

Ф. Ф. ГУБИН

**А Т Л А С
ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ**



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Проф. Ф.-Ф. ГУ БИН

АТЛАС ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

(ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА

1948

ЛЕНИНГРАД

Рецензент:

заслуженный деятель науки и техники, профессор, доктор техн. наук Е. В. Близняк

Атлас гидроэлектростанций представляет собой собрание чертежей, иллюстрирующих схемы и сооружения гидроэлектрических станций при разных величинах напоров и мощностей и при различных топографических, гидрологических и геологических условиях. В атласе приведены основные характеристики рассматриваемых конструкций гидростанций и их сооружений, характеристики местных условий и краткие соображения о достоинствах и недостатках принятых конструктивных решений. Атлас предназначается в качестве учебного пособия при изучении курса использования водной энергии.

Редактор канд.техн. наук Г. И. Кривченко

Технический редактор А. Д. Чаров

Сдано в пр-во 9/VI 1947 г.

Подписано к печати 17/III 1948 г.

Тираж 3000 экз.

А-02676

Объем 3½ п. л., +60 таблиц, уч.-авт. л. 41,3 Бумага 84X108 1/6 Зак. № 176

СОДЕРЖАНИЕ

| | | | |
|---|----|--|----|
| Введение..... | | | |
| Таблица 1. Сооружения русловой приплотинной гидроэлектростанции при $N_{уст} = 9000$ квт и $H_{cp} = 9,0$ м..... | 5 | Таблица 16. Сооружения приплотинной гидроэлектростанции при $N_{уст} = 10000$ квт и $H = 19,6$ м в вариантах с применением гравитационной и контрфорсной плотин. Вид контрфорсной плотины и винтового подъемника плоских щитов водослива..... | 18 |
| Таблица 2. Сооружения русловой приплотинной гидроэлектростанции при $N_{уст} = 19200$ квт и $H = 5,0$ м..... | 7 | Таблица 17. Машинное здание и водоприемные сооружения приплотинной гидроэлектростанции мощностью 10000 квт. Вид приплотинной гидроэлектростанции мощностью 11 000 квт с купольной плотиной. Вид рабочего колеса турбины Каплана..... | 19 |
| Таблица 3. Конструкция машинного здания ГЭС средней мощности при $H = 5-9$ м с внешним расположением грузоподъемного крана..... | 7 | Таблица 18. Детали водосливной плотины и водоприемные сооружения гидроэлектростанции мощностью 10 000 квт. Железобетонные конструкции машинного здания и водоприемных сооружений в контрфорсной плотине приплотинной гидроэлектростанции. Вид водосливов с сегментными затворами и речных подъемников. Вид строительства контрфорсной плотины..... | 20 |
| Таблицы 4—7. Сооружения, оборудование и производство работ русловой приплотинной гидроэлектростанции при $N_{уст} = 102\ 800$ квт и $H = 11,8$ м..... | 8 | Таблица 19. Сооружения приплотинной гидроэлектростанции с гравитационной плотиной при $N_{уст} = 24750$ квт и $H = 42,5$ м. Вид водосливов с автоматическими секторными затворами. Вид водосливной плотины с искусственным рассеиванием энергии. Вид аварийного водосброса..... | 21 |
| Таблица 8. Сооружения и конструкции русловой приплотинной гидроэлектростанции при $N_{уст} = 365\ 000$ квт и $H = 16,3$ м..... | 9 | Таблица 20. Расположение сооружений приплотинной гидроэлектростанции с набросной плотиной при $N_{уст} = 12000$ квт и $H = 43$ м..... | 22 |
| Таблица 9. Конструкция машинного здания гидроэлектростанции при $N_{уст} = 150\ 000$ квт и $H_{cp} = 19,5$ м..... | 12 | Таблица 21. Энергетические сооружения приплотинной гидроэлектростанции с набросной плотиной при $N_{уст} = 12\ 000$ квт и $H = 43$ м. Сооружения приплотинной гидроэлектростанции с высокой арочной плотиной при $N_{уст} = 120\ 000$ квт и $H = 22,5$ м. Вид строительства контрфорсной плотины. Вид криволинейного быстротока..... | 22 |
| Таблицы 10 и 11. Конструкция машинного здания гидроэлектростанции с внешним расположением крана при мощности агрегата $N = 33\ 500$ квт и $H_{cp} = 14,63$ м. Разрез по оси агрегата мощностью 40 000 квт с всасывающей трубой типа „гидрокон“. Вид рыбохода..... | 13 | Таблицы 22 и 23. Сооружения приплотинной гидроэлектростанции с арочной плотиной при $N_{уст} = 32\ 400$ квт и $H = 59$ м..... | 23 |
| Таблица 12. Конструкции машинных зданий русловых гидроэлектростанций с турбинами Каплана при напорах $H = 20$ м и $H = 3$ м..... | 14 | Таблицы 24, 25, 26 и 27. Сооружения приплотинной гидроэлектростанции с гравитационной плотиной при $N_{уст} = 1944000$ квт и $H_{cp} = 102$ м..... | 25 |
| Таблица 13. Машинное здание гидроэлектростанции при мощности агрегата $N = 8\ 800$ квт и $H_{cp} \approx 14$ м с пропуском паводка под генераторным залом. Разрез по оси крупного агрегата с применением гидрокона и уравновешенного затвора. Машинное здание с защитой от воздушных бомбардировок. Детали верхней части здания гидроэлектростанции при мощности агрегата $\sim 20\ 000$ квт..... | 15 | Таблица 28. Конструкция многоарочной плотины высотой 87,5 м с криволинейным быстротоком..... | 28 |
| Таблица 14. Машинное здание приплотинной гидроэлектростанции при $N_{уст} = 150000$ квт и $H = 32,5$ м на слабом скальном основании..... | 16 | | |
| Таблица 15. Конструкции машинного здания приплотинной гидроэлектростанции при $N_{уст} = 150000$ квт и $H = 23,5$ м..... | 16 | | |
| | 18 | | |

| | | | |
|---|----|--|----|
| Т а б л и ц ы 29—35. Сооружения приплотинной гидроэлектростанции с арочно-гравитационной плотиной при $N_{уст} \approx 1300000$ квт и $H_{cp} = 160$ м. Варианты сооружений..... | 30 | Т а б л и ц ы 46—48. Сооружения гидроэлектростанции с высокой арочной плотиной и с напорной деривацией при $N_{уст} = 140000$ квт и $H_{cp} = 93$ м..... | 44 |
| Т а б л и ц а 36. Приплотинная гидроэлектростанция с арочно-гравитационной плотиной при $N_{уст} = 360\ 000$ квт и $H_{cp} = 143$ м..... | 35 | Т а б л и ц а 49. Конструкция машинного здания, объединенная с гравитационной плотиной. Вид строительства гравитационных плотин. Схема сооружения гидростанции с напорным туннелем при $H = 187—197$ м. Сооружения гидроэлектростанции при подземном расположении машинного здания..... | 46 |
| Т а б л и ц а 37. Сооружения гидроэлектростанции с безнапорной деривацией при $N_{уст} = 13\ 300$ квт и $H = 38$ м..... | 36 | Т а б л и ц ы 50 и 51. Сооружения головного узла канала при расчетном расходе $Q = 425$ м ³ /сек на наносных грунтах с применением контрфорсной плотины и отстойника с комбинированным способом удаления наносов. Вид гравитационных плотин с различными конструкциями водосбросных сооружений..... | 47 |
| Т а б л и ц ы 38—40. Деривационная гидроэлектростанция с комбинированной конструкцией напорного деривационного водовода при $H = 160$ м. Сооружения гидроэлектростанции с безнапорной деривацией при $N_{уст} = 200000$ квт и $H = 44—55$ м на нескальных грунтах. Головной узел и вид станционного узла сооружений гидроэлектростанции с безнапорной деривацией..... | 37 | Т а б л и ц а 52, фиг. 1. Скребокые механизмы для удаления наносов из отстойника..... | 49 |
| Т а б л и ц ы 41—43. Варианты сооружений станционных узлов гидроэлектростанций с безнапорной деривацией при расходах ≈ 30 м ³ /сек и нескальных грунтах. Варианты водосбросных сооружений и противofiltrационных мероприятий..... | 39 | Т а б л и ц а 52, фиг. 2—7 и табл. 53—55. Сооружения гидроэлектростанций малой мощности..... | 50 |
| Т а б л и ц ы 44 и 45. Конструкция быстротока при расходе $Q = 125$ м ³ /сек. Видна работы по возведению опускной противofiltrационной стенки. Варианты сооружений гидроэлектростанции с комбинированной деривацией с отстойником и бассейном суточного регулирования. Сооружения гидроэлектростанции с высокой арочной плотиной и короткой напорной деривацией при $N_{уст} = 36\ 000$ квт..... | 42 | Т а б л и ц а 56. Применение вертикальных и горизонтальных турбин с всасывающими трубами типа „гидрокон“ в гидроэлектростанциях малой мощности..... | 52 |
| | | Т а б л и ц ы 57 и 58. Упрощенная конструкция машинного здания гидроэлектростанции при $N_{уст} = 4\ 500$ квт и $H_{расч} = 15,5$ м..... | 53 |
| | | Т а б л и ц ы 59 и 60. Упрощенная конструкция машинного здания гидроэлектростанции при $N_{уст} = 5000$ квт и $H_{расч} = 24$ м..... | 54 |

