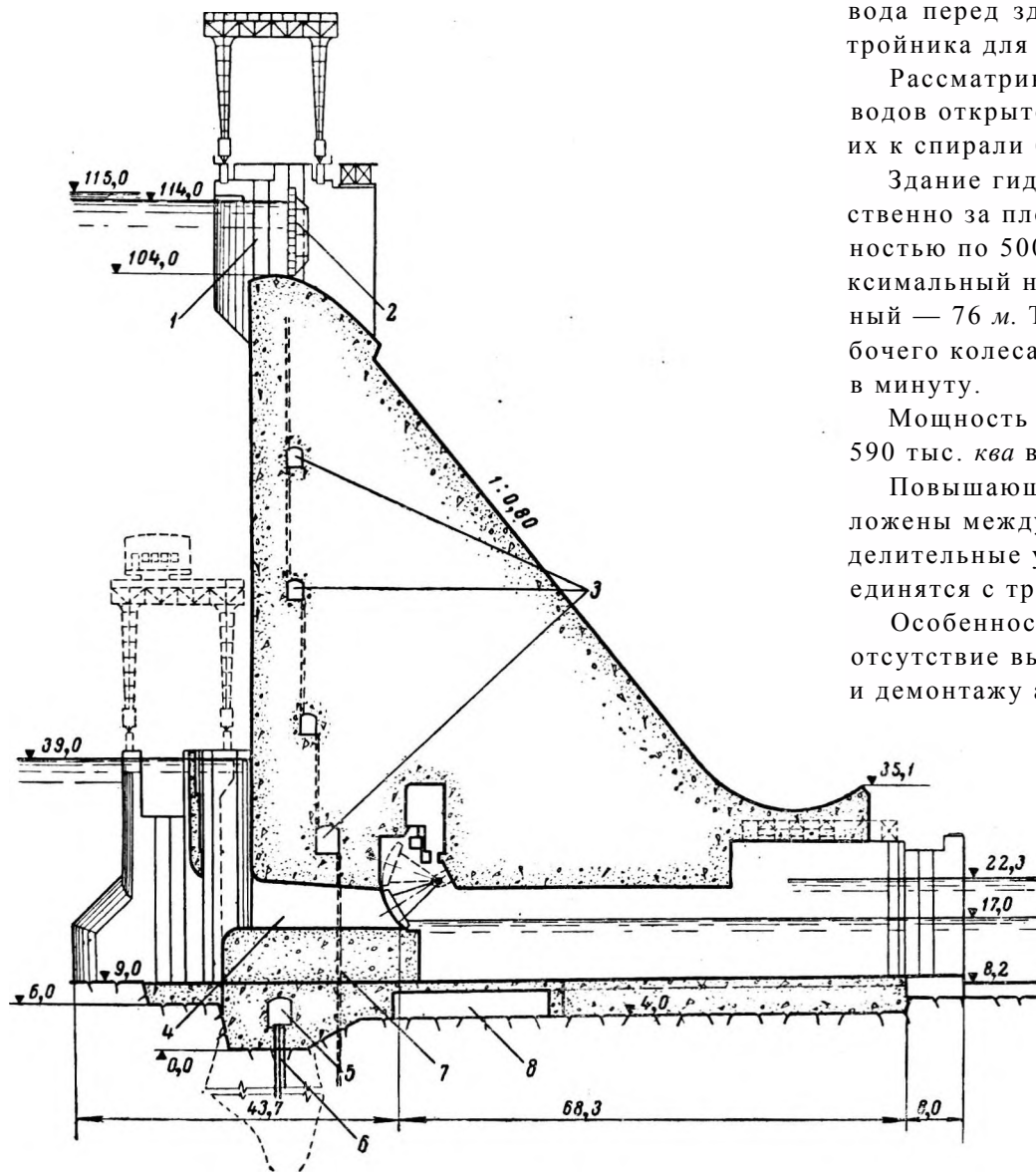
Рассматривается также вариант размещения трубопроводов открыто на низовой грани плотины и присоединения их к спирали без устройства тройника.

Здание гидроэлектростанции будет расположено непосредственно за плотиной. В нем разместятся 10 агрегатов мощностью по 500 тыс. квт каждый при расчетном напоре 95 м. Максимальный напор гидроэлектростанции 101 м, минимальный — 76 м. Турбины радиально-осевого типа с диаметром рабочего колеса 7,5 м будут работать при числе оборотов 93,8 в минуту.

Мощность гидрогенераторов зонтичного типа составит 590 тыс. квв в единице.

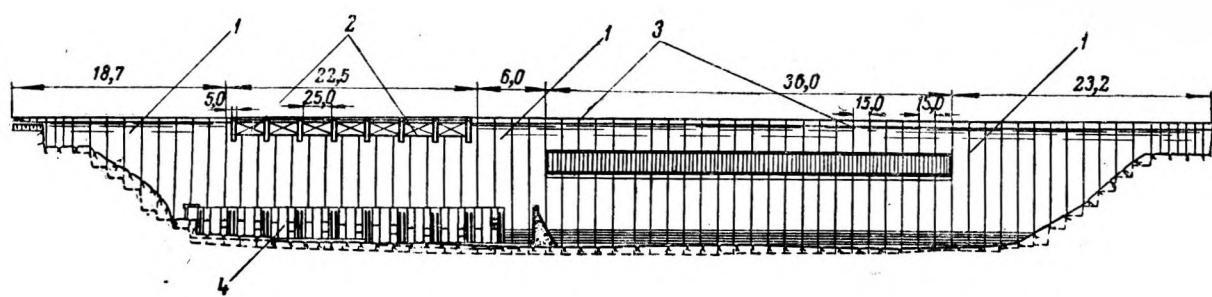
Повышающие трансформаторы 220 и 500 кв будут расположены между плотиной и зданием ГЭС. Открытые распределительные устройства разместятся на обоих берегах и соединятся с трансформаторами воздушными линиями.

Особенностью запроектированного здания ГЭС явится отсутствие высокого машинного зала. Операции по монтажу и демонтажу агрегатов будут осуществляться порталным



Водосливная часть плотины.

- 1 — паз ремонтного затвора; 2 — основной затвор; 3 — смотровые галереи; 4 — дно отверстие; 5 — цементационная галерея; 6 — скважины глубокой цементации; 7 — дренаж; 8 — разгрузочная полость (115,0 — ФПУ; 114,0 — НПУ).



Вид с верхнего бьефа.

1 — глухая часть плотины; 2 — водосливная часть плотины; 3 — станционная часть плотины; 4 — донные водосбросы.

краном грузоподъемностью 1 000 т, вынесенным за пределы генераторного помещения; размеры последнего всецело определяются условиями эксплуатации.

Водосливная плотина размещена в левобережной части русла. На гребне плотины предусмотрены семь водосливных отверстий с пролетами по 25 м в свету. Пропускная способность отверстий при НПУ составит  $12000 \text{ м}^3/\text{сек}$ , что с учетом аккумуляции в водохранилище и работы гидроэлектростанции обеспечит пропуск паводка с расчетной повторяемостью 1 раз в 1 000 лет.

Сливающаяся с плотины вода будет отбрасываться водосливным носком в нижний бьеф на расстояние более 100 м, что обеспечит безопасность сооружений от подмыва. Над водосливными пролетами разместятся мосты для кранов, обслуживающих затворы водозаборных и водосливных отверстий, а также служебный проезд.

На левом берегу за плотинной предусмотрено место для возведения наклонного судоподъемника, строительство которого будет начато в 1962 г.

Строительство русловой части плотины осуществляется с устройством перемычек первой и второй очередей.

На выполняемом в настоящее время первом этапе в огражденной перемычками левобережной части русла возводится нижняя часть профиля водосливной плотины в виде бычков с пролетами между ними по 21 м в свету. На после-

дующих этапах строительства через эту часть плотины будет осуществляться пропуск строительных расходов и льда.

Максимальный расчетный расход строительного периода повторяемостью 1 раз в 20 лет составит  $20\,400 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Особенностью конструкции плотины является отсутствие вертикальных строительных швов бетонирования. Укладка бетонной смеси будет производиться слоями по 1—1,5 м на всю длину секции (до 70 м).

С целью предупреждения температурно-усадочных трещин проектом намечены следующие мероприятия: применение низкотермичных цементов марки 400 с содержанием молотого шлака до 40—50%; снижение содержания цемента в основной массе бетона до  $160\text{—}170 \text{ кг}/\text{м}^3$  за счет применения жестких смесей с осадкой конуса не свыше 1—3 см и пластифицирующих и воздухововлекающих добавок; бетонирование в опалубке из массивных бетонных блоков; регулирование температуры укладываемого бетона в пределах  $5\text{—}7^\circ\text{C}$  путем охлаждения летом составляющих бетона, добавления льда в бетономешалки, устройства закрытых галерей для транспортеров с регулируемым температурным режимом; устройство шатров с искусственным климатом над бетонруемыми секциями.

При соблюдении указанных выше жестких требований к составу бетона и способам его укладки для части бетона,



укладываемого в жаркие летние месяцы, потребуется искус- отметках, оборудованный тремя бетономешалками произво- ственное грубое охлаждение. дительностью по 100 м<sup>3</sup>/ч.

Основную массу массивного бетона плотины объемом бо- Для обслуживания бетонных и монтажных работ устанавли- лее 2 млн. м<sup>3</sup> намечается уложить непрерывно-поточным спо- ваются четыре кабельных 25-т крана при пролете 1 100 м. собом ленточными транспортерами и малогабаритными буль- Максимальная месячная производительность укладки бе- дозерами; бетон в нижнюю часть водосливной плотины и тона составит около 120 тыс. м<sup>3</sup>. верхнюю часть профиля станционной и водосливной плотины Объемы работ по гидроузлу характеризуются сле- (водозаборы и бычки), а также в здании ГЭС должен укла- дующими данными: объем скальной выемки — 1,5 млн. м<sup>3</sup>, дываться порционно-бадьевым способом с помощью башен- земляные выемки и насыпи — 4,5 млн. м<sup>3</sup>, общий ных, экскаваторных и кабельных кранов. Приготовление бе- объем бетона по плотине — 3,8 млн. м<sup>3</sup>, а в целом по гидро- тонной смеси будет организовано на двух заводах непре- узлу — 4,5 млн. м<sup>3</sup>, в том числе сборных элементов — рывного действия. Бетонный завод № 1, вводимый в первую 300 тыс. м<sup>3</sup>, монтаж металлоконструкций — 39 тыс. т. очередь, располагается на низких отметках. Он оборудуется Общий срок строительства основных сооружений гидро- двумя бетономешалками производительностью по 120 м<sup>3</sup>/ч. узла 6 лет, в том числе бетонных работ по плотине — 4,5 года. Ввод первых агрегатов намечен на 1965 г. Этот завод будет выдавать бетонную смесь на транспорт пе- Электроэнергия Красноярской ГЭС будет подаваться в риодического действия для доставки на левый берег и для объединенную энергосистему Сибири и использоваться для здания ГЭС. Основную массу бетона для непрерывно-поточ- питания промышленных предприятий Красноярского про- ных линий будет выдавать бетонный завод № 2 на высоких мышленного района и близлежащих районов.

# ИРКУТСКАЯ ПЛОТИНА

Иркутская ГЭС является первой (верхней) ступенью каскада гидротехнических сооружений на р. Ангаре. Напорный фронт сооружений длиной 2 740 м образуется земляной насыпной плотиной общей длиной 2 500 м и зданием ГЭС 660 тыс. квт, совмещенным с водосбросами.

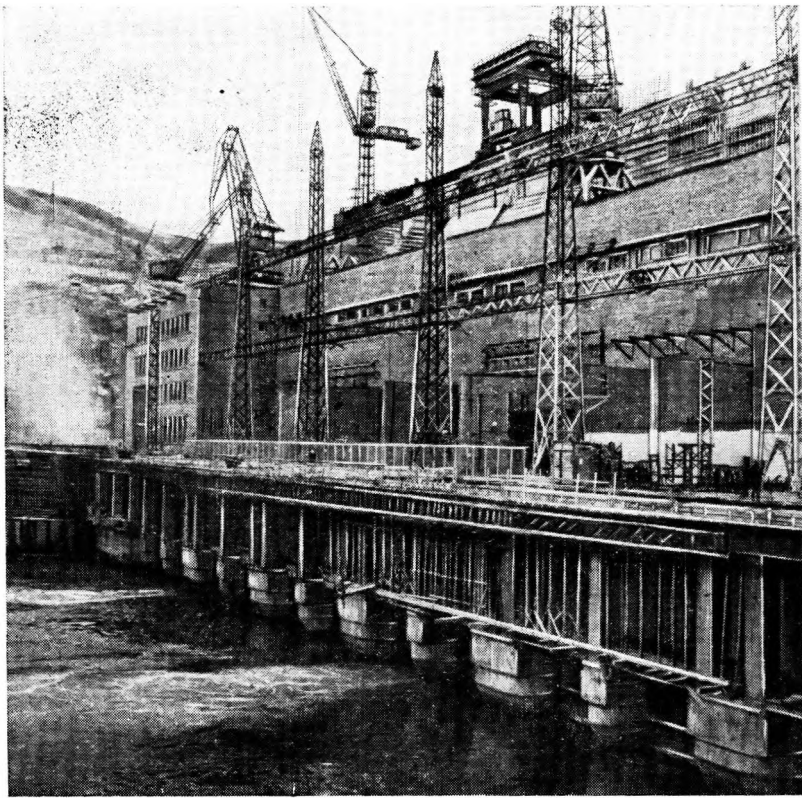
В русловой части створа залегают алевролиты и песчаники; в пределах пойменных участков коренные породы прикрыты гравийно-галечно-песчаными грунтами с включением валунов мощностью до 14 м. Сила землетрясений достигает VIII баллов. Континентальный климат характерен резкими колебаниями температуры, доходящей зимой до минус 50° С, а летом до плюс 35° С. Замерзание реки происходит с низовьев вверх против течения, что вызывает внезапные зажоры, сопровождающиеся повышением уровня воды до 5 м.

Наличие вблизи створа сооружений больших запасов песчано-гравелистого грунта, а также суглинистых грунтов предопределило выбор типа плотины — земляной с гравийно-галечными призмами и центральным ядром из суглинка. Плотина состоит из четырех характерных участков: левобережный (высота 38,5 м, длина 353 м), островной (высота 36 м, длина 915 м), русловой (высота 44 м, длина 492 м) и правобережный (высота 19 м, длина 742 м). Противофильтрационное суглинистое ядро имеет ширину у гребня 3 м, в сопряжении с основанием — 13 м.

Суглинистое ядро сопрягается с цементационной завесой противофильтрационным зубом из двух рядов металлического шпунта, прорезающего аллювиальные отложения до ко-

ренных пород. На левобережном участке плотины смыкание ядра с цементационной завесой выполнено бетонным зубом, прорезающим толщу аллювия. Заложения верхового и низового откосов, считая от гребня плотины к основанию, изменяются от 1 : 2,5 до 1 : 3. Дренаж плотины для островного и руслового участков выполнен наслонным из трехслойного фракционированного обратного фильтра, пригруженного каменной наброской. Для ликвидации суффозионных явлений от боковой фильтрации в береговых склонах ядро и зуб врезаются до 100 м, а обнажения аллювия в верхнем бьефе прикрываются суглинистыми экранами; в нижнем бьефе устроены наслонные фильтры. Крепление верхового откоса выполнено из армобетонных плит размером 10X10 м и толщиной от 0,3 до 0,6 м. По гребню плотины проходит шоссе и преду-

смотрена возможность прокладки железнодорожного пути. Гидротехнический узел имеет отличительную черту — здесь отсутствует водосливная плотина. В результате создания водохранилища с полезным объемом 46 млрд. м<sup>3</sup> и регулирования стока оз. Байкал расход р. Ангары в течение всего года стал почти равномерным, что позволило применить тип совмещенного здания ГЭС с размещением водосбросов между гидроагрегатами. Данное компоновочное решение позволило сократить объем бетона на 260 тыс. м<sup>3</sup> и снизить стоимость бетонных сооружений на 17%. Пропускная способность всех 16 водосбросных отверстий вместе с турбинами составляет 6000 м<sup>3</sup>/сек. Особенностью здания ГЭС является



Общий вид.

размещение аварийных быстродействующих затворов турбинглинков, которые укладывались как насухо, так и под воду. в диффузоре отсасывающих труб.

Плотина сооружалась способом насыпки грунта, исходя из возможности использования мощного экскаваторного оботиной длиной 2 228 м были пробурены 4 654 скважины на рудования и транспортных средств в условиях продолжительного периода с низкими температурами воздуха.

Строительство сооружений гидроузла осуществлено в две очереди. В первую очередь (1951 — 1956 гг.) были возведены в теле плотины, показывают, что кривая депрессии находится правобережная и островная части плотины и здание ГЭС; во ниже проектной; весь напор фактически гасится ядром и вторую очередь возводилась русловая плотина после пере-

крытия р. Ангары каменным банкетом. Русловая часть плотины для обеспечения пуска двух первых агрегатов (декабрь 1956 г.) возводилась в две стадии: вначале профиль плотины с верховой стороны был отсыпан до высоты 31 м с противофильтрационным суглинистым экраном, затем отсыпалась оставшая часть профиля с устройством суглинистого ядра. Общий объем насыпи плотин за период с июня 1951 г. по 1958 г. составил 9,7 млн. м<sup>3</sup>, из которых в зимний период было уложено 4 млн. м<sup>3</sup>.