ВВЕДЕНИЕ

Начало использования гидроэнергетических ресурсов в нашей стране уходит в далекое прошлое. Архивные исторические материалы сохранили для нас данные об активной и творческой работе многих поколений наших предков, богатой примерами исключительно оригинального промышленного использования гидроэнергии многих водотоков в крупных масштабах и в различных районах нашей страны, — например на Урале и в Сибири. Этому прошлому уделяют много внимания советские исследователи-историки, например лауреат Сталинской премии В. В. Данилевский показавшие нам, насколько выше стоят по своему уровню многие из этих достижений по сравнению с достижениями западноевропейских стран и США. Современное промышленное и народнохозяйственное использование гидроэнергии в нашей стране особенно бурно развернулось параллельно с общим экономическим развитием нашей страны после свержения царизма. Гидроэлектростанции вошли крупной составляющей в нашу энергетику. Деятельность наших крупнейших организаций, ведущих работу по гидроэнергостроительству, — Главгидроэнергостроя МЭС, Гидропроекта МВД и треста Гидроэнергопроект МЭС — характеризуется значительными достижениями в области проектирования и строительства гидроэлектростанций; Главгидроэнергостроем МЭС построено значительное число крупнейших гидроэлектростанций. Научная деятельность ряда специальных научно-исследовательских институтов дала возможность применения ряда оригинальных технических решений и конструкций. Имена академиков Б. Е. Веденеева, Г. О. Графтио,

И. Г. Александрова и многих других гидротехников известны широким кругам населения нашей страны. Партией и правительством поставлены крупнейшие задачи в области гидроэлектростроительства. Они нашли отражение в частности, в плане четвертой пятилетки развития нашего народного хозяйства. Многочисленные новые кадры должны быть созданы в ближайшие годы для выполнения этих задач. Настоящий атлас предназначается для использования в учебной, а также и производственной работе и должен служить дальнейшему прогрессу нашей гидроэнергетики.

Разнообразие природных условий и исходных предпосылок имеет следствием многообразие конструктивных форм использования водной энергии, сооружений, входящих в состав схем гидроэлектростанций, величин напоров, используемых объемов стока, мощностей и степени регулирования стока. Уровень технических знаний, строительный опыт, наличные материалы и оборудование определяют и иногда ограничивают масштабы гидроэлектростроительства. Напоры от нескольких метров до нескольких сот и даже тысячи метров, используемые расходы от нескольких сот литров в секунду до 15÷18 тысяч куб. метров в секунду, мощности от нескольких киловатт до нескольких миллионов киловатт, разнотипные плотины, водоводы, водосбросы, водоприемники, затворы, здания станций и их оборудование, в самых разнообразных сочетаниях встречающиеся в гидроэлектростроительстве, характеризуют чрезвычайно большое разнообразие конструкций осуществленных гидроэлектростанций и их масштабов. Соответствуя местным условиям и производя энергию в необходимых количествах, они успешно и экономично эксплуатируются. Существенное влияние на конструктивные формы сооружений и возмож-

¹ См., например, В. В. Данилевский. История гидросиловых установок России до XIX века, Госэнергоиздат, 1940 г.; В. В. Данилевский, Русская техника, 1947 г.

ные энергетические параметры гидроэлектростанций оказывают геологические условия.

В учебной, а также в практической работе наличие подробных конструктивных материалов, достаточно широко и подробно характеризующих современный уровень использования водной энергии, в значительной степени способствует повышению продуктивности и степени полноты изучения методов использования водной энергии. С этой целью в атлас гидроэлектростанций нами включено значительное число разнообразных примеров конструктивных решений, отражающих опыт современного проектирования и строительства гидроэлектростанций. Основное внимание при этом было обращено на схемы расположения сооружений, конструкции машинных зданий гидростанций, водоприемников и энергетических водоводов. Попутно рассмотрены конструкции водосбросных сооружений и плотин, вошедшие в состав схем, рассмотренных в атласе. Большинство рассмотренных в атласе схем и конструкций публикуется впервые, и атлас, таким образом, дополняет материалы, рассматриваемые изданными в печатном виде курсами использования водной энергии, гидротехнических сооружений и турбинного оборудования. В пояснительной записке в краткой форме сообщены энергетические и конструктивные параметры рассмотренных в атласе схем и сооружений.

Рассматриваемые в атласе конструкции не привязываются к каким-либо географическим координатам и названиям. Необходимые ссылки на местные, и в том числе климатические и геологические, условия имеются в тексте пояснений.

При использовании атласа в учебной работе при изучении курса использования водной энергии может быть рекомендована выдача заданий, при выполнении которых учащиеся приобретали бы навыки критического анализа схем осуществленных гидростанций, состава, типов и размеров сооружений и их деталей. Примером заданий подобного рода могут, например, являться, нижеследующие вопросы: а) проверка гидравлической схемы энергетических водоводов схем гидростанций, потерь напора, предельной пропускной способности водоводов, величин напоров и проверка возможности работы гидростанции с полной установленной мощностью; б) определение скоро-

стей в водоводах, решетках, водосбросных сооружениях, принятых в рассматриваемых конструкциях; в) проверка обоснованности принятых размеров водоводов, турбинных камер всасывающих труб, водоприемников, отстойников, уравнительных резервуаров, напорных бассейнов и машинных зданий на основании технических и экономических соображений; г) проверка обоснованности выбора турбинного оборудования, установление допущенных в установках коэффициентов кавитации и сравнение их с данными турбинных заводов, проверка расчетных формул турбинного и вспомогательного оборудования; д) расчеты по установлению временной неравномерности хода агрегатов с учетом гидравлического удара и определение величин последнего; е) конструктивный расчет и проверка прочности сооружений — например машинного здания, его подкрановых конструкций, конструкций водоводов, резервуаров, бассейнов, водоприемников; ж) проверка устойчивости машинных зданий, напряжений под зданием и под опорами трубопроводов. При критическом анализе схем гидростанций и их сооружений необходимо установление возможности или целесообразности их изменения, усовершенствования или упрощения, с учетом требований постепенного развития мощности гидростанций, экономичности укрупнения агрегатов и т. д. Можно было бы привести довольно много дополнительных примеров подобного рода относительно возможного использования материалов настоящего атласа гидроэлектростанции, причем в значительной мере его использование может иметь место и при изучении курсов гидротехнических сооружений, оснований и фундаментов, гидравлики, железобетонных и металлических конструкций и ряда других дисциплин.