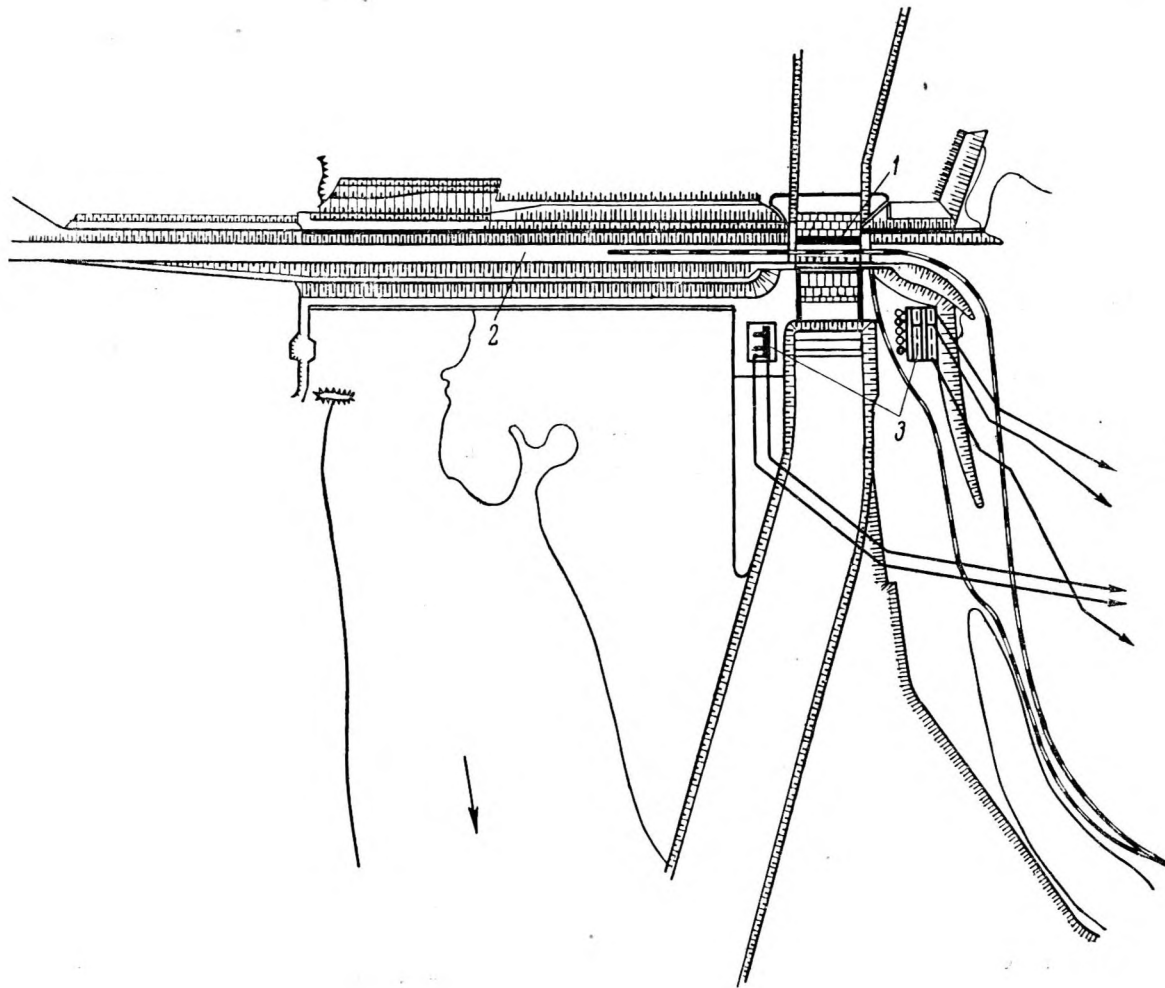
Укладка гравийно-галечного грунта производилась круглогодично, суглинистого ядра—только в летнее время. Гравийно-галечный грунт в карьерах разрабатывался шагающими и гусеничными экскаваторами с ковшами емкостью 10 м<sup>3</sup> при вылете стрел 40—75 м с погрузкой на 25-т самосвалы. В зимний период грунт транспортировался из отвалов (образованных в летний период) с отсыпкой слоями до 1,5 м. Уплотнение гравелисто-галечного грунта производилось многократной проходкой 25-т автосамосвалами в процессе транспортировки грунта. Были достигнуты следующие интенсивности укладки в зимний период: суточная—до 8 тыс. м<sup>3</sup>, месячная— до 240 тыс. м<sup>3</sup>.

Физико-механические свойства гравелисто-галечного грунта в теле плотины по данным геотехнического контроля: объемный вес 1,95—2,0 г/м<sup>3</sup>, влажность 3—8%, коэффициент фильтрации 5—80 м/сутки, угол внутреннего трения 35°.

Насыпь ядра производилась в периоды с положительными температурами воздуха с использованием делювиальных су- Общий объем уложенного суглинистого грунта 856 тыс. м<sup>3</sup>.

Для устройства противофильтрационной завесы под плотиной в скальных грунтах до 800 кг/м<sup>2</sup> (аллювиальные грунты).

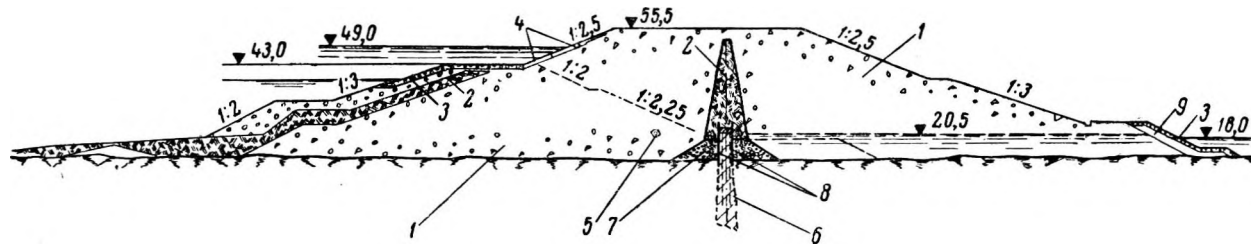
Данные по пьезометрическим скважинам, установленным в теле плотины, показывают, что кривая депрессии находится правобережная и островная части плотины и здание ГЭС; во ниже проектной; весь напор фактически гасится ядром и зубом плотины. В 1958 г. были пробурены в суглинистом ядре



План.

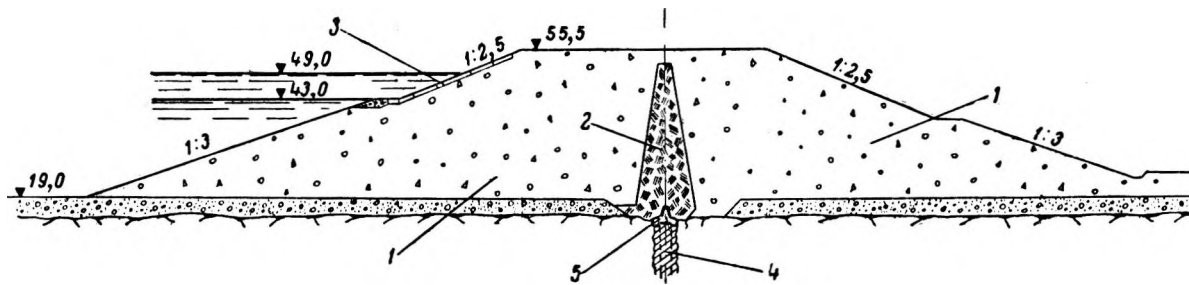
1— здание ГЭС совмещенного типа; 2— земляная плотина; 3 - ОРУ





Земляная русловая плотина,

1 — гравийно-галечный грунт; 2 — суглинок; 3 — каменная наброска; 4 — железобетонные плиты; 5 — трубчатый дренаж; 6 — противофильтрационная завеса; 7 — гравийная призма; 8 — металлический шпунт; 9 — наклонный дренаж.

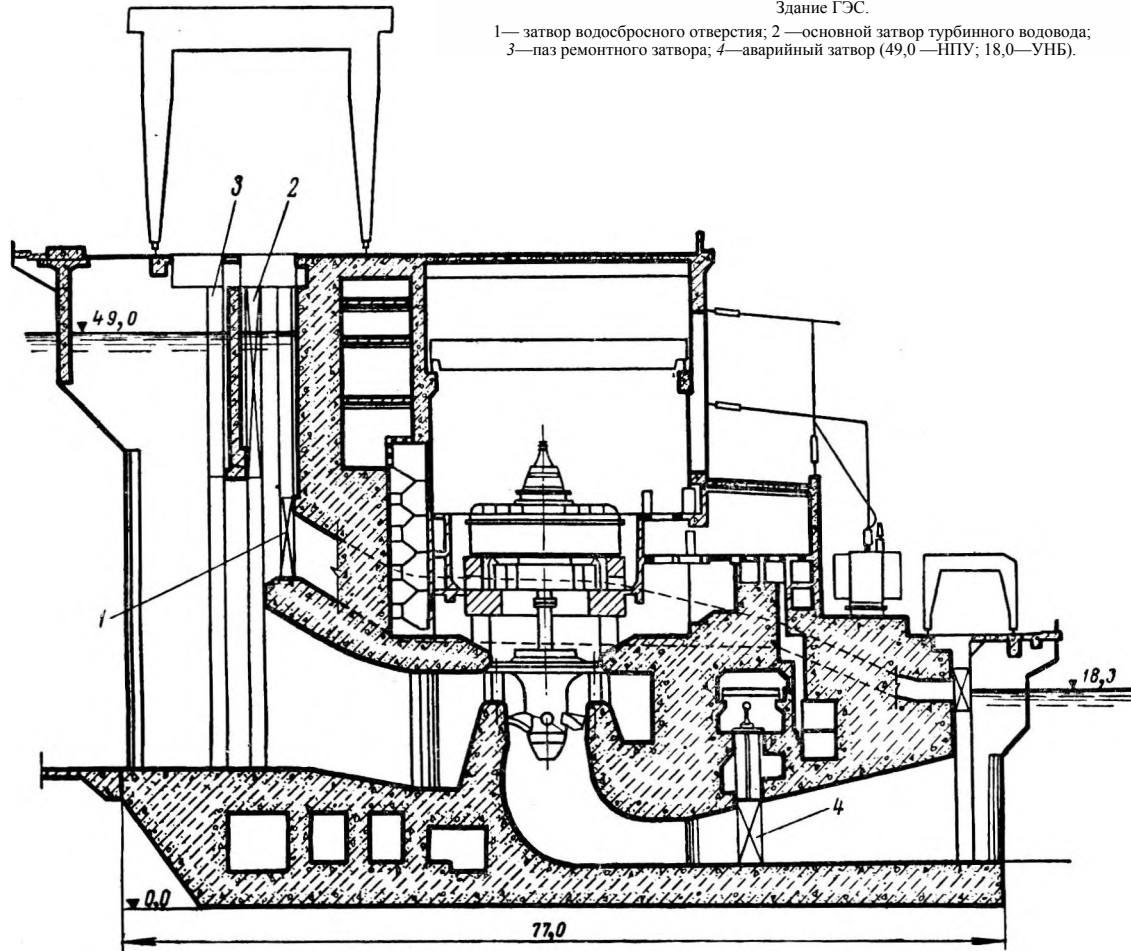


Земляная левобережная плотина

1 — гравийно-галечный грунт; 2 — суглинок; 3 — железобетонные плиты; 4 — противофильтрационная завеса; 5 — бетонный зуб.

Здание ГЭС.

1— затвор водосбросного отверстия; 2—основной затвор турбинного водовода;  
3—паз ремонтного затвора; 4—аварийный затвор (49,0 —НПУ; 18,0—УНБ).



скважины с взятием проб-кернов. Плотность суглинков составила  $1,56 \text{ г/м}^2$  при влажности 25%. Осадки основания плотины под действием веса тела плотины в зависимости от толщины аллювиальных отложений были в пределах 200—320 мм.

На бетонных работах при возведении здания ГЭС применялись 10-г портально-стреловые краны, передвигающиеся на

металлических эстакадах, установленных с верховой и низовой сторон сооружения, а также гусеничные краны и автосамосвалы. За период строительства были выполнены следующие объемы работ: выемка грунта — 5,7 млн.  $\text{м}^3$ , насыпь грунта — 12,4 млн.  $\text{м}^3$ , бетон и железобетон — 840 тыс.  $\text{м}^3$ , монтаж металлоконструкций и оборудования — 31 тыс. т.

## БРАТСКАЯ ПЛОТИНА

Крупнейшей гидроэлектростанцией на р. Ангаре является (длина 2 976 м). Полный объем водохранилища равен 179 млрд. м<sup>3</sup>, Братская ГЭС мощностью 4 500 Мвт при среднегодовой выработке 22,6 млрд. квт-ч.

Плотина Братской ГЭС сооружается в Падунском сужении реки, где берега почти отвесно возвышаются на 75—80 м над урезом воды. Общая длина напорного фронта гидроузла 5 140 м. Основным напорным сооружением является бетонная гравитационная плотина облегченного типа (длина по гребню 1 441 м, максимальная строительная высота 125 м). На береговых участках подпор создается земляными плотинами (левобережная длиной 723 м и правобережная длиной

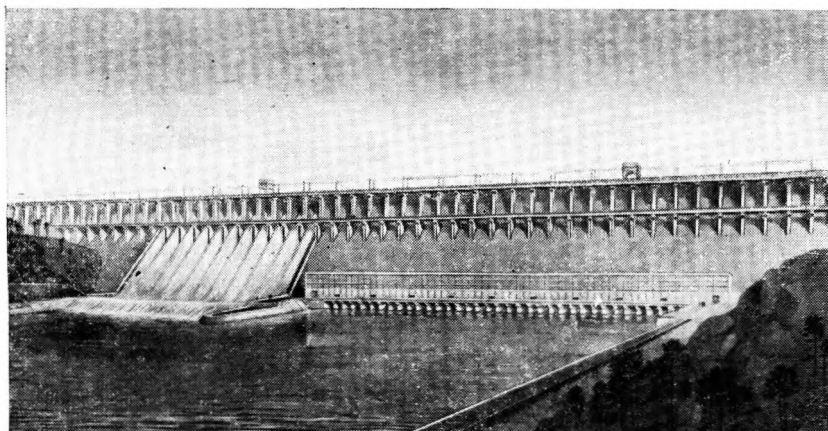
из которых при регулировании будут использоваться 50 млрд. м<sup>3</sup>, соответствующие сработке уровня на 10 м.

В створе плотины русло реки шириной около 900 м и оба берега сложены прочными изверженными скальными породами — диабазами. Выветрелая поверхностная зона скалы имеет мощность от 2 до 7 м.

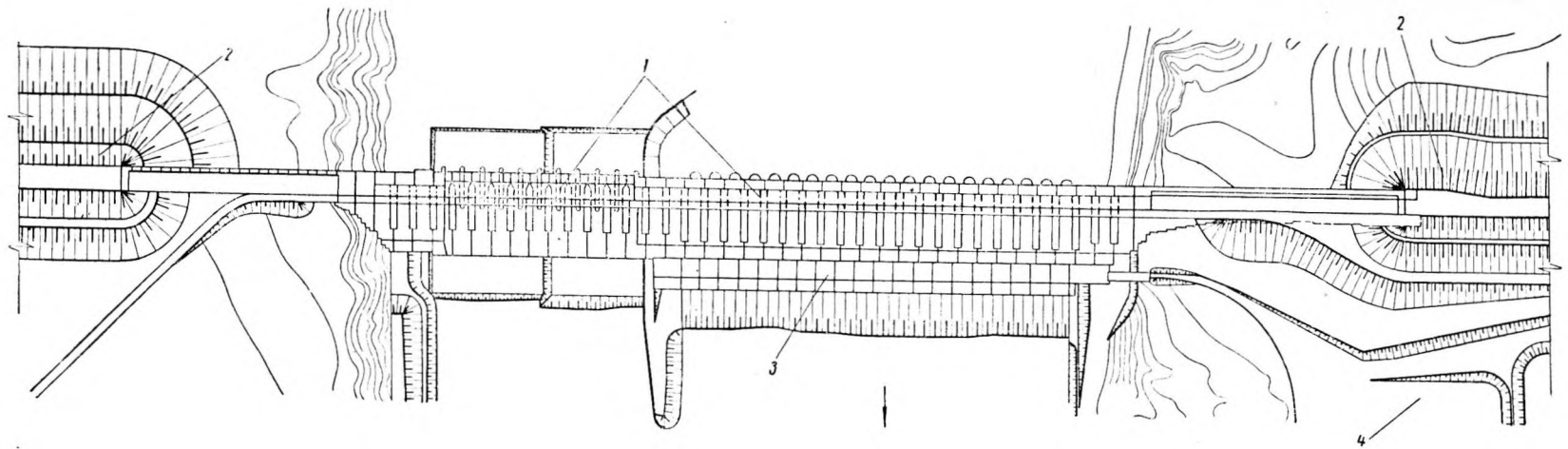
Особенностью водного режима р. Ангары является его равномерность благодаря регулируемому влиянию озера Байкал, из которого берет начало река. Среднегодовой сток р. Ангары в створе Братской ГЭС составляет 92 млрд. м<sup>3</sup>. Максимальные расходы реки характеризуются следующими величинами: расход повторяемостью 1 раз в 1000 лет — 17500 м<sup>3</sup>/сек, расход повторяемостью 1 раз в 20 лет (расчетный строительный) — 12 600 м<sup>3</sup>/сек.

Строительство плотины ведется в суровых климатических условиях: среднегодовая многолетняя температура равна минус 2,6°С, минимальная — 58°С, максимальная +35°С, продолжительность зимнего периода с температурой ниже минус 15°С — 6,5 мес. В естественных условиях на реке перед ледоставом образовывались мощные шуговые зажоры, а весной в период паводка — заторы льдов, сопровождающиеся поднятием уровня воды до 7 м.

Бетонная плотина состоит из следующих частей: станционной длиной 440 м, где расположены 20 водоприемных отверстий с напорными трубопроводами диаметром 7 м, водосливной длиной 242 м с 10 водосливными пролетами по 18 м



Общий вид.



План.

1 — бетонная плотина; 2 — земляные плотины; 3 — здание ГЭС; 4 — ОРУ 220 и 550 кв.

каждый, перекрываемыми сегментными затворами, воспринимающими напор 6 м, глухих общей длиной 759 м на участках сопряжения с право- и левобережными земляными плотинами, а также между станционной и водосливной частями русловой плотины.

Максимальная пропускная способность водосливных отверстий принята с учетом аккумуляции волны паводка в водохранилище и равна  $7\ 100\ м^3/сек$ . Общий объем бетона в русловой плотине 3 990 тыс.  $м^3$ , в береговых — 380 тыс.  $м^3$ .

Плотина треугольного профиля с вертикальной напорной гранью и низовой с уклоном 1 : 0,8 разрезана деформационными полыми швами на секции шириной по 22 м. Общее снижение объема бетона, достигаемое за счет частичного снятия фильтрационного давления на подошву сооружения, по сравнению с обычной гравитационной плотиной составляет 10%. Ширина швов в станционной, водосливной и глухих частях плотины 7 м. Тело плотины дренировано вертикальными каналами на расстоянии 7,5 м от напорной грани.

В основании русловой и левобережной бетонных плотин устроена противофильтрационная завеса максимальной глу-

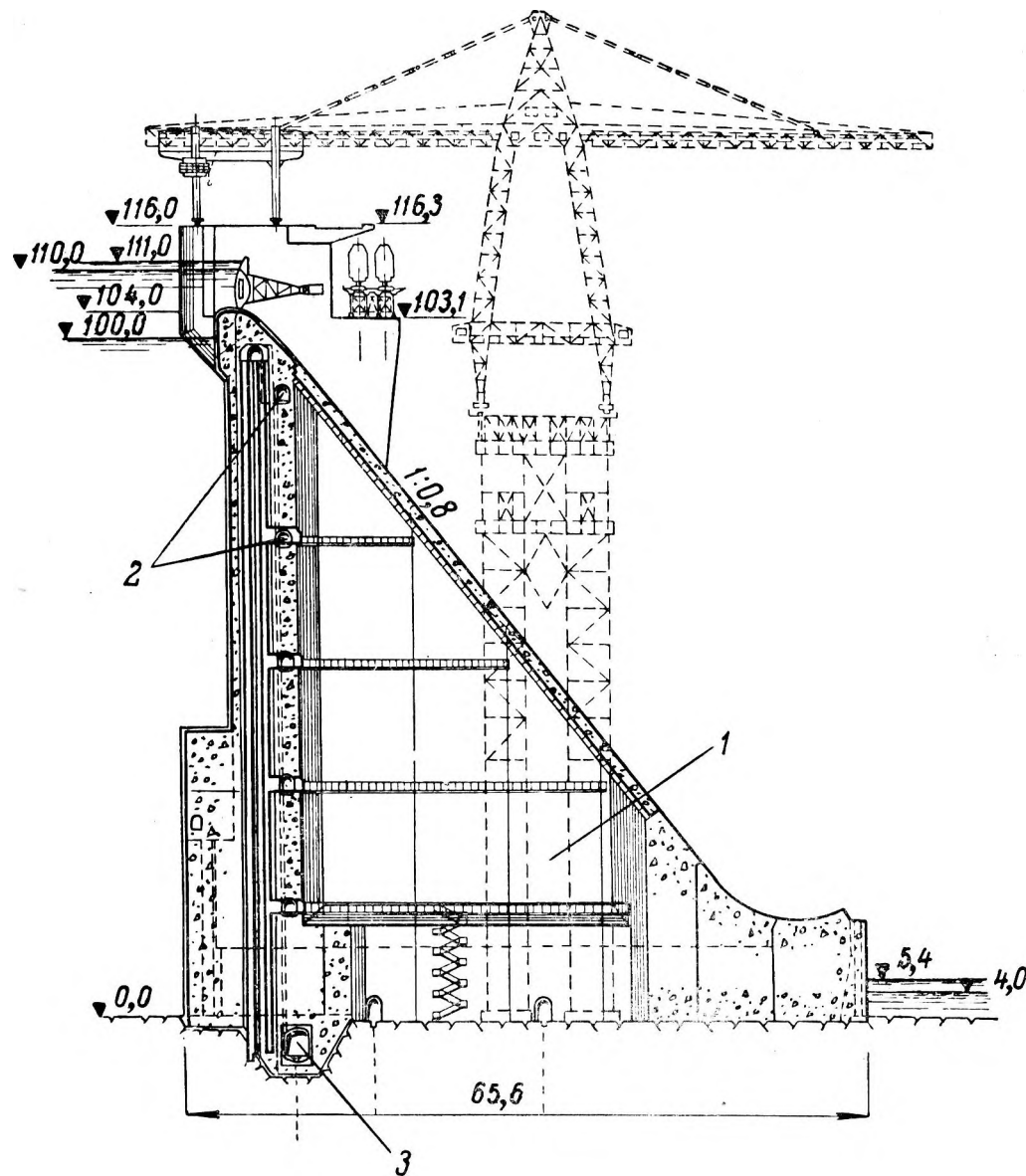
биной 79 м, образуемая из двух рядов цементационных скважин, пробуренных из цементационной галереи.

Основание за цементационной завесой дренируется дренажными скважинами, пробуренными из двух дренажных галерей на глубину 30 м. Коэффициент запаса на устойчивость плотины против сдвига в эксплуатационный период равен 1,06 при коэффициенте трения бетона по основанию 0,8 и без учета сцепления бетона со скалой. Главные сжимающие напряжения в бетоне тела плотины достигают  $33\ кГ/см^2$ .

В здании ГЭС приплотинного типа, расположенном в русле у левого берега, размещаются 20 агрегатов мощностью по 225 тыс. квт с радиально-осевыми турбинами диаметром 550 см. Повышающие трансформаторы располагаются между плотиной и зданием ГЭС. Открытые распределительные устройства на 220 и 500 кв расположены на левом берегу.

За подготовительный двухлетний период строительства (1955—1957 гг.) были выполнены: подъездные пути протяженностью около 100 км, линия электропередачи (ЛЭП) Иркутская ГЭС — Братск длиной 650 км с подстанциями, база строительной индустрии с заводами строительных материа-





Водосливная часть плотины.

1 полость деформационного шва; 2—смотровые галереи; 3—цементационные галереи.

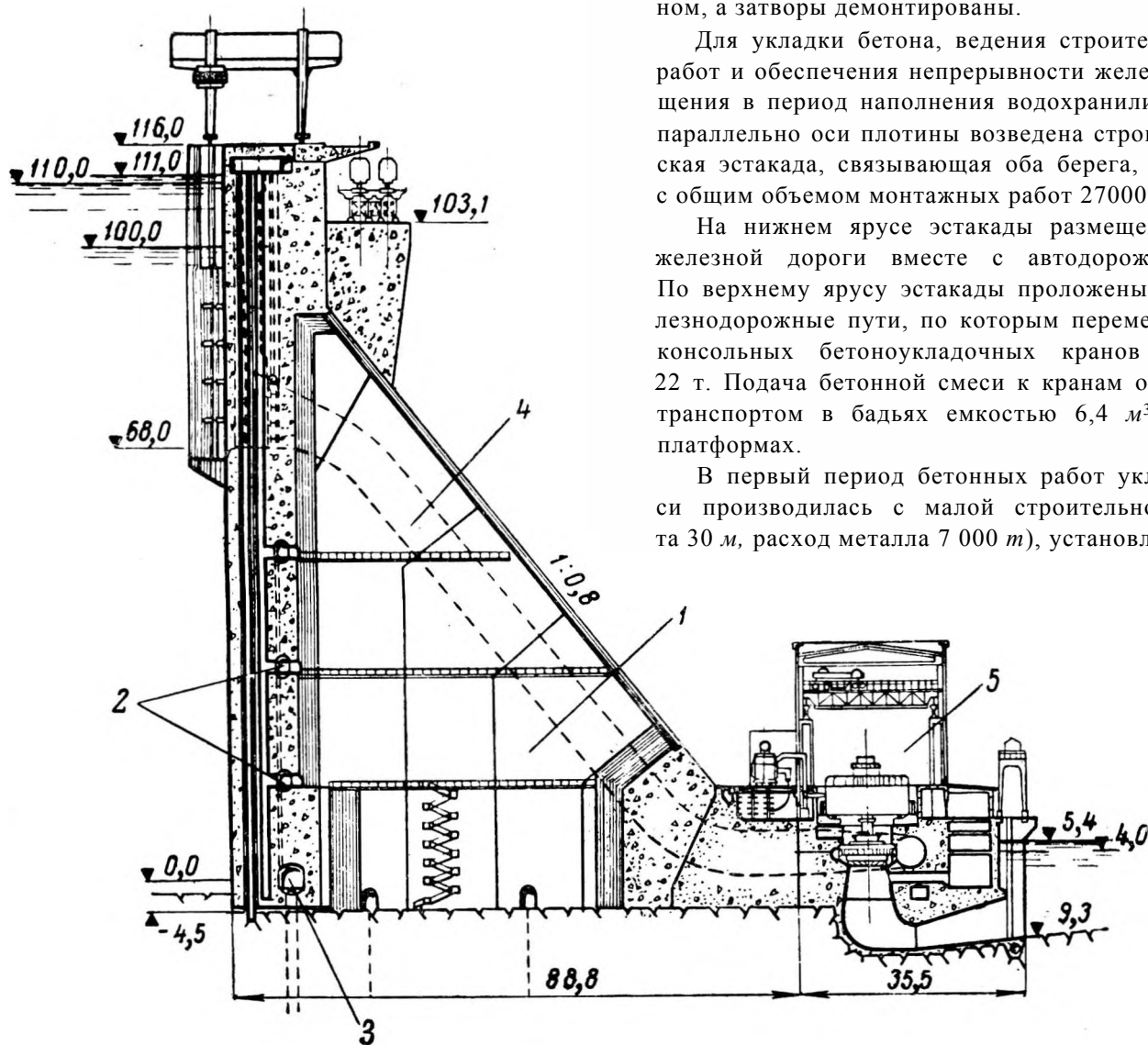
лов и ремонтно-механическими заводами, складское хозяйство, специализированные базы строительно-монтажных организаций, строительные поселки и внутрипостроечные транспортные пути общей длиной 550 км.

Строительство основных сооружений осуществлялось в две очереди за перемычками. В первую очередь возведена правобережная часть плотины, включающая водосливные секции и ряд блоков здания ГЭС. В этот период строительные расходы пропускались через стесненную левобережную часть русла реки шириной около 300 м.

Во вторую очередь возводилась левобережная часть плотины с остальной частью здания ГЭС. Пропуск строительных расходов осуществлялся через десять временных донных отверстий сечением 12X10 м каждое, оставленных в водосливной части плотины.

Наполнение водохранилища началось в начале сентября 1961 г., после закрытия донных отверстий плоскими затворами. Первый агрегат был введен в эксплуатацию в ноябре 1961 г. при промежуточном напоре 50 м, следующие три агрегата — в декабре 1961 г. В первом полугодии 1962 г. должны быть введены в эксплуатацию еще два агрегата.

Во время наполнения водохранилища попуски воды в нижний бьеф гидроузла, необходимые для обводнения реки и поддержания судоходства, помимо турбин, могут осуществляться через 10 глубинных отверстий сечением 3X7 м каждое. Эти отверстия оставлены в теле водосливной плотины над донными отверстиями. Регулирование расходов через них осуществляется плоскими затворами, установленными на выходе после ввода в эксплуатацию основной части



Станционная часть плотины.

1—полость деформационного шва; 2—смотровые галереи; 3—цементационные галереи; 4—турбинный водовод; 5—здание ГЭС.  
(111,0 —ФПУ; 110,0—НПУ; 100,0—УМО; 5,4 —макс. УНБ).

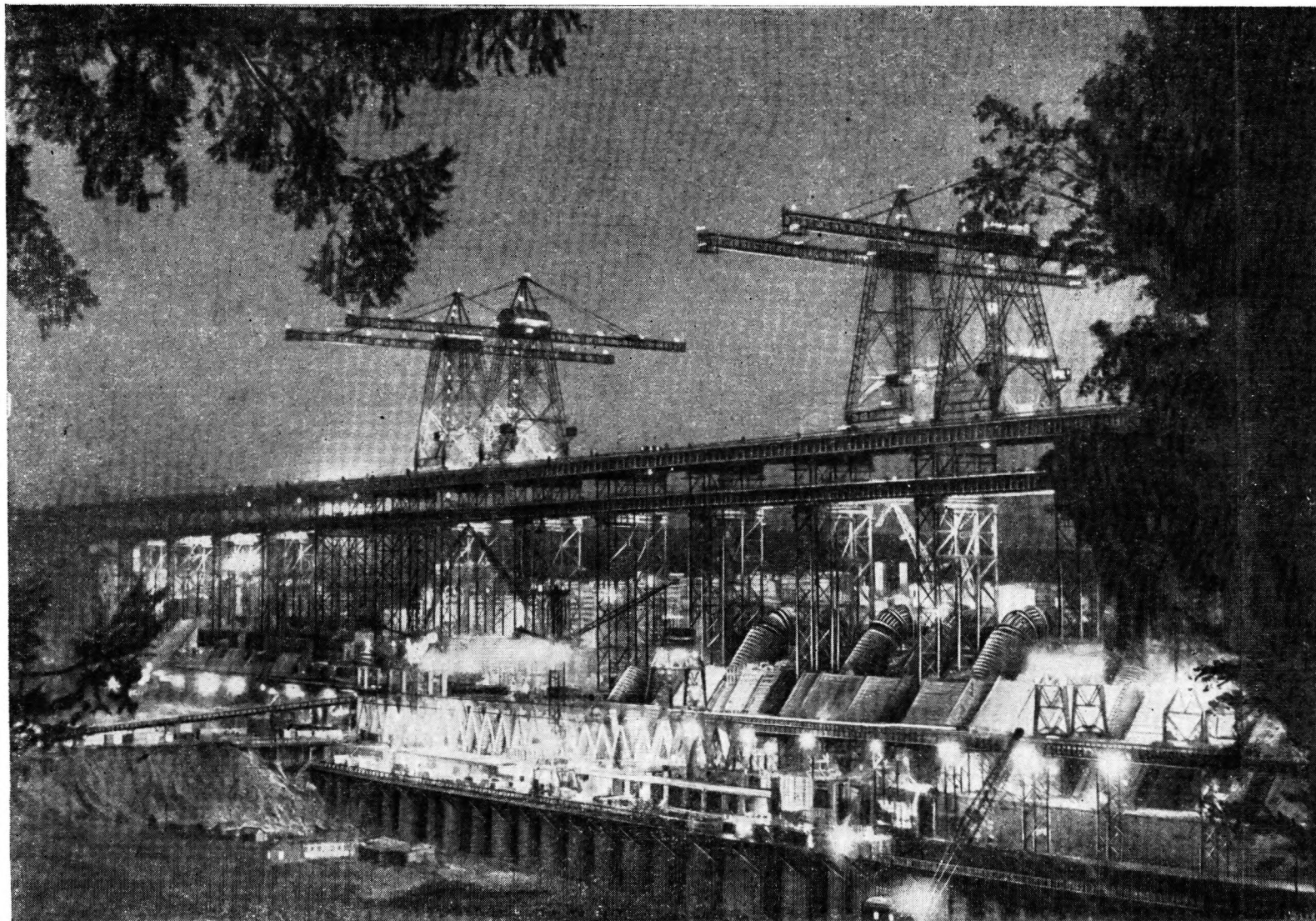
агрегатов ГЭС, глубинные отверстия будут заделаны бетоном, а затворы демонтированы.

Для укладки бетона, ведения строительных и монтажных работ и обеспечения непрерывности железнодорожного сообщения в период наполнения водохранилища Гайшет — Лена параллельно оси плотины возведена строительная металлическая эстакада, связывающая оба берега, высотой более 90 м с общим объемом монтажных работ 27000 т.

На нижнем ярусе эстакады размещен мостовой переход железной дороги вместе с автодорожным путепроводом. По верхнему ярусу эстакады проложены подкрановые и железнодорожные пути, по которым перемещаются шесть двухконсольных бетоноукладочных кранов грузоподъемностью 22 т. Подача бетонной смеси к кранам осуществляется автотранспортом в бадьях емкостью 6,4 м<sup>3</sup>, установленных на платформах.

В первый период бетонных работ укладка бетонной смеси производилась с малой строительной эстакады (высота 30 м, расход металла 7 000 т), установленной между низовой





Ночной снимок строительства.



гранью плотины и зданием ГЭС. В настоящее время малая эстакада используется для возведения здания ГЭС.

Бетонная смесь готовится на двух бетонных заводах: первый — трехсекционный по четыре бетономешалки емкостью по  $2,5 \text{ м}^3$  производительностью  $375 \text{ м}^3/\text{ч}$ , или  $135 \text{ тыс. м}^3$  в месяц; второй — односекционный на четыре бетономешалки емкостью по  $2,5 \text{ м}^3$  производительностью  $125 \text{ м}^3/\text{ч}$ , или  $45 \text{ тыс. м}^3$  в месяц. Склад цемента силосного типа вмещает  $16\,000 \text{ т}$  и состоит из восьми банок вместимостью по  $2\,000 \text{ т}$ .

Разрезка тела плотины на блоки бетонирования принята столбчатой с вертикальными усадочными швами, располагаемыми по длине секции через  $13,8 \text{ м}$ . После охлаждения бетонных массивов швы цементируются.

В теле плотины для наружных зон применяется бетон марки 200, для центральной части сооружения — бетон марки 100.

В блоки бетонирования высотой  $3,0 \text{ м}$  бетонная смесь укладывается слоями по  $50 \text{ см}$  с уплотнением пакетными вибраторами, прорабатывающими за час до  $120 \text{ м}^3$  бетона. Управление вибраторами осуществляется переносными 5-т башенными кранами, которые также используются на установке опалубки. Для опалубливания блоков применяются деревянные консольно-щитовая, металлическая и бетонные облицовочные блоки (весом  $5$  и  $7,5 \text{ т}$ ).

Максимальная интенсивность укладки бетонной смеси в летний период составила  $135 \text{ тыс. м}^3$  в месяц при интенсивности роста плотины по высоте до  $15 \text{ м/месяц}$ , в зимний период —  $86 \text{ тыс. м}^3$  в месяц.

Охлаждение бетона принято двухступенчатое, трубчатое при диаметре труб  $25 \text{ мм}$ . Холодоноситель на первой ступени — речная вода с температурой не выше  $+15^\circ \text{ С}$ , на второй — рассол с температурой  $-5^\circ \text{ С}$ .

В теле плотины устанавливается в  $10$  измерительных сечениях контрольно-измерительная аппаратура для наблюдения за смещениями тела плотины, температурным режимом, деформациями и напряженным состоянием бетона, давлением сооружения на основание и фильтрацией.

По всем сооружениям гидроэнергетического узла предстоит выполнить следующие объемы работ: выемка мягкого и скального грунта —  $3,4 \text{ млн. м}^3$ , насыпь и каменная наброска —  $9,6 \text{ млн. м}^3$ , бетон и железобетон —  $4,8 \text{ млн. м}^3$ , монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования —  $79 \text{ тыс. т}$ .

Основное назначение Братской ГЭС — энергетическое и транспортное. В начальный период электроэнергия будет поступать на существующие и создаваемые промышленные районы Восточной Сибири. В дальнейшем Братская ГЭС будет включена в Единую энергетическую систему Советского Союза.