Существующее многообразие конструкций гидростанций и их сооружений настолько велико, что в рассматриваемом атласе, несмотря на значительное число приведенных в нем схем и конструкций, все же не представилось возможным исчерпать полностью возможные и применяемые конструкции. Курсы использования водной энергии, гидротехнических сооружений, специальные монографии и атласы, посвященные отдельным типам сооружений и оборудования, будут в дальнейшем служить целям распространения в печатном виде подробных материалов по каждому из видов сооружений и оборудования.

ПОЯСНЕНИЯ К ТАБЛИЦАМ

Таблица 1. На *фиг. 1, 2, 3 и 4* изображены план и основные сечения русловой приплотинной гидроэлектрической станции средней мощности, расположенной на нескальных (глинистых) грунтах. Напоры $H_{\max} \approx 11,0$ м; $H_{\min} \approx 2,5$ м и $H_{\text{норм}} = 9,0$ м. Установленная мощность равна 9 000 квт в двух агрегатах с применением турбин Каплана. Данные схема и состав сооружений являются типичными для современных установок этого типа с значительными водохранилищами, в условиях сравнительно широкой равнинной реки. Водосливная бетонная плотина с применением железобетонной анкерной плиты и песчаной пригрузки над ней имеет пять пролетов по 20,0 м при нормальной толщине слоя воды над порогом водослива 7,5 м и допускаемой форсировке при пропуске паводка повторяемостью 0,01% до 9,1 м. Мостовой кран плотины располагается на подкрановых фермах, размещаемых на высоких бетонных опорах. Автодорога проходит со стороны нижнего бьефа по бычкам, опирающимся на массивы всасывающих труб. С левой стороны к водосливу примыкает машинное здание. По обе стороны указанных сооружений располагается земляная плотина из намывных песчаных грунтов, перекрывающая также и русло реки. Суммарная длина гребня земляной плотины $\sim 3,8$ км. Турбины Каплана размещаются в железобетонных спиральных камерах. Изогнутые всасывающие трубы и входная часть турбинных камер имеют промежуточные бычки толщиной 1,75 м при величине пролетов всего лишь по 5,0 м. Шандоры и щиты выведены примерно до минимального уровня верхнего бьефа и устанавливаются под защитой специального служебного помещения, обслуживаемого мостовым грузоподъемным краном. Над всасы-

вающими трубами размещены помещения насосного и электротехнического оборудования и мост автодороги. Автоматические регуляторы расположены между генераторами на отметке 552,5 м, т. е. на 5,0 м ниже отметки служебного моста и верха статора зонтичных генераторов. На разрезе и плане машинного здания показаны размещение оборудования, монтажной площадки, конструкции турбинных камер и всасывающих труб и помещение распределительного устройства. На поперечных разрезах водосливной плотины и здания показаны также конструктивные мероприятия, удлиняющие пути фильтрации. Верхний бьеф в целях регулирования сбрасывается на 2,4 м ниже нормальной отметки верхнего бьефа.

Таблица 2, *фиг. 1—4*. Изображенные на данной таблице план расположения сооружений и конструкции машинного здания относятся к русловой приплотинной гидроэлектрической станции средней мощности, работающей при очень небольшом напоре, создаваемом в условиях равнинной реки. Создание напора $H = 5,0$ м в данных местных условиях потребовало сооружения дамб значительной длины по обоим берегам (*фиг. 4*). Машинное здание располагается у левого берега (на чертеже залито черным). Установленная мощность $N=19$ 200 квт сосредоточена в четырех агрегатах. Отметка нормального уровня верхнего бьефа — 9,00 м, однако при пропуске катастрофического паводка уровень повышается до отметки 11,50 м. Весь узел сооружений расположен на песчаных грунтах. Водосливная плотина имеет 11 пролетов по 22,5 м. Величина паводка повторяемостью 0,01% оценивается приблизительно в

17 500 м³/сек. Минимальные расходы падают до 80÷100 м³/сек. Типичные гидрографы реки изображены на *фиг. 5*. По схеме использования реки на ней несколько выше по течению предположено сооружение водохранилища (*фиг. 6*) с полезным объемом порядка 40÷60 км³, обеспечивающим многолетнее регулирование и срезку пика паводка. Это упрощает схему данного узла и пропуск паводка в процессе производства строительных работ.

Водоприемная часть турбинных камер машинного здания гидростанции (*фиг. 1*) защищается ледозащитной стенкой, расположенной в плане почти параллельно руслу реки. Расположение машинного здания на левом возгнутом берегу является благоприятным в отношении минимального заиления водоприемников турбинных камер речными наносами. Расчетный расход турбин гидростанции

≈485 м³/сек при напоре $H = 4,5$ м. Упомянутое выше водохранилище, кривая объемов которого также приведена на чертеже, после его сооружения существенно улучшает работу рассматриваемой гидростанции.

На *фиг. 1* и *2* изображены поперечные, продольные и горизонтальные сечения машинного здания данной гидростанции. При напоре $H = 5,0$ м (падающем в период паводка до нуля) каждая из четырех турбин Каплана имеет мощность по 4 800 квт при 88 об/мин и коэффициенте быстроходности $n_s = 950$. Уменьшение объема работ и глубины заложения фундаментов достигается установкой турбин в сифонных турбинных камерах, что устраняет также необходимость установки щитов при входе в турбинные камеры. Наибольшая высота всасывания достигает 4,50 м. Перед входом в турбинные камеры предусмотрена забральная стенка. Здание расположено на песчаных грунтах и рассчитано на максимальную разность уровней верхнего и нижнего бьефов. Это потребовало применения показанных на чертеже противифльтрационных мероприятий. Над всасывающими трубами размещены помещения вспомогательного турбинного оборудования, трубопроводов различного назначения и электротехнического оборудования. При расположении гидростанций в районах с длительными морозными периодами над входной частью турбинных камер обычно предусматривают служебное помещение, облегчающее обслуживание щитовых и шандорных устройств и решеток. Этот вариант изображен на разрезе *фиг. 3*. Высокое расположение турбин в сифонных камерах приводит и значительному уменьшению объема

бетонных работ по сравнению с вариантом расположения турбин в напорных камерах. Суммарный объем бетона в блоках всех четырех агрегатов составляет при сифонном варианте ~ 32 500 м³ вместо 38 250 м³, необходимых при варианте с напорными турбинными камерами. Сифонные турбинные камеры также существенно уменьшают вес необходимых металлических конструкций и объем грунтовых выемок.

На *фиг. 3* табл. 2 изображен вариант машинного здания с расположением турбин в напорных турбинных камерах. При неизменной форме всасывающих труб это приводит к дополнительному углублению основания примерно на 3,0 м и к необходимости установки щитов при входе в турбинные камеры. Число оборотов агрегатов могло бы быть повышено по сравнению с вариантом установки турбин в сифонных камерах. Уменьшение выемок под зданием и при переходе к нормальным отметкам дна могло быть достигнуто применением форм всасывающих труб с постепенно поднимающейся выходной частью изогнутой всасывающей трубы. Над входной частью турбинных камер предусмотрено специальное служебное помещение. Изучение данного варианта рекомендуется производить путем сопоставления его с вариантом, изображенным на *фиг. 1* и *2*.

Т а б л и ц а 3. На *фиг. 1, 2* и *3* изображена конструкция машинного здания гидростанции средней мощности при напоре $H = 5÷9$ м, также расположенного на нескальных грунтах, особенностью которого является внешнее расположение грузоподъемного крана. В данной схеме применен обычный мостовой кран, перемещающийся по железобетонным опорным конструкциям типа эстакады. *Фиг. 2* показывает, что рядом с машинным зданием располагается холостой водосброс из подводящего канала в нижний бьеф с пролетом 10,0 м. В машинном здании устанавливается всего лишь один агрегат, так как данная гидроэлектростанция работает параллельно с несколькими другими электростанциями. Турбина Каплана размещается в напорной турбинной камере. Расположение турбины в сифонной камере и придание еще более крутого наклона горизонтальному участку изогнутой всасывающей трубы позволило бы существенно уменьшить объемы работ. При входе в турбинные камеры щиты не предусматриваются, в соответствии со специфическими особенностями схемы подводящих сооружений.