# МАМАКАНСКАЯ ПЛОТИНА

Мамаканская ГЭС строится на р. Мамакан, впадающей в р. Витим. Гидроузел располагается вблизи устья в наиболее узкой части долины.

Климат района резко континентальный с продолжительной, сухой и суровой зимой и теплым с обильными осадками летом. Многолетняя амплитуда колебаний температуры воздуха равна  $97^{\circ}\text{C}$  (от  $-60^{\circ}\text{C}$  в январе до  $+37^{\circ}\text{C}$  в июле).

Ледовый режим реки в бытовых условиях отличается исключительно сложным и тяжелым характером. Установление ледостава на реке сопровождается зажорами и резким подъемом уровня. Максимальные расходы наблюдаются в июне—июле.

Грузы на строительство доставляются сначала по железной дороге до ст. Лена (порт Осетрово), где происходит переувалка на речные суда; далее грузы транспортируются водным путем по рр. Лене и Витим на расстояние 100 км до пос. Мамакан. Навигационный период составляет в среднем 5 мес.

Участок расположения основных сооружений гидроузла сложен однообразной мощной толщей метаморфических сланцев, переслаивающихся с известняками. Район строительства относится к сейсмическому с балльностью VI—VII баллов. В расчетах сейсмичность принята семибалльной.

В состав сооружений гидроузла входят приплотинная гидроэлектростанция с отводящим каналом и бетонные водосливная и глухая плотины.

Площадь зеркала водохранилища при НПУ  $10,82\text{ км}^2$ , пол-

ный объем водохранилища  $197,3\text{ млн. м}^3$  и полезный  $05,5\text{ млн. м}^3$ .

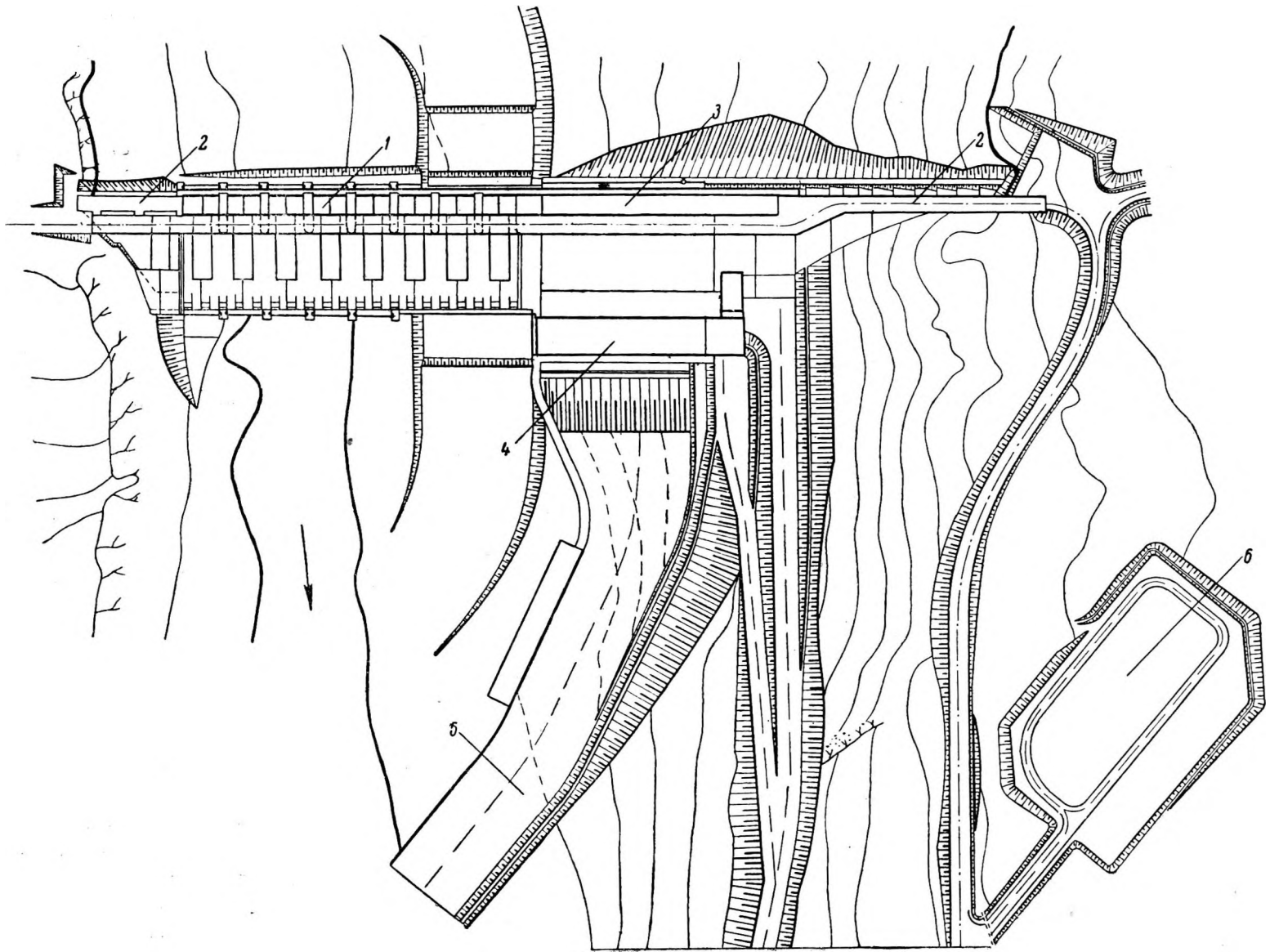
Напор создается бетонной плотиной общей длиной 345 м, состоящей из водосливной части, станционной части и береговой глухой части. Максимальная высота плотины 58 м. Плотина облегченного гравитационного типа с расширенными швами. Расстояние между осями швов 14,5—15 м. Ширина шва 6 м. Низовой части придан уклон 1:0,75, верховой — 1 : 0,05.

Водосливная часть плотины длиной 135 м состоит из восьми 12-метровых отверстий, разделенных бычками толщиной 3,0 м.

Отверстия плотины перекрываются сегментными затворами высотой 6,0 м. Маневрирование затворами осуществляется индивидуальными подъемными 60-т лебедками.

Сопряжение потока, сбрасываемого через плотину, с нижним бьефом осуществлено с помощью носка-трамплина. Расчетный максимальный расход повторяемостью 1 раз в 200 лет  $4\ 195\text{ м}^3/\text{сек}$  пропускается при форсированном подпорном уровне (ФПУ) при удельном расходе  $36\text{ м}^3/\text{сутки}$ .

Тело плотины дренируется одним рядом вертикальных дренах диаметром 200 мм, расположенных через 2,5 м, в основании плотины — одним рядом дренажных скважин диаметром 200 мм и глубиной 15 м. Кроме того, функции дренажа выполняют расширенные швы плотины и донная галерея. В основании всей плотины предусматривается устройство цементационной завесы глубиной 20 м.



План гидроузла.

1 — водосливная часть плотины; 2-глухая часть плотины; 3-станционная часть плотины; 4-здание ГЭС; 5-отводящий канал; 6 -ОРУ 110 кв.

Станционная часть плотины состоит из секции шириной по 14,5 м. Низовая и верховая грани имеют те же уклоны, что и на водосливной плотине. В ней размещаются напорные трубопроводы диаметром 4 м с расходом каждого 55 м<sup>3</sup>/сек. Входные отверстия водоприемника пере-

крываются аварийными и ремонтными затворами. Перед входными отверстиями устанавливаются сороудерживающие решетки. Аварийные затворы обслуживаются гидроподъемником грузоподъемностью 70 т, ремонтные затворы—козловым краном грузоподъемностью 2Х20 т.

Левобережная глухая плотина состоит из восьми секций высотой от 8 до 48 м, правобережная — из двух секций высотой от 7 до 48 м.

В тело плотины заложена контрольно-измерительная аппаратура для наблюдения за смещениями тела плотины, температурным режимом, деформациями и напряженным состоянием плотины.

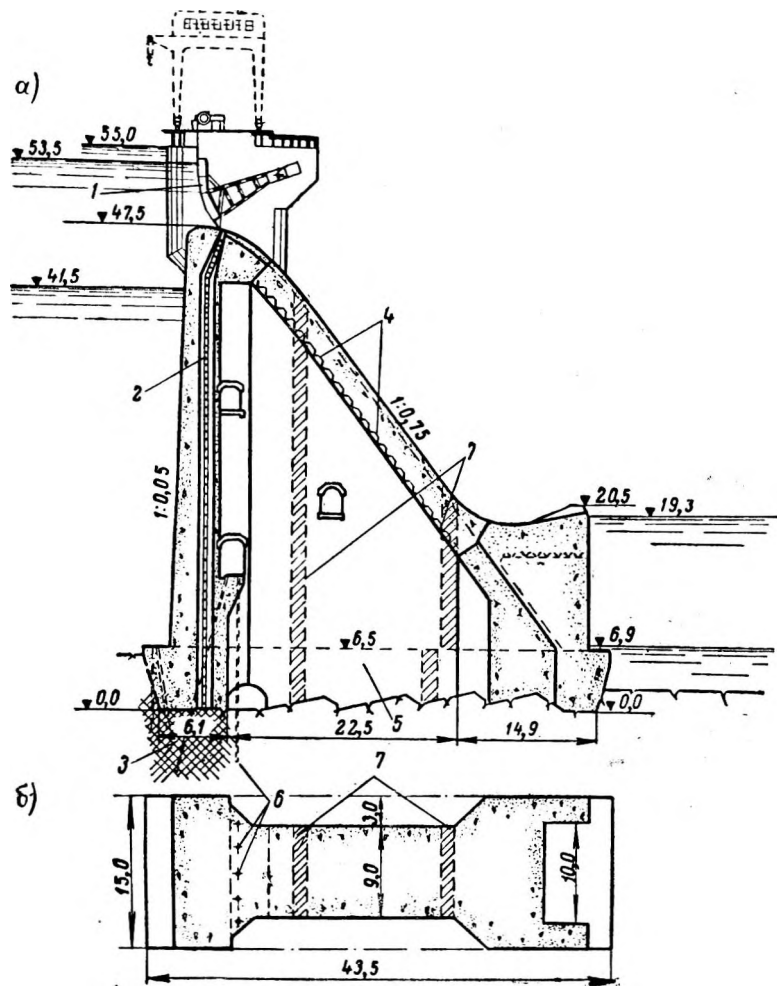
Экономия бетона при устройстве расширенных швов по сравнению с обычным гравитационным типом плотины составляет более 20%. При возведении плотины осуществлена столбчатая разбивка на блоки бетонирования с оставлением временных швов шириной 1,2 м. Эти замыкающие блоки бетонировались после остывания основных столбчатых массивов до температур ниже нуля с предварительным прогревом поверхности бетона.

Приняты следующие основные марки бетона: 200, 150 и 100 и их зональное расположение в теле плотины.

Коэффициент запаса на устойчивость водосливной плотины против сдвига по плоскости подошвы без учета сцепления бетона со скалой в нормальном эксплуатационном случае равен 1,085. Напряжение в основании верховой грани 1,78 кГ/см<sup>2</sup> (сжатие).

Здание ГЭС приплотинного типа расположено на левом берегу реки. Длина подводной части вместе с секцией монтажной площадки 75,77 м. Машинный зал закрытого типа со стороны нижнего бьефа защищен от затопления паводковыми водами массивной стенкой высотой 5,4 м.

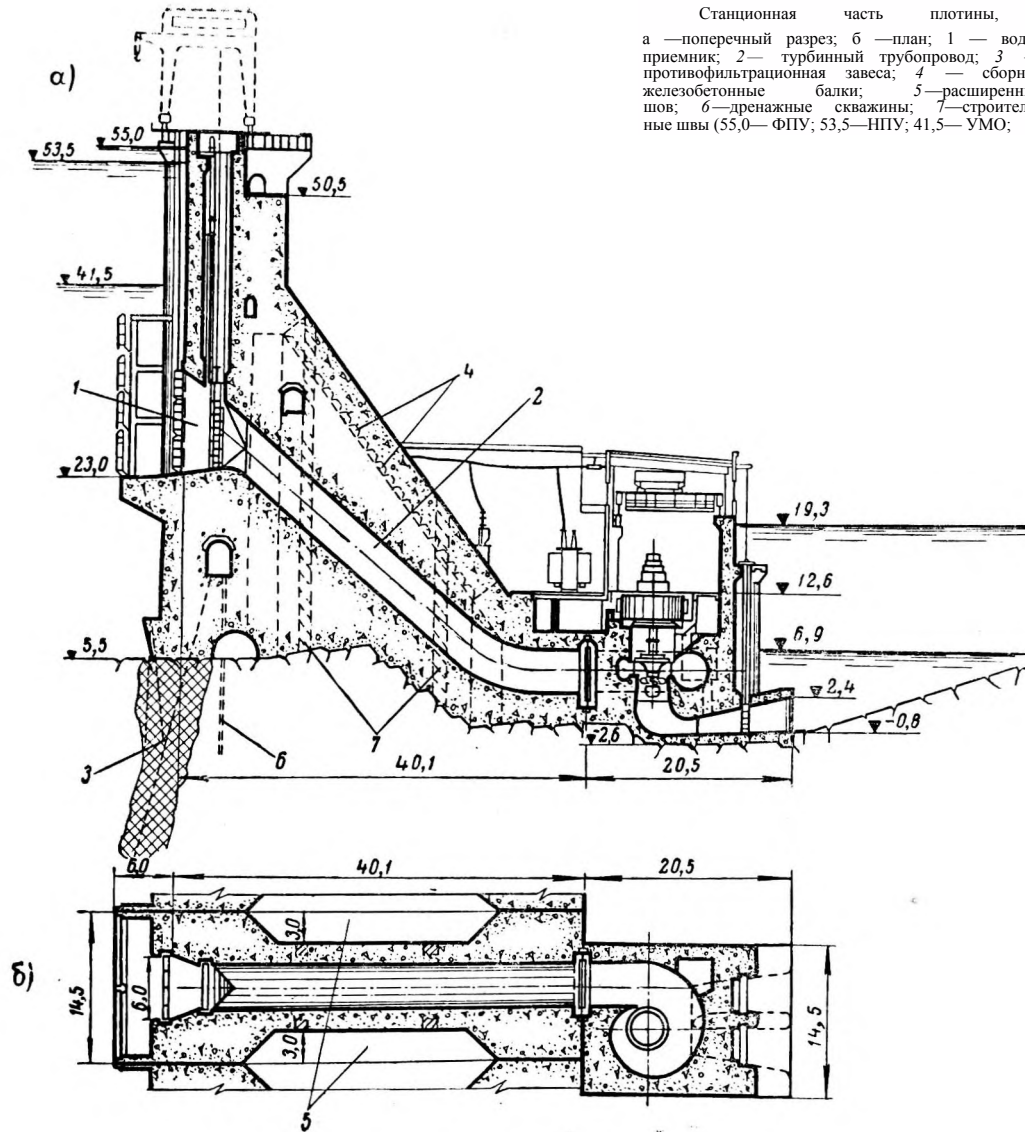
На ГЭС устанавливаются поворотлопастные турбины. Подача основного оборудования на монтажную площадку осуществляется автотранспортом через герметические ворота в стене со стороны нижнего бьефа. Машинный зал обслуживается мостовым электрическим краном пролетом 10 м гру-



Водосливная часть плотины,

а—поперечный разрез; б — план; 1 — основной затвор; 2 — уплотнение деформационного шва; 3 — противифльтрационная завеса; 4 — сборные железобетонные балки; 5 — расширенный шов; 6 — дренажные скважины; 7 — строительные швы.

Станционная часть плотины,  
 а — поперечный разрез; б — план; 1 — водо-  
 приемник; 2 — турбинный трубопровод; 3 —  
 противофильтрационная завеса; 4 — сборные  
 железобетонные балки; 5 — расширенный  
 шов; 6 — дренажные скважины; 7 — строи-  
 тельные швы (55,0 — ФПУ; 53,5 — НПУ; 41,5 — УМО);





зоподъемностью 100/20 т. Трансформаторы размещаются между плотин и зданием ГЭС на специальной площадке. Для размещения служебных помещений, лабораторий и мастерских предусмотрен специальный корпус, расположенный в пазухе между нижней гранью плотины и стенкой машинного зала на участке монтажной площадки.

Площадка ОРУ 110 кВ размещена со стороны нижнего бьефа.

Сооружения гидроузла возводились за перемычками. В первую очередь возводилась левобережная часть плотины и ГЭС, а во вторую очередь—сооружения, примыкающие к правому берегу.

На первом этапе строительства производилась отсыпка вспомогательной земляной перемычки, под защитой которой в период зимней межени укладывался бетон в секцию № 16 плотины и строилась ряжевая перемычка первой очереди, при-мыкающая торцами к бетону секции № 16. В последующий период под защитой ряжевых перемычек первой очереди и секции № 16 производились работы по выемке котлованов и бетонированию левобережных секций.

Пропуск расходов на первом этапе осуществлялся через русло реки, стесненное в начальный период земляной перемычкой и в последующий период ряжевими перемычками первой очереди.

На втором этапе строительства после возведения бетона на левобережной части до незатопляемых отметок было выполнено перекрытие правобережной части русла каменной наброской с последующей отсыпкой земляной перемычки. Строительные расходы при этом пропускались через донные отверстия в возведенной части водосливной плотины.

Под защитой перемычки второй очереди в зимний период вобережных секций плотины временного порога, через кото-рый сбрасывались паводки 1960 и 1961 гг.

После прохода паводка 1961 г. к декабрю 1961 г. был уложен бетон, обеспечивающий возможность подъема горизонта воды до отметки на 20,5 м ниже НПУ.

6 декабря 1961 г. были закрыты донные отверстия и началось наполнение водохранилища.

На строительстве Мамаканской ГЭС холодный период продолжается 7 мес. В это время бетонирование производится с применением следующих мероприятий, обеспечивающих получение бетона необходимого качества: предохранение основания от промерзаний, установка утепленной опалубки и шатра, прогрев блока перед бетонированием, поддержание соответствующей температуры во время бетонирования, выдерживание бетона при положительной температуре до набора 50% проектной прочности и утепление транспортных средств.