Фиг. 2 дополнительно поясняет конструкции здания и подкрановых опор. Слева от генератора на отметке 612,92 м располагается автоматический регулятор турбины, который правильнее было бы разместить ближе к турбине на отметке ~ 606,50 м. Это уменьшило бы длины передач от вала агрегата к регулятору и длину трубопроводов от маслоснапорной установки к сервомоторам направляющего аппарата. Регулятор расположен в части здания, выступающей над холостым сбросом. При размещении регулятора на отметке 606,50 м можно было бы отказаться от части здания, выступающей над сбросом.

На фиг. 3 изображены горизонтальные сечения данной конструкции здания. Разрез по турбинной камере поясняет ее форму, а также форму всасывающей трубы с применением промежуточных бычков. Форма всасывающей трубы в плане могла бы быть улучшена приданием плавного очертания колену всасывающей трубы в плане, с плавным примыканием к боковым стенкам выходной части трубы. Применение спиральной камеры с углом охвата $\alpha < 180^\circ$, т. е. сдвиг точки примыкания спирали к направляющему аппарату в заднюю часть турбинной камеры, улучшило бы, вероятно, при данных соотношениях величину к. п. д. турбинной установки. На средней проекции показаны конструкция опор генератора, а также размещение электрооборудования и служебных помещений над всасывающей трубой. На правой проекции показаны размеры генераторного зала, размещение подкрановых опор и место для монтажа оборудования, расположенное вне стен здания. При одном агрегате, сравнительно небольшой величине осадков и при отсутствии периодов длительных морозов отказ от крытой монтажной площадки может считаться допустимым. Обычно же наличие крытых монтажных площадок является необходимым во избежание повреждений оборудования в период монтажа и ремонта.

На фиг. 4 табл. 3 изображена железобетонная турбинная спиральная камера более сложной формы, чем это имеет место на фиг. 1—3 данной таблицы. В основе этой конструкции лежит стремление создать границы потоков, поступающих через каждый из трех пролетов водоприемного отверстия турбинной камеры. Данная форма представляется чрезмерно сложной и в большинстве современных установок от подобного усложнения форм турбинных камер отказываются, так как отсутствуют доказательства эффективно-

сти подобного рода усложнений. В отдельных случаях, однако, применение спиральных камер подобных форм имеет место, в том числе и на крупных электростанциях.

Таблица 4. На фиг. 1 изображен план крупной русловой приплотинной гидроэлектростанции. Машинное здание данной гидроэлектростанции расположено в одном створе с плотиной, что возможно лишь при достаточно большой ширине русла реки. Это обеспечило минимальный объем выемок. При напоре $H = 11,8$ м в машинном здании установлено четыре агрегата с турбинами Каплана мощностью по 25 700 квт. Суммарная мощность гидроэлектростанции при минимальных напорах падает до 37 500 квт. Лабораторные исследования показали, что при нормальной подпорной отметке водосливная плотина обеспечивает пропуск расхода максимальной паводка в 5 000 м³/сек через три пролета. Массивные сооружения располагаются на скальных грунтах, залегающих достаточно близко к поверхности. Лишь частично машинное здание потребовало более сложных фундаментных работ (кессонов). Повысительная подстанция на напряжения 24, 110 и 135 кв расположена на правом берегу, равно как и здание распределительного устройства. На левом берегу в дальнейшем будут размещены две очереди судоходных шлюзов. Нормальный расчетный расход четырех агрегатов гидроэлектростанции равен 1 000 м³/сек и имеет обеспеченность около 50%. При максимальном открытии турбин их суммарная пропускная способность достигает 1 200 м³/сек, что имеет значение в периоды пониженных напоров. По плотине проходит служебный мост шириной 5,0 м. В промежуточном устое между плотиной и машинным зданием расположен рыбоход, концевые участки которого предусматривают его использование при всех уровнях верхнего и нижнего бьефов. Ширина рыбохода — 2,0 м, длина отдельной ступени — 2,14 м, высота каждой ступени — 0,33 м.

На фиг. 2 табл. 4 изображено поперечное сечение машинного здания той же гидроэлектростанции. Верхнее сечение относится к части здания, расположенной на скалистых грунтах, залегающих на высоких отметках. Нижнее сечение относится к зоне размытых скалистых грунтов, потребовавших применения металлических шпунтовых ограждений и даже кессонного основания. Машинный зал имеет относительно малую ширину, что объясняется береговым расположением повысительной подстанции и большим расстоянием между от-

дельными агрегатами, допускающими установку между ними оборудования автоматического регулирования, а также размещение деталей агрегата в процессе монтажа. Турбинные камеры железобетонной конструкции выполнены с гладкими железными поверхностями стенок, и даже входные части камер возводились с применением строганной опалубки. Всасывающие трубы были подвергнуты подробным лабораторным исследованиям и сравнению с прямоосными трубами типа «гидрокон» (см., например, табл. 13 *фиг. 2*). Последние по данным лабораторных исследований обеспечивали ту же величину к. п. д., но не давали, как указывают материалы проекта, уменьшения стоимости и упрощения работ. На участках труб со скоростями выше 6,0 м/сек трубы имеют металлическую облицовку. На устойчивость здание рассчитано в предположении наличия фильтрационного давления, распределяющегося по закону прямой линии. Дренаж, предусмотренный под зданием, при этом предполагается неработающим. Водоприемная конструкция турбинных камер связана консолями с основанием здания, что увеличивает его устойчивость. Сороудерживающие решетки из полос обтекаемого профиля сечением 20X2 см имеют просветы между полосами решетки в 15 см. Решетка выполнена из панелей шириной 0,9 м. Удаляемый с решеток сор сбрасывается в нижний бьеф по специальному лотку, расположенному над водоприемниками турбинных камер. Откачка воды из турбинных камер, всасывающих труб и дренажной системы производится двумя насосами производительностью 300 л/сек при расчетном напоре 15 м. Ремонтные шандоры каждой турбинной камеры состоят из шести щитовых панелей (по две в каждом пролете водоприемника), причем нижние выполнены в виде скользящих щитов, а верхние — в виде колесных, опускание которых является возможным при продолжающемся пропуске через каждый агрегат расхода порядка 50 м³/сек. Охлаждение подшипников и масла производится водой, идущей самотеком из верхнего бьефа, однако имеется также резервный насос. Воздух для охлаждения генераторов подводится со стороны верхнего бьефа; зимой охлаждение генераторов может частично или полностью производиться за счет воздуха, находящегося в машинном здании.

Фиг. 3, 4 и 5 табл. 4 поясняют схему пропуска расходов в процессе производства работ и очередность работ по возведению сооружений. Подготовительные работы были нача-

ты в апреле; в августе были закончены переемычки *A* и *B* первой очереди (*фиг. 3*). К июню следующего года нижняя часть плотины у левого берега была закончена, переемычки *A* взорваны, сооружены переемычки *C* второй очереди, примыкающие к крайнему бычку пролета *II*. Дальнейший пропуск паводка до середины мая третьего года строительства производился через пролеты плотины *I* и *II* и неогражденную часть русла у правого берега (*фиг. 4*). На третий год в мае переемычки *C* были взорваны и возведены переемычки *D*, причем пропуск расходов в дальнейшем производился через все четыре пролета плотины (*фиг. 5*). К сентябрю четвертого года работы по машинному зданию были закончены, переемычки *B* и *D* взорваны и приступлено к наполнению водохранилища.

Таблица 5. На *фиг. 1* изображены горизонтальные и продольные вертикальные сечения машинного здания гидроэлектростанции, изображенной на табл. 4. Уменьшение потерь в турбинных камерах при относительно небольшой их высоте и большой величине угла охвата достигнуто значительным увеличением ширины камер. Это привело к необычайно большому расстоянию между агрегатами. Водоприемная часть камер двумя промежуточными бычками делится на три пролета по 7,1 м. Во всасывающих трубах также предусмотрен промежуточный бычок, однако применение двух бычков вместо одного способствовало бы дополнительному облегчению конструкции верхней и нижней плит всасывающих труб. Оборудование автоматического регулирования турбин располагается на отметке основания генераторов, т. е. в непосредственной близости от сервомоторов направляющего аппарата. Три сквозными конструктивными швами машинное здание разрезано на четыре блока.

На *фиг. 2* изображена конструкция турбины Каплана, аналогичной установленной в машинном здании рассматриваемой гидроэлектростанции и имеющей несколько больший диаметр рабочего колеса.

Спиральные турбинные камеры данной гидроэлектростанции интересно сравнить со спиральными камерами турбин Каплана одной из последних по времени сооружения русловых гидроэлектростанций, изображенными на *фиг. 3а* и *3б* табл. 5. Диаметр рабочего колеса данной турбины равен 6,7 м, расчетный напор 10,9÷15,8 м, максимальный расход ~ 275 м³/сек и максимальная мощность тур-

бин 31 000 квт при 75 об/мин. Разгонное число оборотов 175 в мин. Форма спиральной камеры в данной конструкции существенно отличается от формы камер, изображенных на *фиг. 1*, имеет угол охвата меньше 180° и не имеет криволинейных промежуточных бычков. Входная часть камер, а также и всасывающие трубы имеют по два промежуточных бычка простой формы. Опыт эксплуатации крупных турбин Каплана выявил необходимость массивных металлических облицовок верхней части всасывающей трубы вследствие значительных пульсаций давления и кавитационных явлений непосредственно под рабочим колесом турбины.

Изображенная на *фиг. 4* конструкция подпятника агрегата рассматриваемой гидроэлектростанции при его мощности в 25 700 квт и при 75 об/мин рассчитана на нагрузку в 900 т. Подпятник утоплен в опорную крестовину генератора. На валу агрегата укреплено опорное кольцо, которое опирается на восемь опорных сегментов. При вращении опорного кольца в зазор между поверхностью опорного кольца и сегментными плитами увлекается масло. Таким образом непосредственное соприкосновение металлических поверхностей опорных кольца и сегментов является полностью исключенным. Это обеспечивает минимальные потери трения и минимальный износ опорных поверхностей.

Фиг. 5 табл. 5 поясняет сложную и весьма ответственную конструкцию втулки рабочего колеса той же гидроэлектростанции. Каждая из пяти рабочих лопаток, весом около 10 т, имеет укрепляемую внутри втулки цапфу диаметром 425—600 мм. Обязательные исследования модели втулки были проведены с целью выбора конструкций и материалов для отдельных деталей втулки, обеспечивающих длительную безаварийную эксплуатацию и отсутствие потерь масла из втулки. Крепление лопаток во втулке представляет большой интерес вследствие больших усилий, создаваемых давлением воды на лопатки и центробежными силами.

На *фиг. 6* табл. 5 изображен график гарантированных величин к. п. д. турбины Каплана мощностью 25 700 квт, установленных на данной гидроэлектростанции. Для сравнения на том же графике нанесены также величины к. п. д. турбин, полученные при испытаниях установки. При этом максимальная величина к. п. д. турбин приблизительно на 3% превышала максимальную его величину, гарантированную заводом. Максимальная вели-

чина к. п. д. турбины при испытаниях составила 0,927. На *фиг. 7* приведены величины к. п. д. комплектного агрегата, включая потери в турбине и генераторе, полученные при испытании. Графики *фиг. 6* и *7* иллюстрируют большие достоинства турбин Каплана. Величина к. п. д. не падала ниже 85% в весьма широких пределах изменений нагрузки агрегата.

На *фиг. 8* табл. 5 изображен вид на конструкцию водоприемников турбинных камер и машинное здание той же гидроэлектростанции со стороны верхнего бьефа. Фотография показывает размещение сороудерживающих решеток, поддерживающих их промежуточных и междуканальных бычков и опорных горизонтальных балок подрешетчатой конструкции. По служебному мостику над решеткой размещаются порталный кран, обслуживающий аварийные щиты водоприемников и решетки, и машина для очистки решеток от сора. Размещенные перед бычками решетки смежных камер образуют непрерывную решетчатую конструкцию, что упрощает работу сороочищающей машины.

Таблица 6. *Фиг. 1* поясняет конструкцию турбин и генераторов гидроэлектростанции, изображенной на табл. 4 и 5. Усилие на каждую лопатку с учетом давления воды достигает 72 т. Усилие на лопатку от центробежных сил при разгонном числе оборотов ~800 т. Генератор мощностью 32 500 ква, допускающий длительную перегрузку до 35 000 ква, имеет диаметр ротора 9,4 м. Внешний диаметр статора—11,0 м, внешний диаметр металлического вентиляционного кожуха — 13,5 м. На рисунке показаны детали турбины, генератора, подпятника и направляющих подшипников, связь автоматического регулятора с турбиной, металлическая облицовка турбинной шахты, передающая нагрузку от генератора и подпятника опорным стойкам скоростного кольца турбины. На каждую из опорных стоек, имеющих высоту 2,6 м, передается нагрузка в 220 т. Осмотр и внешний ремонт поверхности рабочих лопаток возможны без разборки турбины и генератора. Маховой момент генератора—12 500 т·м². Полный вес каждого генератора равен 535 т. Тормозные пневматические приспособления обеспечивают полную остановку агрегата в течение 1÷2 мин.

Фиг. 2 табл. 6 изображает внутренний вид машинного здания той же гидроэлектростанции. Вдоль здания, со стороны верхнего бьефа,

предусмотрен сквозной служебный мостик, облегчающий обслуживание подпятников и возбудителей генераторов. В здании установлены два грузоподъемных крана по 150 т каждый. Металлические подкрановые балки поддерживаются железобетонными колоннами. Металлические вентиляционные кожухи вокруг статора генераторов обеспечивают охлаждение генераторов внешним воздухом. В конструкции предусмотрен в дальнейшем переход на замкнутую циркуляционную систему охлаждения генераторов. На Валу каждого агрегата над подпятником размещается возбудитель в 370 квт с дополнительным подвозбудителем. Каждый из напорных воздушно-масляных цилиндрических резервуаров автоматического регулирования имеет объем 5,0 м³. При каждом регуляторе имеется два масляных насоса производительностью 12,5 л/сек.

На *фиг. 3* табл. 6 изображены кривые продолжительности величин расходов, уровней верхнего и нижнего бьефов, статических напоров и мощностей данной гидростанции. Среднегодовая мощность, установки составляет ~ 75 000 квт в средний гидрологический год при минимальной мощности порядка 37 500÷40 000 квт и максимальной мощности ~ 147 000 квт, при максимальном расходе турбин $Q = 1\ 200\ \text{м}^3/\text{сек}$. Отсутствие водохранилища приводит к значительному уменьшению мощности в маловодные периоды. Оно было бы еще более существенным, если бы в верховьях реки не было крупных озер.