Бетонная смесь укладывалась в блоки нижних ярусов сооружений автосамосвалами с инвентарных эстакад и частично гусеничным краном. В последующие ярусы бетонная смесь укладывалась кабель-краном грузоподъемностью 15 т и пролетом 405 м. Для подачи бетонной смеси кабель-краном применялись бабьи камского типа емкостью от 3 до 4,5 м<sup>3</sup>.

В августе 1961 г. был введен в эксплуатацию портално-стреловой кран грузоподъемностью 10 т с максимальным вылетом стрелы до 40 м.

Бетонирование массивных блоков производилось методом термоса, а при температурах наружного воздуха ниже 10° С — методом термоса с дополнительным электрообогревом.

Объемы работ по всем сооружениям гидроузла следующие: выемка мягкого и скального грунта — 261 тыс. м<sup>3</sup>, бетон железобетон — 238,6 тыс. м<sup>3</sup>, механизмы и оборудование — 4200 т.

В конце 1961 г. Мамаканская ГЭС выдала промышленный ток при промежуточном напоре 23,0 м.

# ВИЛЮЙСКАЯ ПЛОТИНА

Вилюйская гидроэлектростанция строится на р. Вилюй и предназначена для энергоснабжения алмазодобывающей промышленности Якутии.

Район строительства характеризуется суровыми климатическими условиями, для которых характерны малоснежная, без сильных ветров, но очень холодная зима и короткое жаркое лето. Зима продолжается 7 мес. с октября по апрель с устойчивыми низкими температурами воздуха до  $-60^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура воздуха  $-8^{\circ}\text{C}$ .

В бассейне р. Вилюя повсеместно распространена вечная мерзлота с температурами грунта на глубине 10—15 м от  $-5$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ . Талые породы наблюдаются только в пределах узкого русла р. Вилюя. В районе створа река протекает в узкой долине шириной в межень около 100 м, в половодье около 300 м. Внутригодовое распределение стока неравномерно: 81,5% его проходит в период весеннего паводка в мае—июле; зимний сток составляет всего 2,1%. Ледостав устанавливается в конце октября при средней толщине ледяного покрова более 1 м, достигая иногда 2,0 м; на некоторых участках река промерзает почти на всю глубину. Максимальный расход весеннего паводка повторяемостью 1 раз в 1000 лет составляет  $14\,000\text{ м}^3/\text{сек}$  и 1 раз в 10 лет —  $8\,500\text{ м}^3/\text{сек}$ . Расход летне-осеннего паводка равен  $2\,700\text{ м}^3/\text{сек}$ .

Основанием сооружений являются прочные скальные породы — диабазы, характеризующиеся пределом прочности в водонасыщенном состоянии  $2\,150\text{ кг/см}^2$ . Зона поверхности

го выветривания около 2—3 м. Четвертичные отложения мощностью 1—3 м представлены суглинистыми грунтами с различным содержанием щебня и дресвы диабазов. Глубина сезонного протаивания—до 2,5—3,0 м.

В состав сооружений гидроузла входят: каменнонабросная плотина, открытый береговой водосброс и здание гидроэлектростанции с короткими подводными напорными туннелями.

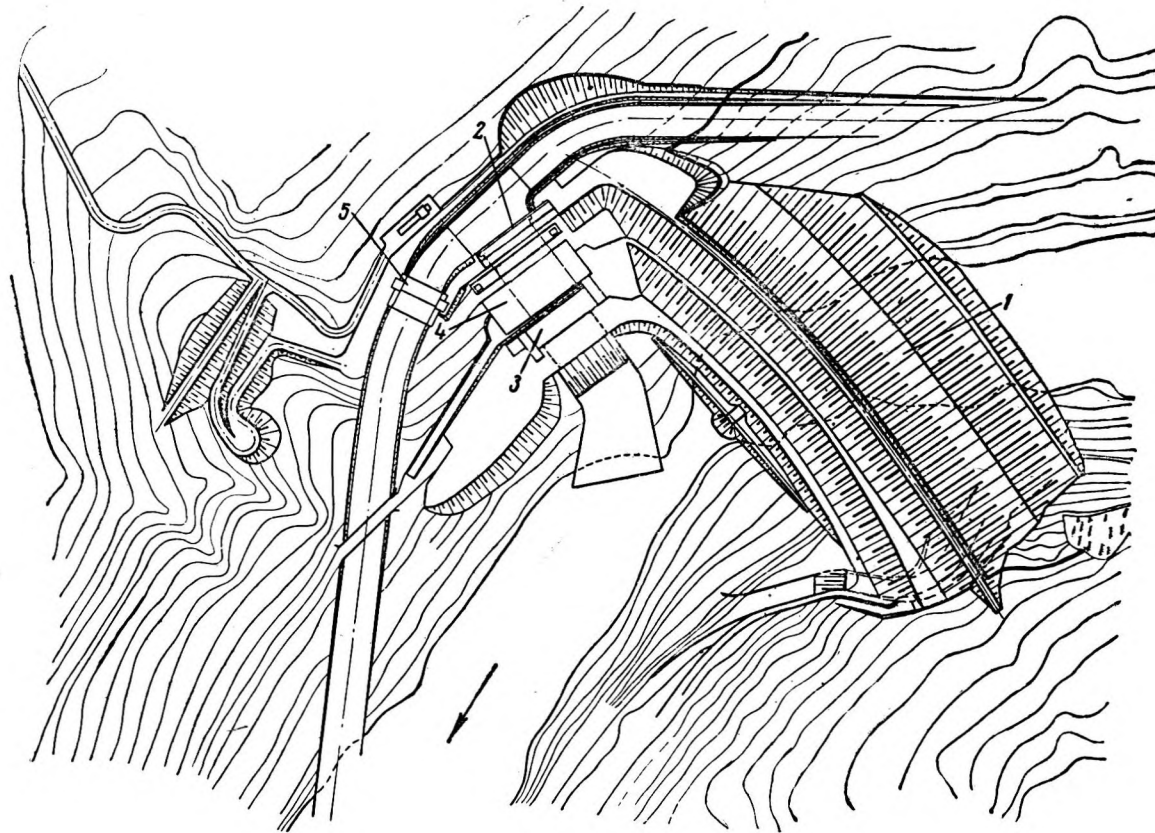
Каменнонабросная плотина длиной около 600 м, имеет максимальную высоту первой очереди 65 м с последующим наращиванием во вторую очередь на 9,5 м. Водосбросной камерой с однопролетным водосбросом шириной 40 м расположен в скальной выемке правого берега.

При принятых размерах водосброса паводок повторяемостью 1 раз в 1 000 лет пропускается с форсировкой уровня воды в водохранилище, чем и определялась отметка гребня плотины первой очереди. Водосбросное отверстие перекрывается сегментным затвором высотой 13 м.

Начальный участок водосбросного канала до водослива является одновременно подводным каналом ГЭС. Водоприемник ГЭС расположен в конце подводного канала в левобережном откосе его параллельно оси канала.

Здание ГЭС полуподземного типа размещается в траншейной выемке.

Конструкция плотины определена применением местных строительных материалов. В каменнонабросную часть плотины идет несортированный камень из полезной выемки водо-



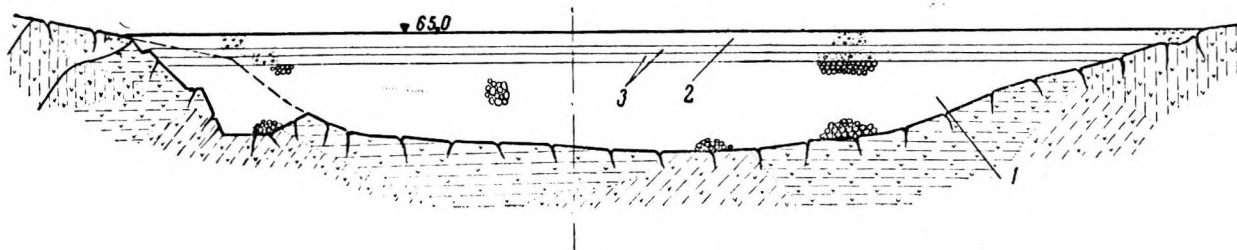
План.

1 — каменнонабросная плотина; 2—водоприемник; 3— здание ГЭС; 4— водосброс; 5—ЗРУ 220 кв.

сбросного канала, обладающий высокой прочностью и морозостойкостью. экран из щебенисто-древянных суглинистых грунтов, укладываемых по двухслойному обратному фильтру. Во

Объем основного профиля каменной наброски составляет избежание появления трещин в экране при осадке каменной ~ 1 800 тыс. м<sup>3</sup>, а вместе с банкетом и пригрузкой наброски плотине придана небольшая криволинейность в плане ~2 200 тыс. м<sup>3</sup>. Отсыпка камня ведется круглогодично с пионерной отсыпкой ярусами высотой 15—20 м без дополнительного уплотнения. Ожидаемая осадка плотины по высоте составит примерно от 3 до 5% высоты плотины. Противопольное устройство плотины запроектировано в виде на-

Карьеры грунтов для экрана расположены на обоих берегах в 1,5—3,0 км от створа, подлежащего укладке в экран. Средний гранулометрический состав грунта следующий: гли-



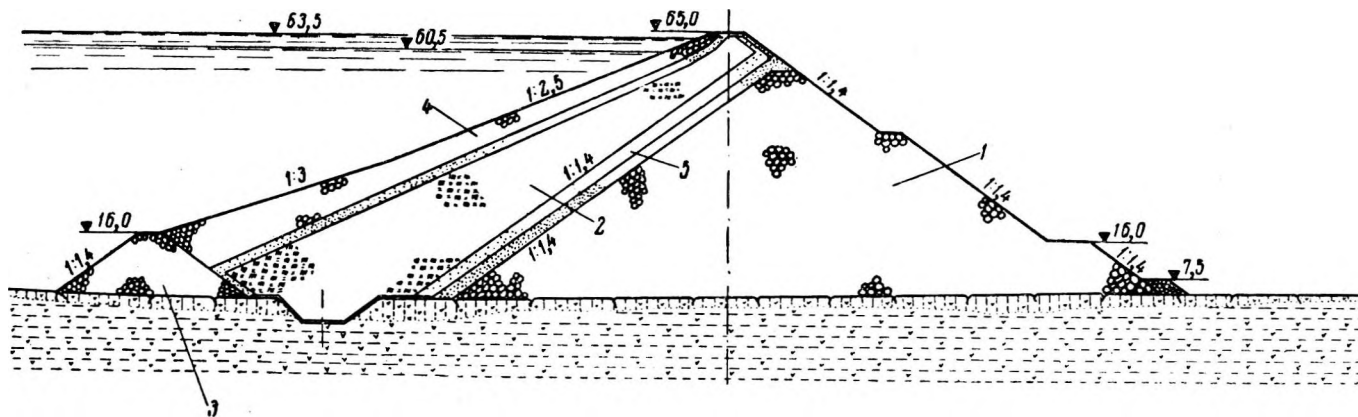
Каменнонабросная плотина. Продольный разрез.

1 — каменная наброска; 2 — экран из древяно-суглинистых грунтов; 3 — обратный фильтр.

на—16%, пыль—24%, песок—30%, гравии и щебень—30%. Расчетные характеристики: коэффициент трения — 0,45, сцепление— 0,10 кГ/см<sup>2</sup>, объемный вес скелета — 1,75 г/м<sup>3</sup>. шенной скалы. Диабазы в основании плотины имеют хорошую сохранность, и это позволило отказаться от сложных работ по цементации скалы, находящейся в мерзлом состоянии.

Укладка и уплотнение грунта экрана в объеме 700 тыс. м<sup>3</sup> производится насухо послойной отсыпкой самосвалами и ча-обеспечивает механизированную разработку траншеи. На стично отсыпкой в воду при глубине 4—5 м. Работы выпол- склонах берегов ширина по дну уменьшается до 2 м. Поверх- няются преимущественно в теплое время года и частично ность траншеи зуба на всем протяжении и по всей ширине весной и осенью со среднемесячными температурами воздуха экрана покрывается бетонной облицовкой толщиной 0,5 м. до —10° С. При этом грунт берется из заготовленных в теплоОблицовка армирована сеткой. Поверхности бетона придает- время буртов. ся дополнительная шероховатость для улучшения контакта

Сопряжение экрана с основанием выполняется в виде с грунтом экрана. траншейного зуба глубиной от 6 до 3 м до здоровой неразру- Обратный фильтр, на который укладывается экран, двух-



Каменнонабросная плотина. Поперечный разрез,

1 — каменная наброска; г — экран из древяно-суглинистых грунтов; 3 — каменным банкет; 4 — пригрузка камнем; 5 — обратный фильтр (03,5 — ФПУ; 60,5 — НПУ).



слоистый из щебня, получаемого на камнедробильном хозяй- сужению прорана до 70 м, необходимой для пропуска летне- стве строительства. Щебень для первого слоя фильтра от О осеннего паводка с допустимыми для каменной наброски ско- до 40 мм, а для второго слоя — до 150 мм. Толщина каждого ростями течения воды.

слоя фильтра 3,0 м выбрана по условию механизированной В ноябре 2-го года при расходах воды около 100 м<sup>3</sup>/сек укладке. Со стороны верхнего бьефа экран защищен пригрузнроизводится перекрытие русла реки верховым банкетом, а кой камня по слою песчано-гравийной смеси. расходы реки аккумулируются в верхнем бьефе. К паводку

Заложение верхового откоса плотины от 1 : 2,5 в верхней 2-го года заканчивается выемка водоотводной строительной части профиля до 1 : 3 в нижней. Конфигурация верхового траншеи, а каменнонабросная часть профиля плотины возво- откоса определена расчетом устойчивости его на сдвиг по дится на высоту 40,5 м и экран на высоту 18,0 м.

круглоцилиндрическим поверхностям. Откосы каменной на- Пропуск весеннего паводка 3-го года повторяемостью 1 раз в 10 лет 8 300 м<sup>3</sup>/сек осуществляется через водоотводную в траншеи и откос верхового бан- в 10 лет 8 300 м<sup>3</sup>/сек осуществляется через водоотводную строительную траншею при подъеме уровня воды в верхнем кета плотины приняты 1 : 1,4. бьефе на 19,5 м.

Строительство плотины намечается в такой последовательности. В летний период 3-го года ведутся работы по наращива-

Летом 1-го года ведутся работы по расчистке основания нию наброски, фильтров и экрана плотины. Грунт в экран под плотину и по выемке скалы в пределах строительной укладывается преимущественно насухо и частично в воду траншеи и правобережного водосбросного канала. В осенне- в огражденное пространство между банкетом и основным те- зимний период 1-го года на левом берегу отсыпается верхо- лом наброски. В ноябре 3-го года производится перекрытие вой банкет и основной профиль каменной наброски на высо- строительной траншеи верховым банкетом, под защитой кото- ту 20,0 м. Паводок 2-го года пропускается через стесненный рого ведутся работы по возведению плотины в пределах участка реки шириной 120 м. Зимой на левобережном участктраншеи. К паводку 4-го года завершается возведение пло- плотины производятся работы по выемке скалы под зуб экраны.

на и по бетонной облицовке траншеи зуба. Весной 2-го года Летом 4-го года намечается пуск двух агрегатов. Рабо- в зуб укладывается суглинистый грунт. Летом 2-го года ведуты начаты летом 1961 г.

ся работы по отсыпке грунта в экран в воду на левобережном Ввод Вилюйской ГЭС в эксплуатацию намечается в две участке, огражденном каменной наброской. Одновременно очереди: первая — при напоре около 50 м и вторая — при по- ведутся работы по возведению плотины с правого берега и вышении НПУ на 15 м.

# ИРЕЛЯХСКАЯ ПЛОТИНА

Для водоснабжения г. Мирного на р. Ирелях создается водохранилище емкостью 12 млн. м<sup>3</sup>. Плотина имеет максимальную высоту 20 м и длину по гребню 320 м.

Основанием плотины и ложа водохранилища служат вечные мерзлые породы, глубина которых доходит до 300 м.

Климат района строительства плотины суровый, резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха минус 8,2° С. Абсолютный минимум — минус 60° С, максимум плюс 35° С.

Под основанием плотины залегают четвертичные отложения (суглинки, пески, супеси и пески с галькой); льдистость этих пород достигает 60%. Мощность четвертичных отложений доходит до 10 м. Под ними залегают основные породы: мергели и мергелистые глины с прослойками доломитов, известняков и песчаников. Все грунты проморожены с содержанием льда до 10%.

Деятельный слой мерзлоты колеблется от 0,5 до 2,0 м в зависимости от пород и экспозиций.

На глубине ниже 10—12 м температура мерзлоты почти постоянна и сохраняется в пределах от минус 2 до минус 3°С.

Водный режим р. Ирелях характеризуется высоким, проходящим в течение месяца весенним половодьем, низкой летне-осенней меженью и ежегодным перемерзанием реки зимой.

Среднегодовой расход р. Ирелях 3,42 м<sup>3</sup>/сек. Максимальный расход 336 м<sup>3</sup>/сек повторяемостью 1 раз в 1 000 лет.

Учитывая геологическое строение основания под плотину

и наличие вблизи грунтовых карьеров, принят к строительству вариант земляной плотины из местных материалов. Устойчивость вечной мерзлоты в основании плотины, а также среднее

годовые температуры воздуха (—8,2° С) в районе строительства плотины обусловили принятие мерзлотного типа плотины.