Т а б л и ц а 7 поясняет конструкцию водосливной плотины гидростанции, рассмотренной на табл. 4, 5 и 6. Каждый из четырех пролетов плотины, шириной по 24 м в свету, имеет полную высоту сдвоенных щитов в 12,0 м. Порог плотины расположен примерно на отметке залегания скальных грунтов в русле реки. Флютбет плотины, расположенной на трахитовых известняках, имеет зуб со стороны верхнего и нижнего бьефов; для устранения размыва в нижнем бьефе предусмотрен зубчатый гаситель (*фиг. 1* и *2*). Бычки плотины имеют толщину 5,0 м. Части бычков перед шандорами и находящиеся под уровнем со стороны нижнего бьефа порог и флютбет облицованы гранитом и частично армированы. При четырех верхних полностью (на 4,5 м) опущенных щитах обеспечивается пропуск 1 700 м³/сек. При четырех турбинах, работающих при полной нагрузке, необходимость открытия нижних щитов плотины наступает лишь в исключительных случаях, — при рас-

ходах, превышающих 2 700 м³/сек. Водосливной козырек верхних щитов защищает конструкции щитов от действия сбрасываемых струй. Устранение вакуума под струей достигается подводом воздуха через специальные шахты, предусмотренные в бычках. Подъемные механизмы верхних щитов рассчитаны на усилие в 168 т, механизмы нижних щитов — на усилие в 194 т, включая запас порядка 35 т на непредвиденные сопротивления. Мощность мотора каждого подъемника — 23,5 квт, скорость перемещения щита — 0,2 м/мин. Ручным приводом положение щита может быть изменено на 0,5 м/час при непрерывной работе 12 человек. При внезапном выпадении нагрузки, равной полной мощности гидростанции, устранение быстрого подъема уровня верхнего бьефа за счет неиспользуемого расхода в 1 000 ÷ 1 200 м³/сек имеет большое значение и это требует быстрого открытия щитов плотины. Обеспеченность снабжения током моторов плотины в этом отношении имеет очень существенное значение. Шандорные ограждения осуществлены в виде четырех шандор высотой по 3,2 м, устанавливаемых порталным краном грузоподъемностью 75 т. Со стороны нижнего бьефа имеется проезжий служебный мост железобетонной конструкции шириной 5,0 м. На *фиг. 2* изображены горизонтальные сечения двух водосливных пролетов плотины, примыкающих к левому берегу. Более детально эта конструкция изображена на *фиг. 3*, включая размещение подъемных механизмов. На *фиг. 4* изображен вид на сдвоенный щит со стороны нижнего бьефа.

Т а б л и ц а 8 изображает приплотинную гидроэлектростанцию руслового типа, расположенную на скальных грунтах и имеющую при расчетном напоре $H = 16,3\ \text{м}$ проектную установленную мощность 365 000 квт и ежегодную выработку энергии в среднем ~ 800·10⁶ квтч. Полная длина плотины равна 1 245 м. Водосбросы плотины при максимальном наблюдаемом расходе ~ 20 000 м³/сек рассчитаны на пропуск паводка в 32 250 м³/сек через 32 водосливных пролета. Каждый пролет паводкового водосброса перекрывается плоским щитом шириной 14,63 м и высотой 10,67 м. Машинное здание со стороны верхнего бьефа ограждено ледозащитной стенкой (см. сечение $G—G$) и дамбой (сечение $H—H$). В машинном здании при полном развитии устанавливаются 12 агрегатов с турбинами Каплана мощностью по 31 260 квт, работающими при 109,1 об/мин и при средней вели-

чине коэффициента быстроходности $n_s=665$ и расчетном расходе в $250 \text{ м}^3/\text{сек}$. Мощность каждого генератора зонтичного типа с замкнутым воздушным охлаждением равна $36\,000 \text{ кв}$. Портальные краны в 50 т обслуживают водоприемные сооружения турбинных камер; аналогичные краны в 25 т обслуживают шандоры всасывающих труб (см. сечение $D-D$). Вблизи машинного здания в конце ледозащитной стенки располагаются восемь водосбросных пролетов, из которых четыре оборудованы сдвоенными щитами и предназначены для регулирования уровня верхнего бьефа в связи с колебаниями нагрузки гидростанции и для работы при сравнительно небольших изменениях расхода реки. Верхние щиты данных четырех пролетов обслуживаются лебедками, управляемыми с пульта управления, и обеспечивают пропуск расходов до $750 \text{ м}^3/\text{сек}$ без необходимости пользования портальными кранами плотины. Это дает возможность держать уровень верхнего бьефа почти постоянным. Машинное здание предполагалось выстроить в две очереди. Против места расположения агрегатов второй очереди возведены лишь водоприемные сооружения, являющиеся подпорным сооружением на данном участке створа и входящие составной частью в законченную конструкцию машинного здания. Одновременно под зданием второй очереди частично возведена также и подводная часть (см. сечение $J-J$). Вся электрическая часть и повысительная подстанция расположены между машинным зданием и его водоприемниками (см. сечение $D-D$). Полный срок строительства данной гидростанции при шести агрегатах, включенных в промышленную эксплуатацию, составил 2 года 3 месяца.

Сечения $B-B$ и $C-C$ табл. 8 поясняют конструкцию основной водосливной части плотины данной гидростанции, используемой при значительных изменениях расходов реки. 28 водосливных пролетов оборудованы щитами Стонея, обслуживаемыми двумя портальными кранами грузоподъемностью по 150 т . Те же краны обслуживают нижние щиты четырех водосливных пролетов, оборудованных сдвоенными щитами. Верхние щиты этих пролетов (см. сечение $C-C$) обслуживаются цепными лебедками, управляемыми с пульта управления машинного здания. Данные лебедки расположены в специальных помещениях, предусмотренных в теле бетонной плотины ниже водосливного гребня плотины. Справа от сечения $C-C$ изображен вид на водосливную часть плотины со стороны нижнего бьефа. На

этой проекции и на сечениях водослива показаны также конструкции портальных кранов.

Таблица 9. Изображенная на данной таблице конструкция машинного здания является типичной для крупных гидроэлектростанций приплотинного руслового типа при весьма слабых грунтах. В данном случае она вошла, в соответствии с соотношением размеров здания и величины напора, в состав сооружений гидростанции с безнапорной деривацией. В 3 км от данного машинного здания имеется водохранилище с отметкой уровня $+10,0 \text{ м}$. Из водохранилища к машинному зданию гидростанции вода поступает по каналу длиной 3 км с максимальным расчетным расходом $\sim 875 \text{ м}^3/\text{сек}$. Минимальный уровень воды в реке равен $13,5 \text{ м}$, что определяет величину напора $H_{\text{сман}} = 23,5 \text{ м}$. Глубина подводящего канала изменяется от $13,45 \text{ м}$ в начале до $21,5 \text{ м}$ в конце. Вследствие значительной водопроницаемости грунтов дно и стенки канала имеют глинобетонную одежду с облицовкой поверхности бетонными плитами. Основными факторами, определяющими рассматриваемую конструкцию машинного здания, являлись весьма неблагоприятные геологические условия и необходимость значительного веса для обеспечения устойчивости блока,— этим объясняются значительные размеры бетонных массивов здания. В указанных условиях явился целесообразным отказ от обычной конструкции напорного бассейна и подвода воды к зданию с помощью турбинных трубопроводов. В данном случае вода из напорного бассейна поступает непосредственно в водоприемники турбинных камер (фиг. 1). С целью наиболее полного использования веса конструкции помещение затворов составляет одно целое с машинным зданием. Этим также в значительной степени уменьшается опасность неравномерных осадков. Распределение бетонных масс, принятое в конструкции здания, обеспечивает равномерную величину напряжений в основании здания. Водоприемные отверстия турбинных камер перекрываются двумя щитами со стационарными подъемными механизмами. Для обслуживания шандор, щитов и подъемных механизмов имеется специальный мостовой кран. Подъемные механизмы приподняты над полом, что позволяет выкатывать щиты из-под лебедок и захватывать их краном.

В машинном здании установлены три агрегата с турбинами Каплана диаметром $6,0 \text{ м}$ и мощностью по $50\,000 \text{ квт}$ каждая при рас-

четном напоре $H = 19,5$ м и 88 об/мин. Генераторы зонтичного типа имеют мощность по 62 500 *квт*. Последние 8,8 м всасывающей трубы выполнены в виде отрезной конструкции, что было обусловлено стремлением получить лучшее распределение напряжений по подошве. Для шандор имеется специальный прорез. Следует, однако, учитывать, что в период работы турбин этот прорез должен закрываться. К недостаткам конструкции следует отнести недостаточное надежное сопряжение глинобетонной одежды в верхнем бьефе с бетонной частью машинного здания. Применение сводчатого перекрытия здания также является излишним усложнением конструкции.

На *фиг. 2* изображены вертикальные продольные сечения по оси агрегата, по водоприемной части турбинной камеры, вид со стороны нижнего бьефа, сечение по монтажной площадке и сечение по помещениям распределительного устройства. В массивных бетонных блоках, на которых покоится нижняя опорная крестовина генератора, имеются два прохода внутрь турбинной шахты. Опасение возможности неравномерных осадок отдельных частей здания привело к отказу от размещения фундаментов части здания на насыпных грунтах. По этой причине монтажная площадка расположена на ячеистой бетонной конструкции фундамента с высокими опорными стенками. Являлось бы целесообразным размещение служебных помещений в нижней части блока монтажной площадки. Разрез по корпусу служебных помещений показан схематически. На *фиг. 3* изображены горизонтальные сечения конструкции машинного здания той же гидроэлектростанции. Бетонная спиральная турбинная камера с тавровым несимметричным сечением имеет угол охвата около 165° . Данная форма спирали дала возможность получить расстояние между агрегатами равным 20,5 м. Водоприемная часть турбинных камер имеет промежуточные бычки, которые уменьшают величину каждого пролета до 4,6 м. Соответственно нецентральному положению оси турбины по отношению к стенкам камеры всасывающая труба имеет форму, также несимметричную в плане. Статор генератора опирается на кольцевую железобетонную опору толщиной 0,9 м с отверстиями для прохода охлаждающего воздуха, которая, в свою очередь, опирается на массивную армированную бетонную конструкцию, окружающую турбинную шахту диаметром 8,0 м. Размеры турбинной шахты обеспечивают возможность подъема рабочего колеса турбины вместе с верх-

ней крышкой турбины. Вокруг статора на расстоянии около 1,0 м имеется второе железобетонное кольцо, служащее вентиляционным кожухом для замкнутой системы охлаждения генератора. Следовало бы предусмотреть также возможность протяжного охлаждения генераторов. Автоматические регуляторы установлены в генераторном зале рядом с генераторами. Монтажная площадка расположена выше подъездных путей на 4,0 м. Для доставки оборудования под кран машинного зала на монтажной площадке имеется специальное углубление. Распределительное устройство собственных нужд размещено между щитовым помещением и машинным залом. Пульт управления и служебное помещение вынесены в отдельный корпус. Сквозными конструктивными швами, размещенными между каждыми двумя агрегатами, здание разрезано на отдельные блоки. Спорным является размещение генераторов на железобетонных кольцевых опорах сравнительно малой толщины. Недостаточная их массивность обычно имеет следствием наличие чрезмерных вибраций агрегата. Вентиляционный кожух удобнее иметь сборным из листового металла, что облегчает ремонт и быструю замену охладителей генератора.

Т а б л и ц а 10 изображает конструкцию машинного здания приплотинной русловой гидроэлектростанции с внешним расположением грузоподъемного крана порталного типа. В машинном здании установлено шесть агрегатов с турбинами Каплана мощностью по $\sim 33\,500$ *квт* при напоре $H_{cp} = 14,63$ м, при 85,7 об/мин и коэффициенте быстроходности $n_s = 650$. Мощность каждого зонтичного генератора равна 36 000 *квт*. Генераторы находятся внутри цилиндрических металлических кожухов, перекрываемых сверху, и имеют замкнутое охлаждение. Одна из опор порталного крана, имеющего грузоподъемность 270 т, перемещается по гребню бетонной стенки, ограждающей здание со стороны верхнего бьефа. Над всасывающими трубами расположены помещения вспомогательного оборудования и трубопроводов. На водоприемной части турбинных камер располагаются по направлению тока воды наклонные решетки с механической очисткой и с гидравлическим смывом сора по специальному лотку, шандоры и щиты. Для обслуживания водоприемника, щитов и шандор используются порталные краны водосливной плотины грузоподъемностью, 85 т. Со стороны верхнего бьефа на

бычках проходит мост для автотранспорта. Средняя скорость при входе во всасывающую трубу равна 8,1 м/сек, средняя скорость при выходе из трубы равна 2,2 м/сек. Трансформаторы повысительной подстанции и мачты высоковольтной передачи расположены над всасывающими трубами. Осмотр и ремонт поверхностей рабочих лопаток могут быть произведены через всасывающие трубы. Для наполнения турбинных камер предусмотрен специальный водовод диаметром 0,91 м. Начальный участок всасывающих труб имеет металлическую облицовку. Машинное здание расположено на скальных грунтах и находится в створе плотины. Решетки выполнены из металлических стержней с поперечным сечением 25X150 мм и расстоянием между осями смежных стержней решеток в 217 мм.

Таблица 11. На *фиг. 1* изображен план машинного здания гидроэлектростанции, рассмотренной на табл. 10. На чертеже показана часть здания, в которой установлены четыре агрегата и размещена монтажная площадка, к которой примыкают помещения распределительного устройства и служебные помещения. Каждый из генераторов находится внутри цилиндрического кожуха, перекрываемого сверху. Для ремонта турбин и генераторов предусмотрены два рабочих места на крытой монтажной площадке, над которыми имеются отверстия для обслуживания ремонтных работ порталным краном. Доставка грузов по железнодорожному пути производится непосредственно на монтажную площадку. На плане показаны рельсовые пути для порталных кранов водоприемных сооружений и машинного здания. Каждая пара генераторов совместно обслуживается группой из трех однофазных трансформаторов; имеется один резервный трансформатор.

Фиг. 2 изображает продольный вертикальный разрез того же машинного здания, на котором можно видеть относительное размещение отдельных агрегатов, конструкцию монтажной площадки и размещение здания вспомогательных и служебных помещений и помещений электротехнического оборудования. Монтажная площадка при перемещении больших грузов обслуживается порталными грузоподъемными кранами машинного здания, имеющими грузоподъемность 2X135 т и оборудованными вспомогательными приспособлениями для более быстрого перемещения грузов до 20 т. Более мелкие грузы перемещаются в закрытом помещении монтажной

площадки с помощью установленных внутри этого помещения двух мостовых кранов грузоподъемностью по 4 т каждый.

На *фиг. 3* изображен разрез по агрегату приплотинной гидроэлектростанции при мощности агрегата в 40 000 квт, расчетном напоре $H = 27$ м и при 81,8 об/мин. Конструкция характеризуется жесткой металлической облицовкой турбинной шахты конической формы, передающей вес статора генератора и нагрузку от вращающихся частей агрегата опорным лопаткам. Всасывающие трубы изображенной на *фиг. 3* конструкции в последние годы не применяются, хотя исчерпывающих сравнений их с другими формами труб не опубликовывалось. Большого внимания заслуживает дроссельная задвижка диаметром 8,20 м с вертикальной осью, установленная на подводящем водоводе. *Фиг. 4* изображает рыбоход приплотинной гидроэлектростанции.