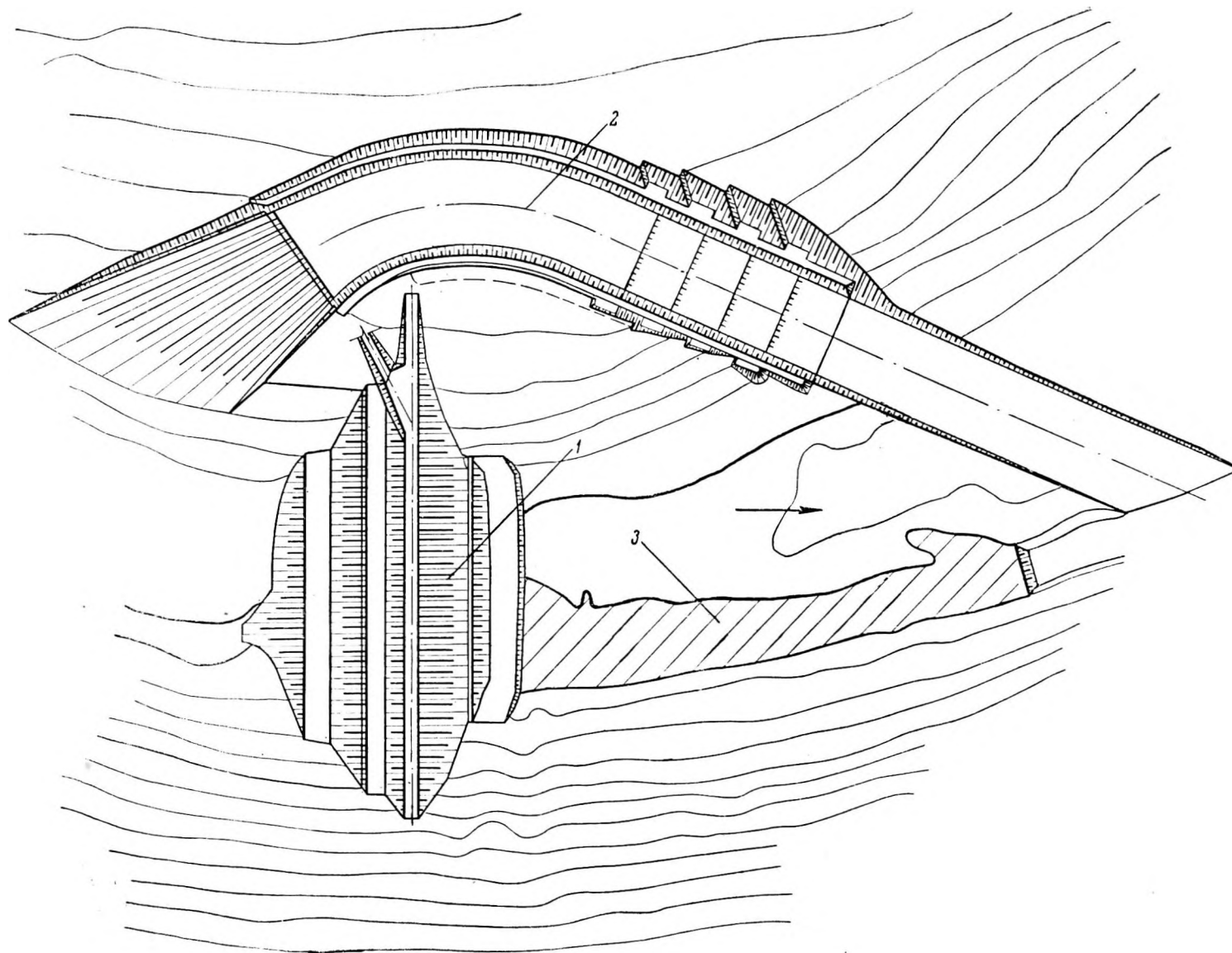
Основным требованием, которое должно быть предъявлено такой плотине, является недопущение проникновения в тело плотины и ее основание фильтрационного потока. Противоположным устройством плотины является мерзлотная завеса, располагаемая в центральной части плотины, которая создается искусственным замораживанием перед вводом плотины в эксплуатацию.

Сохранение мерзлоты в основании плотины достигается выполнением требований, предъявленных к строительству плотины, основным из которых является недопущение оттаивания сильно влажных грунтов основания во время производства работ.

Центральная часть плотины возводится из суглинков, взятых из полезных выемок при разработке котлована под водосброс, низовой и верховой клинья плотины — из песчаных грунтов из карьера, расположенного на расстоянии полукилометра от створа.

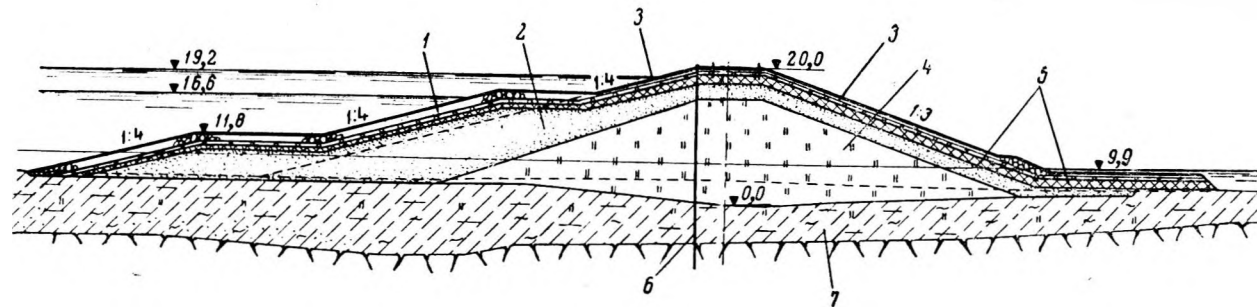
Откосы плотины: низовой принят 1 : 3; верховой значительно уположен за счет двух берм шириной 12 и 15 м. Упо-

лаживание верхового откоса предусматривается проектом для



План.

1— земляная плотина; 2— водосброс; 3— отвал суглинистого грунта водосбросного канала.



Земляная плотина.

1—каменная наброска по подготовке (щебень—0,5 м, мох с торфом—0,5 л); 2—мелкозернистый песок; 3—одиночное мощение по подготовке; 4—суглинок; 5—мерзлый грунт; 6—скважины мерзлотной завесы; 7—вечно мерзлый грунт.

создания запаса устойчивости его при возможных осадках верхового клина, связанных с оттаиванием основания под ним. Учитывая, что размораживание основания под верховым клином будет происходить весьма медленно: около 0,4 м в первый год и почти полное затухание в дальнейшем, опасаться за обрушение клина нет основания.

Водосбросным сооружением является канал на левом берегу шириной по дну 40 м с гашением энергии в конце канала — на лестничном перепаде.

Строительство плотины начинается в осенний период первого года с ограждения русловой части реки перемычками и отводом воды по лотку в нижний бьеф.

За перемычками производятся расчистка под основание плотины гравийно-песчаных грунтов в русле и засыпка русловой части суглинистыми грунтами. В течение зимнего периода грунты, уложенные в русловую часть, промораживаются с помощью устройства мерзлотной завесы, а также путем очистки снега с отсыпанной части плотины. В течение зимнего периода основание промораживается на возможно большую глубину путем постоянной уборки снега с него.

В марте—апреле промороженное основание плотины и возведенная в русле часть плотины засыпаются слоем мерзлого обезвоженного грунта высотой около 1 м с укаткой его катками. Этот слой из мерзлых грунтов насыпается в целях предохранения от размораживания основания плотины в период

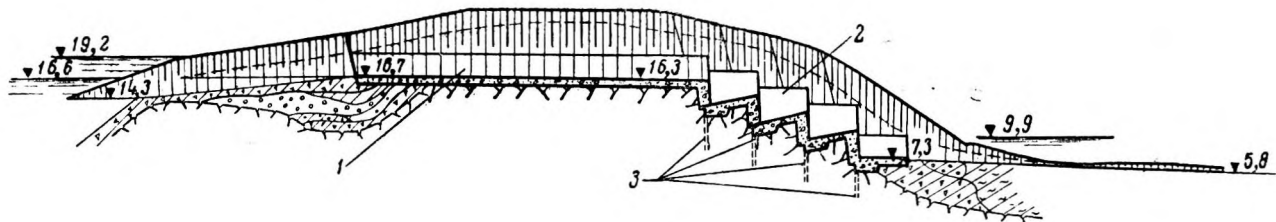
дохранения от размораживания основания плотины в период до начала насыпки тела плотины. По расчету за период от начала прохода паводка до насыпки плотины отсыпанный грунт растает и будет представлять собой хорошее основание для плотины.

Паводок пропускается через перемычки и отсыпанную часть плотины в русло. Скорости воды при пропуске паводка приняты такими, которые обеспечивают неразмываемость отсыпанной части плотины. Меженные расходы воды пропускаются через проран в плотине по деревянному лотку.

После прохода паводка (который продолжается несколько дней) приступают к отсыпке тела плотины по всей площади основания, за исключением прорана. Отсыпка плотины производится таким грунтом с соблюдением технических условий возведения плотин. В проране отсыпка тела плотины производится в осеннее время также талым грунтом. Расходы воды в этот период насосами перебрасываются через плотину.

В зимний период, начиная с октября второго года строительства, производится замораживание откосов тела плотины и мерзлотной завесы. Замораживание мерзлотной завесы производится холодным воздухом с момента наступления температуры ниже минус 20° С. Для замораживания завесы в теле плотины и в основании до коренных пород по линии завесы





Водосброс.

1—канал; 2—ступенчатый перепад; 3 — железобетонные сваи (19,2—ФПУ; 16,6—ЦПУ; 9,9—макс. УНБ).

забуриваются скважины  $\varnothing 220$  мм с расстоянием между ними 1,5 м. В пробуренные скважины, закрепленные обсадными трубами, вставляются трубы  $\varnothing 140$  мм.

Пространства между трубами каждой скважины объединяются поверхностными трубами в систему, связанную с вентиляторами, которые производят нагнетание холодного воздуха в межтрубное пространство. Холодный воздух по межтрубному пространству проходит до дна скважины и затем по внутренней трубе выхолит наружу. Холодный воздух, проходя по межтрубному пространству, отбирает тепло от грунта и тем самым производит замораживание его. Замораживание завесы производится в зимний период за 2,5—3,0 месяца. Мощность всех вентиляторов, установленных для образования и эксплуатации мерзлотной завесы, 50 квт. В летний период воздушная система завесы во избежание попадания в нее теплого воздуха закрывается.

Наполнение водохранилища производится в паводок второго года строительства. К моменту наполнения (к маю) по сечению плотины будет заморожена центральная часть — мерзлотная завеса и откосы плотины на глубину промерзания 3,0—3,5 м. Ширина мерзлотной завесы около 7 м обеспечивает сохранение мерзлой толщи ядра на летний период.

К октябрю первого года эксплуатации ширина мерзлотной завесы уменьшится на 1 м.

В последующие годы центральная часть плотины и низовой клин плотины будут полностью заморожены; верховой клин будет находиться в талом состоянии.

Расчеты теплового режима тела и основания плотины производились разными методами по одноразмерной и двухразмерной задачам.

Объем работ по плотине: выемка мягкого грунта—26,0 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь—183,0 тыс. м<sup>3</sup>, по водосбросу: выемка грунта — 180,0 тыс. м<sup>3</sup>, бетон — 7,0 тыс. м<sup>3</sup>, мерзлотная завеса — 6 000 пог. м.

Строительство плотины максимальной высотой 20 ж на вечномерзлых грунтах с льдистостью до 60% с обоснованием термического режима в теле плотины запроектировано впервые в Советском Союзе.

Основным требованием строительства мерзлотной плотины является строгое соблюдение правил возведения ее, не допускающих размораживания сильно льдистого основания под влиянием талого грунта, отсыпаемого в тело плотины, и нарушения естественного термического режима при производстве работ.

# ЗЕЙСКАЯ ПЛОТИНА

Зейский гидроэнергетический узел явится первым крупным гидротехническим объектом на Дальнем Востоке, призванным решить ряд народнохозяйственных задач Амурской обл.: ликвидацию наводнений в долине среднего и нижнего течения р. Зеи, а также частично на Среднем Амуре; электроснабжение народного хозяйства; создание разветвленных воднотранспортных подходов на водохранилище к богатейшим лесным массивам и улучшение судоходных условий ниже створа плотины.

Гидроузел намечено расположить на р. Зее у г. Зеи, где река, прорезая южные отроги Станового хребта, выходит на Амуро-Зейское плато.

Климат района резко континентальный с годовой амплитудой колебаний температуры до  $90^{\circ}$  С при наблюдаемом зимнем минимуме  $-53^{\circ}$  С.

Сток р. Зеи в году весьма неравномерен. Исторический максимум расхода достигал  $16\ 600\ \text{м}^3/\text{сек}$ ; вероятный расход повторяемостью 1 раз в 1 000 лет составляет более  $20\ 000\ \text{м}^3/\text{сек}$ , а минимальные зимние расходы падают до  $2\ \text{м}^3/\text{сек}$ . Среднегодовое количество составляет  $776\ \text{м}^3/\text{сек}$ .

Неравномерность осадков, вызываемая летними тихоокеанскими муссонами, сильно развитая речная сеть, а также горный рельеф местности способствуют весьма быстрому стоку ливневых вод, что вызывает катастрофические наводнения в среднем и нижнем течении р. Зеи с подъемом уровней на  $8-10\ \text{м}$ .

Коренные породы представлены крепкими диоритами с временным сопротивлением сжатия до  $2\ 000\ \text{кг}/\text{см}^2$ , которые

прикрыты в русле  $2-4\ \text{м}$  слоем аллювия, а на склонах —  $3-8\ \text{м}$  слоем делювиальных отложений. Вблизи створа имеются месторождения грунтов для возведения тела плотины.

Ширина русла реки в створе гидроузла равна  $350\ \text{ж}$ . Проектом предусмотрена компоновка гидроузла с плотиной из местных материалов.

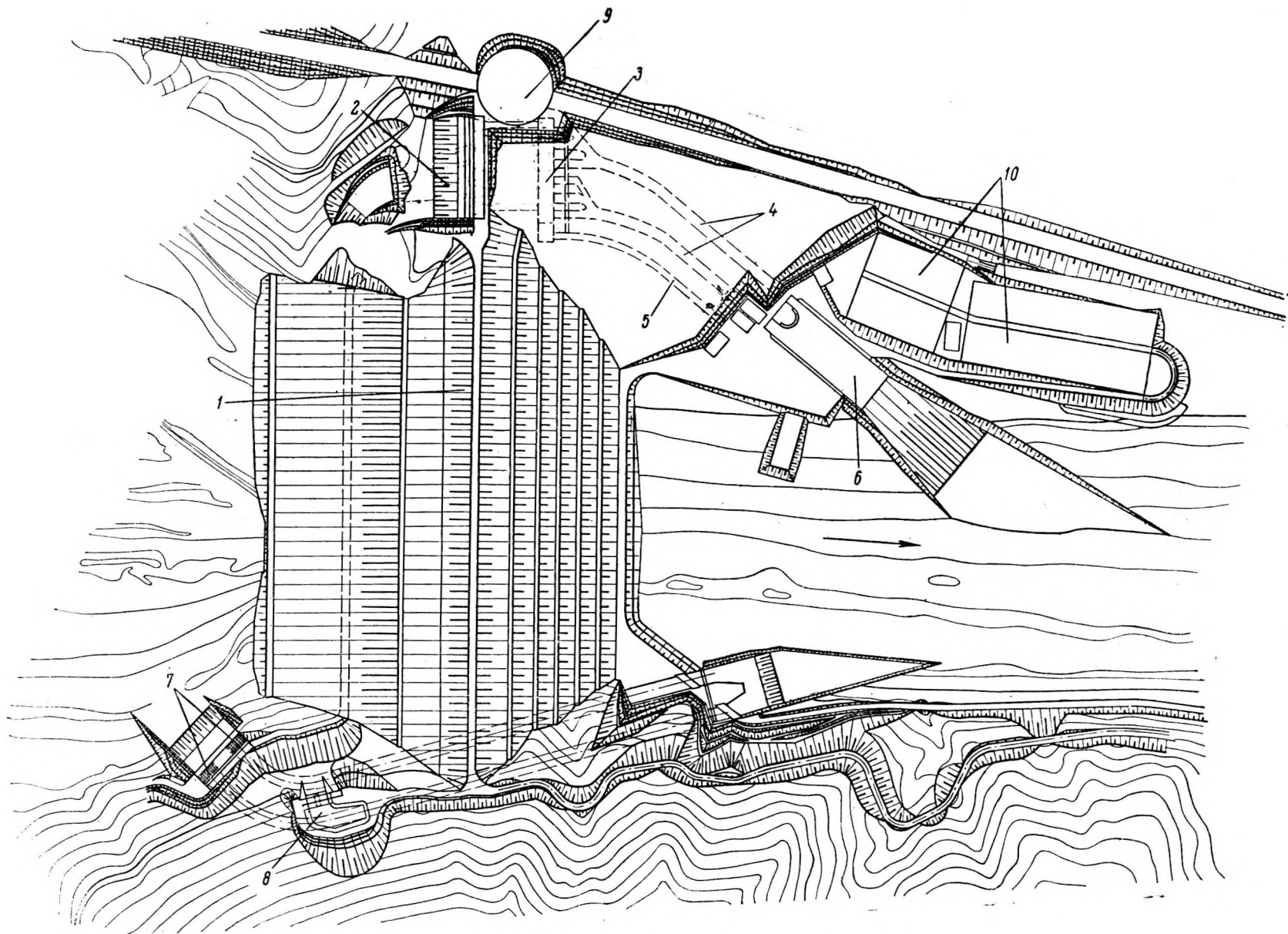
Кроме плотины, в состав основных сооружений гидроузла входят: подземная ГЭС, туннельный водосброс и наклонный судоподъемник.

Основным напорным сооружением является глухая плотина смешанного типа, которую намечено построить из супесчаных и гравелистых грунтов, а также каменной наброски. Высота плотины составляет  $113\ \text{м}$ , длина по гребню —  $705\ \text{ж}$ . Она создает водохранилище протяженностью  $300\ \text{км}$  и полным объемом  $96\ \text{млрд. м}^3$ . Полезный объем водохранилища, используемый для энергетики, составит  $59,7\ \text{млрд. м}^3$ , резервный для борьбы с наводнениями —  $27,5\ \text{млрд. м}^3$ .

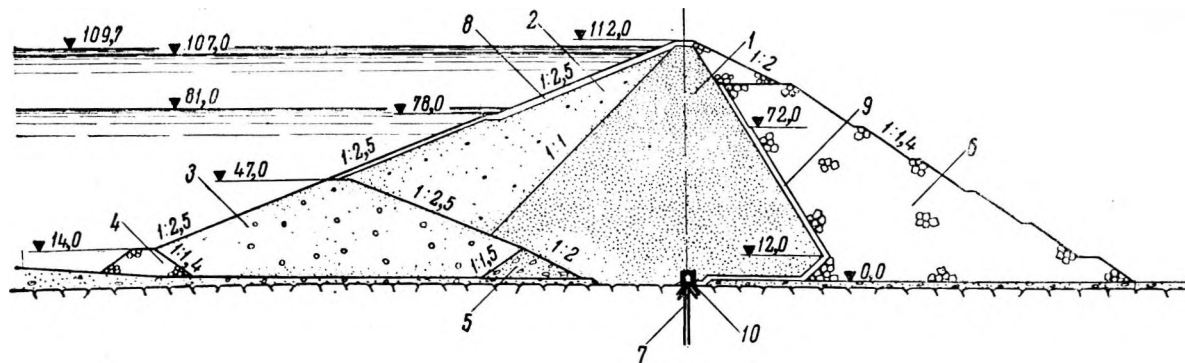
Профиль плотины запроектирован из нескольких частей, размеры и назначение которых определились спецификой карьеров и условиями производства работ.

Верховая упорная призма должна отсыпаться из гравийно-песчаных грунтов острова, расположенного непосредственно у верхового откоса плотины. Она выполняет также задачу верховой переемычки.

Центральную часть плотины из супесчаных грунтов и верховую откосную призму из песка и гравия намечено возвести из грунтов карьера, расположенного на правом берегу в  $4,5-5\ \text{км}$  от плотины.



1 - земляная плотина; 2-водоприемник; здание ГЭС 4—отводящий туннель, 5-транспортный туннель, 6 - отводящий канал, 7 -порталы туннелей, 8 - постоянный водосброс, 9- судоподъемник, 10 - ОРУ 500 и 220 кв.



Земляная плотина.

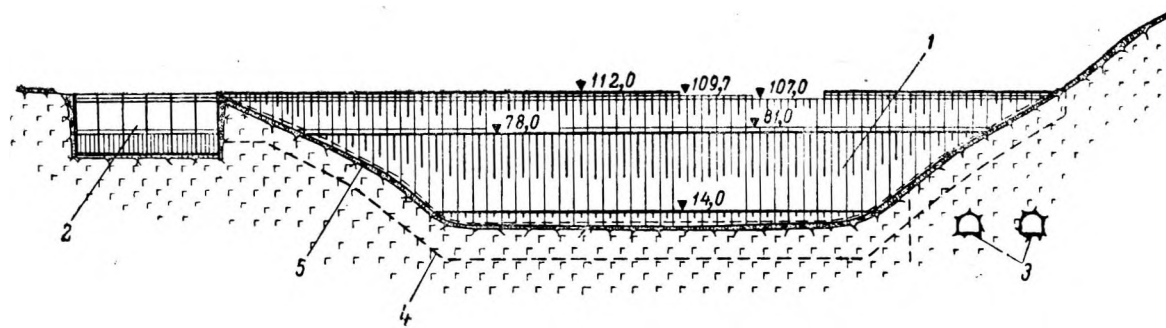
1 — супесчаный грунт; 2 — песчано-гравийные грунты; 3 — гравийно-песчаные грунты; 4 — упорная призма; 5 — гравийно-галечный грунт; 6 — каменная наброска; 7 — противофильтрационная завеса; 8 — крепление камнем; 9 — обратный фильтр; 10 — цементационная галерея.

Центральная часть плотины будет сопрягаться с цементационной завесой глубиной 25 м, которая пересечет зону поверхностного выветривания скалы основания. Крепление верхнего откоса плотины против волнового воздействия (высота волны 2,2 м) предусматривается из каменной наброски толщиной 2,2 м в пределах сработки водонапорной камеры.

Низовая упорная призма должна возводиться из каменной наброски и меньшей толщины ниже уровня мертвого водонапорника, в основном из полезных выемок. Отсыпка камня объема. В результате расчетов был получен коэффициент запаса 1,4 для нормальных условий эксплуатации и 1,2 для периода

уплотнения каменной наброски по проекту производится строительства. только в летний период гидромониторами.

Разработка карьеров намечается 3-м<sup>3</sup> экскаваторами,



Вид с верхнего бьефа.

1 — земляная плотина; 2 — водоприемник; 3 — строительный туннель; 4 — контур цементационной завесы; 5 — цементационная галерея (109,7 — ФПУ; 107,0 — НПУ; 81,0 — УМО).



транспорт и отсыпка грунта—автосамосвалами грузоподъемностью 25 т. Отсыпанный в центральную часть грунт пло-

тины разравнивается бульдозерами слоями по 0,5 м, увлажняется до оптимального значения и затем укатывается кулачковыми катками. Грунт верховой и низовой призмы отсыпается слоями по 1 м и уплотняется виброкатками.

Сооружения стационарного узла и судоподъемника располагаются на левом берегу и не оказывают существенного влияния на положение плотины в плане и ее конструкцию. Они возводятся одновременно с плотиной и камень из их подземных выемок используется в низовую упорную призму плотины.

Пропуск строительных расходов намечено осуществить через два строительных туннеля сечением 16х16 м. Один туннель в дальнейшем переоборудуется в постоянный эксплуатационный водосброс, рассчитанный на максимальный расход 2 000 м<sup>3</sup>/сек. Правобережное расположение строительных туннелей оправдывается компоновочными соображениями и необходимостью освоения стройплощадки с правого берега ввиду расположения на нем подъезда от магистраль-

ной железной дороги и удобных площадок для базы строи-

индустрии и поселка. Работы по возведению плотины намечено закончить в конце 5-го года строительства при продолжительности работ по плотине 4 года.

Для возведения в эти сроки плотины с объемом тела около 13 млн. м<sup>3</sup> приняты следующие максимальные месячные интенсивности по основным видам работ: отсыпка песчано-гравелистых грунтов в верховую упорную призму — 210—260 тыс. м<sup>3</sup>, отсыпка супесчаных грунтов в центральную часть — 430 тыс. м<sup>3</sup>, отсыпка песчано-гравелистых грунтов в верховую откосную призму — 230 тыс. м<sup>3</sup>, отсыпка камня в низовую упорную призму—165 тыс. м<sup>3</sup>.

Объемы работ по гидроузлу: выемка мягкого грунта — 1 110 тыс. м<sup>3</sup>, выемка скалы открытая — 2 539 тыс. м<sup>3</sup>, выемка скалы подземная — 745 тыс. м<sup>3</sup>, бетон наземный — 203 тыс. м<sup>3</sup>, бетон подземный—147 тыс. м<sup>3</sup>, насыпь — 9 380 тыс. м<sup>3</sup>, каменная наброска — 4 365 тыс. м<sup>3</sup>, фильтры и подготовки — 166 тыс. м<sup>3</sup>, металлоконструкции и механизмы — 21,1 тыс. г.

После ввода в эксплуатацию Зейская ГЭС будет подключена к энергетической системе Дальнего Востока.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОТИН ПОСТРОЕННЫХ, СТРОЯЩИХСЯ И УТВЕРЖДЕННЫХ К СТРОИТЕЛЬСТВУ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ

№ п/п.	Наименование плотины	Год ввода в эксплуатацию первого агрегата	Река	Геология	Характеристика плотины				Водохранилище		Примечания
					Тип	Строительная высота, м	Длина по гребню, м	Объем тела, тыс. м³	Объем, млн. м³	Назначение	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Братская	1961	Ангара	Диабазы	Бетонная облегченная гравитационная Земляная	125 31	1 441 3 699	4 800 12 200	179 000	Энергетика, транспорт	
2	Бухтарминская	1960	Иртыш	Габбро и амфиболиты	Бетонная гравитационная облегченная	90	380	1 170	53 000*	Энергетика, транспорт	* Включая Зайсан
3	Верхне-Свирская	1952	Свирь	Девонские глины	Бетонная водосливная	32	228,8	408*	17 500**	Энергетика, транспорт	* Вместе с ГЭС ** Полезный объем
4	Верхне-Тулумская	Строится	Тулума	Гранито-гнейсы	Земляная намывная	30	312,5	1 112			
					Бетонная гравитационная	24	185	29	11 500	Энергетика	
5	Вилуйская	Строится	Вилуй	Диабазы	Каменно-набросная	50	1 215	2 100			
6	Плотина Волжской ГЭС им. В. И. Ленина	1955	Волга	Пески с гравийно-галечными включениями	Каменно-набросная	65	600	2 900	18 500		
					Бетонная водосливная	44,5	981,2	2269,1	58 000	Энергетика, транспорт	
					Земляная намывная	38	2 800	31 600			
7	Плотина Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС	1958	Волга	Алевролиты, аргиллиты, песчано-алевролитовые породы	Бетонная облегченная водосливная	44	725	767	33 500	Энергетика, транспорт, ирригация, водоснабжение	
					Земляная намывная	47	3 249	24 480			
8	Воткинская	1961	Кама	Алевритовые глины, алевролиты и песчаники	Бетонная облегченная водосливная	44,5	212,5	251	9 400	Энергетика, транспорт, водоснабжение	
					Земляная насыпная	35	4 460	11 180			
9	Горьковская	1955	Волга	Глины, пески, мергели, алевриты, алевролиты	Бетонная водосливная	32,5	555*	320	8 700	То же	* Вместе с ГЭС
					Земляная намывная	28	12 350	—			
10	Гуматская	1958	Риони	Глинистые сланцы	Бетонная гравитационная	52	280,5*	210**	39	Энергетика	* Вместе с ГЭС ** В целом по гидроузлу

№ п/п	Наименование плотины	Год ввода в эксплуатацию первого агрегата	Река	Геология	Характеристика плотины				Водохранилище		Примечания
					Тип	Строительная высота, м	Длина по гребню, м	Объем тела, тыс. м³	Объем, млн. м³	Назначение	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	Плотина Днепровской ГЭС им. В. И. Ленина	1932, восстановлена в 1947 г.	Днепр	Гранито-гнейсы и граниты	Бетонная гравитационная	62	1 300*	732	3 000	Энергетика, транспорт, ирригация	* Вместе с ГЭС
12	Днепродзержинская	Строится	Днепр	Гранито-гнейсы, пески	Бетонная водосливная	32	35400*	600	2 500	Энергетика, транспорт, водоснабжение	* Вместе с Орельской дамбой
22					Земляная намывная	26 900					
13	Дубоссарская	1954	Днестр	Гравий, галька, мергель, известняки, суглинки, пески	Бетонная водосливная	26,0	133	72	485	Энергетика, водоснабжение	* В целом по гидроузлу
24,0					Земляная намывная и насыпная	751	1 046*				
14	Зейская	Утверждена к строительству	Зeya	Диориты	Каменно-земляная	113	705	13 100	96 000	Борьба с наводнениями, энергетика, лесное хозяйство, транспорт	
15	Иваньковская	1937	Волга	Моренные суглинки	Бетонная водосливная	30	216	250	1 120	Энергетика, транспорт, водоснабжение	* В целом по гидроузлу
24					Земляная намывная	9 354	15 200*				
16	Ингурская	Строится	Ингури	Известняки	Бетонная арочная	301	683	3 000	1 550	Энергетика	
17	Иовская	1960	Иова	Граниты, гнейсы, амфиболиты	Земляная насыпная	27	350	946*	2 000	Энергетика, лесное хозяйство	* В целом по гидроузлу
18	Иреляхская	Утверждена к строительству	Ирелях	Мергели и мергелистые глины	Земляная мерзлотного типа	20	320	183	12	Водоснабжение	
19	Ириклинская	1958	Урал	Суглинки, супеси, гравелисто-песчаные	Водосливная бетонная	49	120	250	3 250	Энергетика, ирригация, водоснабжение, рыбное хозяйство	
43					Каменно-земляная	360	2 400				
20	Иркутская	1956	Ангара	Алевролиты, песчаники	Бетонная, совмещенная с ГЭС		240	840	46 000	Энергетика, транспорт, водоснабжение	
44					Земляная насыпная	2 500	11 560				

№ п/п	Наименование плотины	Год ввода в эксплуатацию первого агрегата	Река	Геология	Характеристика плотины				Водохранилище		Примечания
					Тип	Строительная высота, м	Длина по гребню, м	Объем тела, тыс. м³	Объем, млн. м³	Назначение	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	Кайрак-Кумская	1956	Сыр-Дарья	Цементированные пески, глины, алевролиты	Бетонная водосливная, совмещенная с ГЭС Земляная намывная	43,7 31,5	137,4 1 202	304 2 080	4 160	Энергетика, ирригация, рыбное хозяйство	
22	Камская	1954	Кама	Известняки, доломиты, гипсы и ангидриты	Бетонная водосливная, совмещенная с ГЭС	37	400	720	12 200	Энергетика, транспорт, водоснабжение	
23	Капчагайская	Утверждена к строительству	Или	Разнозернистые пески, гравийно-галечные отложения, кварцевые порфиры	Земляная намывная Земляная насыпная и намывная	35 49	1 900 460	4 500 3 410		Энергетика, ирригация, водоснабжение	
24	Каунасская	1959	Неман	Моренные суглинки и супеси	Бетонная водосливная Земляная намывная Земляная насыпная	37 25 16	79 464 930	252* 1 220 1 520	220**	Энергетика, транспорт, водоснабжение, борьба с паводками	* В целом по гидроузлу ** Полезный объем
25	Каховская	1955	Днепр	Ракушечные, мергелистые и другие известняки	Бетонная водосливная Земляная намывная	37 30	440 1 200	640 35 000*	18 200	Энергетика, ирригация, транспорт, водоснабжение	* В целом по гидроузлу
26	Киевская	Строится	"	Пески	Бетонная водосливная, совмещенная с ГЭС Земляная намывная		285,5 19,0	813* 40 900 44 150	3 730	Энергетика, транспорт, рыбное хозяйство, водоснабжение	То же
27	Князегубская	1955	Ковда	Морена	Земляная насыпная	19	650	654	1 930*	Энергетика	* Полезный объем
28	Красноярская	Строится	Енисей	Граниты	Бетонная гравитационная	119	1 045	3 800	73 300	Энергетика, транспорт	
29	Кременчугская	1959	Днепр	Порфирированные граниты, мелкозернистые пески	Бетонная водосливная Земляная намывная	36 29,5	191,5 10 700	92,8 27 650	13 500	Энергетика, транспорт, рыбное хозяйство, ирригация, водоснабжение	



№ п/п.	Наименование плотины	Год ввода в эксплуатацию первого агрегата	Река	Геология	Характеристика плотины				Водохранилище		Примечания
					Тип	Строительная высота, м	Длина по гребню, м	Объем тела, тыс. м³	Объем млн. м³	Назначение	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30	Кумская	Строится	Кума	Морена, магматиты, гнейсы	Земляная Бетонный водосброс	19 21	620 80	395 31,8*	10 800	Энергетика	* В целом по гидроузлу
31	Ладжанурская	1960	Ладжанури	Известняки, сланцеватые мергели	Бетонная арочная	69	127	25	25	"	
32	Мамаканская	1961	Мамакан	Метаморфические сланцы с прослоями известняков	Бетонная гравитационная облегченная	58	345	239*	197,3	"	* В целом по гидроузлу
33	Мингечаурская	1953	Кура	Песчаники, глины типа мергелей	Земляная намывная	80	1 550	15 600	16 000	Энергетика, ирригация, транспорт, борьба с наводнениями	
34	Нижне-Свирская	1933, восстановлена в 1946 г.	Свирь	Девонские глины	Земляная насыпная Бетонная водосливная	28 26	1 075 191,6	371 225	24*	Энергетика, транспорт	* Полезный объем
35	Новосибирская	1957	Обь	Глинистые сланцы, песчаники	Земляная намывная Бетонная водосливная	27 40	4 382 194	182	8 800	Энергетика, транспорт, водоснабжение	
36	Нурекская	Строится	Вахш	Песчаники, алевролиты	Каменнонабросная	300	730	45 000	10 500	Ирригация, энергетика, транспорт	
37	Ондская	1956	Онда	Граниты гранито-гнейсы	Бетонная гравитационная	36	474	101	1 150*	Энергетика, транспорт	* Полезный объем водохранилищ Ондского, Выгозерского и Сегозерского
38	Павловская	1959	Уфа	Известняки закарстованные	Земляные: насыпная намывная Бетонная, совмещенная с ГЭС	26 43 53	400 230 129,7	1 237 210,8	1 410	Энергетика, транспорт, рыбное хозяйство	

№ п/п.	Наименование плотины	Год ввода в эксплуатацию первого агрегата	Река	Геология	Характеристика плотины			Водохранилище		Примечания	
					Тип	Строительная высота, м	Длина по гребню, м	Объем тела, тыс. м³	Объем, млн. м³		Назначение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
39	Путкинская	Утверждена к строительству	Кемь	Гнейсы, гнейсо-граниты, габбро, морена	Земляная насыпная Бетонный водосброс	16 —	1 486 306	1 039* 11,0	3,2**	Энергетика, транспорт	* В целом по гидроузлу ** Полезный объем
40	Рыбинская	1941	Волга	Аллювиальные пески, глины, гравий, валуны	Бетонная водосливная Земляная намывная	30 30	104 524	945 1 600	25 400	Энергетика, транспорт, водоснабжение	
41	Шекснинская	1941	Шексна	Моренные суглинки, аллювиальные пески	Земляная намывная	34	470	6 650	25 400	То же	
42	Саратовская	Строится	Волга	Глины	Земляная намывная Бетонная, совмещенная с ГЭС	35 45,8	960 1 140	6 500 790	13 400	Энергетика, транспорт, ирригация	
43	Саянская	Утверждена к строительству	Енисей	Граниты	Каменно-набросная	225	855	48 400	29 100	Энергетика, транспорт	
44	Сионская	Строится	Иори	Конгломераты	Земляная насыпная	84,8	780	6 400	325	Энергетика, ирригация	
45	Шамбская	"	Воротан	Туфоконгломераты, брекчии	Бетонная арочная	49	144,5	23	86	То же	
46	Толоросская	"	Сисиан	Порфириды	То же	68	237,5	53			
47	Угличская	1940	Волга	Плотные суглинки	Бетонная водосбросная Земляная намывная	26 27	179 310	278 1 055	1 900	Энергетика, транспорт, водоснабжение	
48	Усть-Каменогорская	1952	Иртыш	Габбро	Бетонная гравитационная	65	390*	580**	630	То же	* Включая шлюз ** В целом по гидроузлу

№ п/п.	Наименование плотины	Год ввода в эксплуатацию первого агрегата	Река	Геология	Характеристика плотины				Водохранилище		Примечания
					Тип	Строительная высота, м	Длина по гребню, м	Объем тела, тыс. м³	Объем, млн. м³	Назначение	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
49	Храмская I	1948	Храми	Андезитобазальты	Каменнонабросная Бетонный водосброс	32 —	— 44	86,2 24*	312	Энергетика	* Включая водосбросный канал
50	Цимлянская	1952	Дон	Аллювиальные пески	Земляная намывная Бетонная водосливная	33,0 39,25	12 750 482,5	32 000 1 891*	21 850	Энергетика, транспорт, ирригация	* В целом по гидроузлу
51	Чарвакская	Утверждена к строительству	Чирчик	Известняки	Каменнонабросная	154	720	16 000	1 420	Энергетика, ирригация, борьба с наводнениями, водоснабжение	
52	Чардаринская	Строится	Сыр-Дарья	Алевриты, мергелистые глины, песчаники, пески	Земляная намывная	26,5	4 760	9 258	5 700	Энергетика, ирригация, борьба с наводнениями	
53	Чебоксарская	Утверждена к строительству	Волга	Глины и пески	То же	35	2 300	3 500	13,9	Энергетика, транспорт	
54	Чиркейская	То же	Сулак	Известняки	Бетонная арочная	230	324	720	2 500	Энергетика, ирригация, борьба с наводнениями	
55	Чир-Юртская	1961	"	Песчаники, известняки, плотные глины	Земляная насыпная	37,5	430	1 000	99	Энергетика, ирригация	

# КРАТКИЙ РУССКО-АНГЛО-ФРАНЦУЗСКИЙ СЛОВАРЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

BRIEF RUSSIAN-ENGLISH-FRENCH DICTIONARY OF HYDROTECHNICAL TERMS  
PETIT DICTIONNAIRE RUSSSE-FRANgAIS-ANGLAIS DE L'HYDROTECHNIQUE

аванпорт	approach	avant-port
аварийный затвор	emergency gate	vanne de reserve
агрегат капсульного типа	bulb unit	groupe du type bulbe
агрегатное помещение	machine room	salle des machines
аллювий	alluvium	alluvion
анкера	anchors	ancres
анкерная плита	anchor slab	dalle d'ancrage
анкерный понур	anchored apron	radier ancre
армированные бетонные плиты	reinforced concrete slabs	dalles en beton arme
арочная плотина	arch dam	barrage-voitie
асфальт по бетонной подготовке	asphalt on concrete layer	masque d'asphalte sur le beton
асфальтобетонный компенсатор	asphalt-concrete compensator	compensateur d'asphalte-beton
банкет	banquette	banquette
бассейн суточного регулирования	pondage for daily regulation	bassin journalier
бетон	concrete	beton
бетонная плотина	concrete dam	barrage en beton
бетонная подготовка	concrete layer	couche de beton
бетонная пробка	concrete plug	bouchon en beton
бетонные плиты	concrete slabs	dalles en beton
бетонный зуб	concrete cut-off	mur de garde en beton
<b>В</b>		
валуны, галька с песчано-гравелистым наполнителем	boulders, gravel and sand	roches erratiques, gravier et sable
верхний шлюз	upper lock	ecluse d'amont
верхняя забральная балка	upstream beam	poutre amont
верховая перемычка	upper cofferdam	atardeau amont
вечномерзлый грунт	permafrost ground	sol de permafrost
водобой	stilling basin	bassin d'amortissement
водобойная стенка	end sill	murette
водозабор	intake	prise d'eau
водозаборное сооружение	intake structure	ouvrage de prise d'eau
водоотводящая труба	water conduit	conduit d'eau
водоприемник ГЭС	powerhouse intake	prise d'eau de l'usine
водоприемник деривационного туннеля	headrace tunnel intake	prise d'eau de la galeri? de derivation



водосброс  
водосбросная плотина  
водосбросной канал  
водосливная плотина  
водосливные отверстия  
водоспуск  
водоспуск туннельный  
волнолом  
временное строительное отверстие  
временный водосброс  
вход в турбинную камеру

## Г

галереи  
галька  
гасители  
гибкая рисберма  
гибкое уплотнение  
глина  
глина уплотненная  
глубинный дренаж  
глухая плотина  
головной шлюз деривационного канала  
горизонтальный агрегат капсульного типа  
грейферный захват

## Д

дамба — волнолом  
дамба низового подхода  
дамбы  
дамбы аванпорта  
двухступенчатый парный шлюз  
деривационный водовод  
деривационный канал  
деривационный туннель  
диафрагма из железобетонных плит  
донные отверстия  
донный водосброс  
дренажная призма  
дренажные колодцы  
дренажные скважины  
дренажные трубы

## Ж

железобетонные плиты  
железобетонные плиты на слое щебня

spillway  
dam with bottom outlets  
spillway canal  
overflow dam  
spillway openings  
outlet  
tunnel outlet  
breakwater  
temporary diversion opening  
temporary spillway  
turbine lip inlet

galleries  
gravel  
water energy dissipators  
flexible apron  
flexible seal  
clay  
compacted clay  
deep drainage  
non-overflow dam  
control work of headrace canal  
horizontal bulb unit  
grab

jetty-breakwater  
fill of downstream approach  
levees  
embankments of approach  
double-thread two-chamber lock  
headrace conduit  
headrace canal  
headrace tunnel  
diaphragm of reinforced-concrete slabs  
bottom sluices  
bottom sluice  
drainage zone  
drainage wells  
drainage holes  
drainage pipes

reinforced concrete slabs  
reinforced concrete slabs on gravel layer

evacuateur  
barrage a evacuteur de fond  
canal d'evacuation  
barrage-deversoir  
pertuits de deversoir  
vidange  
galerie de vidange  
prise-lames  
orifice de la derivation provisoire  
evacuateur provisoire  
entree dans la chambre de turbine

galleries  
galet  
dissipateurs d'energie  
risberme souple  
etanchement flexible  
argile  
argile compactee  
drainage profond  
barrage non-deversant  
eel use of tete du canal de derivation  
groupe du type bulbe a axe horizontal  
griffe

digue — brise-lames  
digue d'accès aval  
digues  
digues d'avant-port  
ecluse a deux sas accolés  
conduite de derivation  
canal de derivation  
galerie d'amenee  
diaphragme en plaques de beton arme  
orifices de fond  
vidange  
drain de pied  
puits de drainage  
trois de drainage  
conduites de drainage

dalles en beton arme  
dalles en beton arr)е sur la couche de pierre cas-

железобетонные шашки  
железобетонный анкерный зуб

закрытый дренаж  
заполнение из гравийно-песчаной смеси  
здание ГЭС  
здание ГЭС совмещенного типа  
земляная русловая плотина  
земляная плотина  
зона подводного намыва  
зубчатый порог  
зуб ячеистой конструкции  
из металлического шпунта

## К

каменная наброска  
каменное мощение по наклонному фильтру  
каменно-набросная плотина  
каменный банкет  
камень и гравий  
камень несортированный  
камень по трехслойному фильтру  
канал  
козловый «ран  
консольный сброс  
контрольные трубы  
контур основания плотины  
контур противофильтрационной завесы  
контур укрепительной цементации  
крепление камнем на слое гравия  
крепление наброской  
крупный камень

## Л

лесоперевалка  
лоток деривационного канала

## М

магистральный канал  
магистральный оросительный канал  
Макс. УНБ — максимальный уровень нижнего  
бьефа  
малая арочная плотина  
мелкий песок  
мелкозернистый песок  
мерзлый грунт

reinforced concrete baffles  
reinforced concrete anchor cut-off

covered drainage  
gravel-sand fill  
powerhouse  
powerhouse with discharge sluices  
earth dam in river channel  
earth dam  
zone of underwater hydraulic filling  
dentated sill  
cut-off of steel sheet-pile cells

rock-fill  
rip-rap on inclined filter  
rock-fill dam  
rock banquette  
rock and gravel  
run-of-quarry rock  
rock on three-layer filter  
canal  
gantry crane  
cantilever spillway  
control pipes  
dam foundation outline  
grout curtain outline  
surface grouting outline  
rip-rap on gravel layer  
rock-fill protection  
coarse rock

timber transship  
headrace canal flume

main canal  
main irrigation canal  
maximum tail water elevation

email arch dam  
fine sand  
fine sand  
frozen ground

mur de garde d'ancrage en beton armé  
mur de garde d'ancrage en beton arme

drainage ferine  
remplissage sablo-graveleux  
bltiment de l'usine  
batiment de l'usine du type combine  
barrage en terre dans le lit  
barrage en terre  
zone de remblaiement hydraulique sous l'eau  
seuil dente  
palplanches metalliques de structure cellulaire

enrochements  
pavage sur le filtre incline  
barrage en enrochements  
banquette en pierre  
pierre et gravier  
pierre non-triee  
enrochement sur le tapis filtrant a trois couches  
canal  
portique  
deversoir en console  
conduits de controle  
contour de la fondation du barrage  
contour du voile d'etancheite  
contour de l'injection de consolidation  
pavage sur une couche de gravier  
revetement en enrochement  
grosses pierres

transbordement du bois  
canal de derivation

canal principal  
canal d'irrigation principal  
niveau maximum d'aval

barrage-voute petit  
sable fin  
sable fin  
sol gele

Металлический шпунт  
металлический экран  
Мин. УНБ—минимальный  
моренный грунт  
мощение камнем  
мусоросбросной пролет

## Н

наброска из горной массы  
наброска из крупных камней  
наброска из несортированного камня  
намыв  
напорная дамба  
напорный бассейн  
наклонный дренаж  
наклонный фильтр  
насыпь  
насыпь из морены  
несортированный камень  
нижняя забральная балка  
низовой банкет  
НПУ — нормальный подпорный уровень

## О

обратный фильтр  
ограждающая дамба аванпорта  
одерновка  
опытный участок креплений  
ОРУ — открытое распродустройство  
основной затвор  
основной затвор донных отверстий  
основной затвор турбинного водовода  
отверстие водосброса  
отводящий канал  
отводящий туннель  
открытый дренаж  
отсыпка горной массы  
отсыпка из морены

## П

паз временных щитов  
паз основного затвора  
паз ремонтного затвора  
перевалочная база речного флота  
перемычки  
песок

steel sheetpiling  
steel facing  
minimum tail water elevation  
moraine  
rock pavement  
trashway

run-of-quarry rock-fill  
coarse material rock-fill  
run-of-quarry rock-fill  
hydraulic filling  
water retaining embankment  
forebay  
inclined drainage  
inclined filter  
fill  
moraine fill  
run-of-quarry rock  
downstream beam  
downstream banquette  
normal water elevation

inverted filter  
embankment of approach  
sod  
test protection zone  
switch-yard  
main gate  
main bottom gate  
penstock main gate  
discharge sluice  
tailrace canal  
tailrace tunnel  
open drainage  
run-of-quarry rock-fill  
moraine fill

temporary gate slot  
main gate slot  
emergency gate slot  
river navigation trans-shipping point  
cofferdams  
sand

palplanches metalliques  
ecran metallique  
niveau minimum d'aval  
moraine  
pavage  
passe de decembrement

enrochement en pierre non-triee  
enrochement en grosses pierres  
enrochement en pierre non-triee  
remblaiement hydraulique  
digue de retenue  
chambre de mise en charge  
drainage incline  
filtre incline  
remblai  
remblai en moraine  
pierre non-triee  
poutre aval  
banquette aval  
niveau de retenue normale

filtre inverse  
diguette de protection d'avant-port  
revetement en gazon  
zone d'essai de protection  
poste exterieur  
vanne principale  
vanne principale des orifices de fond  
vanne de la conduite forcee  
orifice de decharge  
canal de fuite  
galerie de fuite  
drainage ouvert  
remblaiement en pierres non-triee  
remblaiement en moraine

rainure des vannes provisoires  
rainure de la vanne principale  
rainure de la vanne de reserve  
base de transbordement de la flotte fluvial  
batardeaux  
sable

песок без уплотнения  
 песок уплотненный  
 песчаники  
 пирсы — гасители водобоя  
 плоский дренаж  
 площадная цементация  
 поверхность скалы  
 повысительная подстанция  
 подводный намыв  
 подводящий канал  
 подземное здание ГЭС  
 подстанция  
 пойменная земляная плотина  
 полости  
 полости, заполненные песком  
 полость деформационного шва  
 помещение управления аварийно-ремонтными за-  
 творами  
 понур  
 понур из глины  
 понур из суглинка  
 порт  
 порталы строительных туннелей  
 посев трав  
 поселки  
 постоянный водосброс  
 приагрегатный зал  
 пригрузка камнем  
 промежуточный водоприёмник ГЭС  
 промывные галереи  
 противофильтрационная завеса

## Р

разнозернистые пески  
 разрез по водосливной секции  
 разрез по двухъярусной секции

расширенный шов  
 регулятор  
 ремонтный затвор  
 рисберма  
 РУ — распреустройство  
 рыбободъемник  
 рыбоход  
 ряж  
 ряжевая перемычка

uncompacted sand  
 compacted sand  
 sandstone  
 stilling basin piers  
 drainage blanket  
 surface grouting  
 rock surface  
 step-up substation  
 underwater hydraulic filling  
 headrace canal  
 underground powerhouse  
 substation  
 earth dam in flood-plain  
 hollows  
 sand filled hollows  
 deformation joint hollow  
 emergency gates control room

apron  
 clay apron  
 loam apron  
 port  
 diversion tunnels portals  
 grass sowing  
 settlements  
 permanent spillway  
 service room  
 rock surcharge  
 intermediate intake of powerhouse  
 flushing galleries  
 curtain

sands of varying coarseness  
 section through spillway  
 section through overflow dam with bottom sluices

hollow joint  
 control works  
 emergency gate  
 apron  
 switchroom  
 fish lift  
 fish pass  
 crib  
 crib cofferdam

sable non-compacte  
 sable compacte  
 gres  
 piles de dissipation  
 drainage plat  
 cimentation de surface  
 surface le da roche  
 poste de transformation elevateur  
**remblaiement hydraulique sous l'eau**  
 canal d'amenee  
**usine souterraine**  
 poste  
 barrage en terre dans le lit majeur  
 evidements  
 evidements remplis de sable  
 evidement du joint de deformation  
 salle de commande des vannes de reserve

avant-radier  
 avant-radier en argile  
 avant-radier en limon  
 port  
 portails des galeries provisoires  
 semailles des herbes  
 cites ouvrieries  
 dechargeur permanent  
 salle de service  
 recharge en pierre  
 prise d'eau intermediaire de l'usine  
 galeries de chasse  
 voile d'etancheite

sable de differents grains  
 coupe d'une section de deversoir  
 coupe du barrage-deversoir avec des orifices de  
 fond  
 joint dlargi  
 regulateur  
 vanne de rdserve  
 risberme  
 poste de depart  
 ascenseur a poissons  
 passe a poissons  
 crib  
 batardeau en crib



## C

сборные железобетонные балки  
 секторный затвор  
 скважины мерзлотной завесы  
 скважины сплошной цементации  
 смотровые галереи  
 сороудерживающие решетки  
 сортированный щебень  
 стальной шпунт  
 станционная часть  
 строительные перемычки  
 строительный туннель  
 ступенчатый перепад  
 суглинистый экран  
 суглинок  
 судоподъемник  
 судоходный канал  
 судоходный шлюз  
 супесчаный грунт  
 сухая кладка

prefabricated reinforced-concrete beams  
 drum gate  
 frozen ground curtain holes  
 surface grouting holes  
 inspection galleries  
 trashracks  
 graded crushed stone  
 steel sheetpiling  
 intake dam  
 cofferdams  
 diversion tunnel  
 stepped drop  
 loam facing  
 loam  
 ship-elevator  
 navigation canal  
 navigation lock  
 sandy loam  
 dry masonry

poutres en beton arme prefabriquees  
 vanne secteur  
 trous du voile gele  
 forages de l'injection de surface  
 galeries de visite  
 grilles  
 pierre concassee triee  
 palplanches en acier  
 barrage avec prise d'eau  
 batardeaux  
 galerie de derivation provisoire  
 denivellation a gradins  
 ecran en limon  
 limon  
 ascenseur de bateaux  
 canal de navigation  
 ecluse de navigation  
 limon sableux  
 magonnerie seche

## T

тело плотины  
 температурно-осадочные швы  
 температурно-усадочный шов  
 температурные швы  
 транспортный туннель  
 трехслойный ленточный фильтр  
 трехслойный фильтр  
 трубчатый дренаж  
 трубчатый дренаж с обратным фильтром  
 трубчатый дренаж с трехслойным фильтром  
 турбинная камера  
 турбинный водовод

dam body  
 temperature-settling joints  
 temperature-contraction joint  
 expansion joint  
 transport tunnel  
 three-layer ribbon filter  
 three-layer filter  
 pipe drainage  
 pipe drainage with inverted filter  
 pipe drainage with three-layer filter  
 turbine pit  
 penstock

corps du barrage  
 joints de dilatation et de tassement  
 joint de dilatation et de retrait  
 joint de dilatation  
 galerie de transport  
 tapis filtre a trois couches  
 filtre a trois couches  
 drainage tubulaire  
 drainage tubulaire a filtre inverse  
 drainage tubulaire et filtre a trois couches  
 chambre de turbine  
 conduite forcee

## У

УМО — уровень мертвого объема  
 уплотнение деформационного шва  
 уплотнение и увлажнение грунта  
 уплотненная глина  
 упорная призма  
 уравнительная башня  
 уравнительные шахты  
 установка сборного парапета

dead storage elevation  
 deformation joint seal  
 ground compaction and wetting  
 compacted clay  
 rock toe  
 surge tank  
 surge shafts  
 prefabricated parapet mounting

niveau de l'eau morte  
 etanchement du joint de deformation  
 compactation et humidification du sol  
 argile compactee  
 prisme de butee  
 cheminee d'equilibre  
 cheminee d'equilibre  
 montage du parapet prefabrique

Ф

фашиный тюфяк  
ФПУ — форсированный подпорный уровень

fascine mat  
forced water elevation

matelas en fascines  
niveau de retenue forcee

Э

экрaн из дpесвяно-суглинистых грунтов  
эксплуатационный водосбpос  
энергетический туннель  
ядро

grass-loam facing  
permanent spillway  
power tunnel  
core

ecran en terres arenes granitiques — argileuses  
evacuateur  
gaierie d'amenee  
noyau

Редактор *Л. П. Марьянский*

Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 26/IV 1962 г.

Подписано к печати 9/V 1962 г.

Т-04761.

Бумага 84x108'

27,88 печ. л.

Уч.-изд. л. 25,4

Тираж 2 000 экз

Цена 2 р. 08 к.

Зак. 2282

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.