Таблица 12. На *фиг. 1* изображена конструкция машинного здания крупной русловой приплотинной гидроэлектростанции, расположенной на нескальных грунтах. При нормальном напоре 20,0 м мощность каждого из агрегатов составляет 85 000 квт на валу турбины при 75 об/мин и коэффициенте быстроходности $n_s = 575$. Располагаемое в суровых климатических условиях машинное здание имеет со стороны верхнего бьефа служебное помещение для обслуживания решеток, шандор и щитов в зимний период. Повысительные трансформаторы и распределительное устройство размещены над всасывающими трубами, далеко выступающими за пределы машинного здания в сторону нижнего бьефа. Колебания уровня верхнего бьефа составляют лишь около 1,5 м, тогда как колебания уровня нижнего бьефа достигают 11 м. Основание машинного здания при столь крупных агрегатах заглублено под нормальным уровнем нижнего бьефа на 25 м. Днище выходной части изогнутой всасывающей трубы принято горизонтальным, что привело к большой глубине выемок также и в нижнем бьефе. Верхнее строение машинного здания имеет металлическую конструкцию и металлические подкрановые колонны и балки. В данной конструкции представляется возможность весьма экономичного создания дополнительных служебных помещений непосредственно над всасывающими трубами для размещения в них элементов турбинного оборудования и воздушно-масляного хозяйства а также электрооборудования. Уменьшения объема работ можно достигнуть

применением наклонной конструкции выходного участка всасывающей трубы. Длина всасывающей трубы, повидимому, могла быть несколько уменьшена.

На *фиг. 2* табл. 12 изображено поперечное сечение по машинному зданию русловой приплотинной гидроэлектростанции небольшой мощности. Примененная в данной установке турбина Каплана при напоре $H = 3,0$ м дает 350 *квт* при 125 об/мин. Генератор зонтичного типа мощностью 440 *кВа* имеет маховой момент ~ 50 *т·м²*. Щит водоприемника турбинной камеры, равно как и шандоры всасывающих труб, обслуживаются специальным порталным краном грузоподъемностью 10 г. На чертеже показаны помещения для размещения насосного, регулирующего и электро-технического оборудования. Ввиду незначительной мощности установки щит управления размещен в генераторном зале. Здание расположено на глинистых песках. Данная конструкция машинного здания представляет интерес ввиду малой величины напора и применения турбин Каплана при относительно небольшой мощности.

Т а б л и ц а 13. На *фиг. 1* изображена водосливная конструкция машинного здания, особенностью которой является пропуск расходов по водосбросному сооружению, размещенному по высоте между турбинными камерами и генераторным залом машинного здания. В машинном здании данной гидроэлектростанции, расположенном в конце деривационного канала длиной 5,6 *км*, установлено 10 агрегатов мощностью по 8 800 *квт*. Ширина водосбросного сооружения на каждый блок машинного здания составляет 10 м, причем водосливной порог перекрывается сдвоенным плоским затвором. Для установки щитов водосброса предусмотрены пазовые конструкции, независимые от пазовых конструкций щитов турбинных камер. Мост автомобильной дороги расположен со стороны нижнего бьефа, шандорные щиты всасывающих труб обслуживаются специальным порталным краном. Во всасывающих трубах на участке изгиба оси трубы предусмотрена изогнутая плоская стенка, которая делит поток на повороте на две части. Ее значение является спорным, результаты ее лабораторных испытаний — противоречивы. Сравнительно трудным в данной схеме является обеспечение очистки решеток в условиях пропуска паводка.

На *фиг. 2* приведено сечение агрегата, расчетная мощность которого равнялась

51 500 *квт* при напоре 65 м и 107 об/мин. Мощность турбины в процессе испытаний оказалась более значительной и при $\eta = 0,90$ равнялась 60 250 *квт*. Всасывающая труба типа «гидрокон» в данном случае оказалась весьма эффективной. Кривая к. п. д. показывает, что в пределах изменения нагрузки агрегата от 27 850 до 60 250 *квт* $\eta > 0,90$ и в пределах от 35 250 до 48 000 *квт* $\eta > 0,93$. Максимум к. п. д. $\eta = 0,938$.

Следует отметить в данной установке применение игольчатого затвора гидравлического действия перед турбиной. Значительные размеры и вес затворов имеют, однако, следствием малую экономичность применения подобных затворов в данных условиях.

Фиг. 3 изображает конструкцию, в которой преследовалась цель защиты ответственных сооружений и машинного здания гидроэлектростанции от воздушных бомбардировок. Сплошное массивное перекрытие толщиной 2,0 м защищает одновременно водоприемное сооружение, турбинные водоводы и машинное здание. Помещения над всасывающими трубами имеют аналогичное перекрытие. Водоприемник обслуживается сегментными затворами, в здании установлен порталный кран.

На *фиг. 4* изображены конструкция верхнего строения машинного здания гидроэлектростанции при мощности агрегатов приблизительно по 20 000 *квт* и расположение оборудования в нем. Расчетный напор турбин данной гидроэлектростанции $H_{расч} \approx 35,0$ м. Стены здания имеют железобетонную конструкцию с каменным заполнением, подкрановые колонны также железобетонные. Подкрановые балки — металлические. Пол генераторного зала — на уровне верха статоров генераторов. На чертеже показано расположение охладителей системы вентиляции генераторов. Повышающие трансформаторы и рельсовый путь для их перемещения расположены над всасывающими трубами. На чертеже показаны схемы вывода генераторных шин и подвода их к трансформаторам, размещение кабелей, распределительного устройства и элементов масляного хозяйства трансформаторов. На чертеже также показано размещение грузоподъемного крана и предельные положения главного и вспомогательного крюка крана. На чертеже изображен также ряд конструктивных деталей здания.

Т а б л и ц а 14, *фиг. 1, 2* и 3. Рассматриваемая конструкция относится к приплотинной гидроэлектростанции мощностью 150 000 *квт*

при напоре $H = 32,5$ м. Установленная мощность распределяется между тремя агрегатами по 50 000 квт с турбинами Френсиса при 100 об/мин. Здание располагается позади массивной бетонной плотины, через которую проходят металлические трубы диаметром 7,5 м. Машинное здание отделено от плотины вертикальным швом. Основанием сооружений служат грунты скального типа, требующие, однако, специальных мер для устранения возможности фильтрации под сооружениями. Применение цементации и сложной конструкции антифильтрационной плиты перед плотиной характеризует существовавшие опасения в отношении качества грунтов. Основание плотины и машинного здания заложены по той же причине на значительно более низких отметках, чем это было бы возможно при скальных грунтах лучшего качества. Это дало возможность применить всасывающие трубы большой высоты, что благоприятно отражается на величине к. п. д. турбин. В данной конструкции здания установлены турбины Френсиса, однако глубокое заложение фундаментов здания позволяло в этих условиях применить турбины Каплана, несмотря на то, что максимальные величины напора достигают $\sim 35 \div 36$ м. Турбины при этом должны были бы быть установлены с значительной отрицательной высотой всасывания, что не потребовало бы в данных условиях дополнительного заглубления основания здания. Улучшение среднего эксплуатационного к. п. д. турбин является положительной особенностью этого варианта. В одном из проектов данной гидроэлектростанции был также успешно разработан вариант объединения фундаментов зданий с плотиной, что устраняло наличие шва между ними, возможность неравномерных осадок и необходимость устройства специальных конструкций при переходе трубопроводов из плотины в машинное здание. Решетки, шандоры и щиты водоприемников обслуживаются порталными кранами грузоподъемностью по 80 т. В конструкции водоприемников предусмотрены вспомогательные трубопроводы для предварительного заполнения трубопроводов перед открытием щитов и противовакуумные трубы. Щиты водоприемника обслуживаются индивидуальными лебедками. Электрооборудование размещается на площадке между плотиной и зданием. Внутри машинного здания установлены два грузоподъемных крана по 200 т. Шандоры всасывающих труб обслуживаются специальным порталным краном. В производственном отношении более удоб-

ным являлось бы применение прямоосных турбинных трубопроводов.

Фиг. 2 изображает план машинного здания той же гидроэлектростанции и его сопряжение с земляной плотиной. Справа от здания показан сопрягающий устой плотины. Слева от здания гидростанции и водоприемников турбинных водоводов находится водосливная плотина, справа — земляная дамба. Водоприемные растробы напорных водоводов разделены промежуточными бычками, каждый на два пролета по 6,5 м в свету. С целью уменьшения ширины блока водовод идет под углом к оси здания. Расстояние между осями агрегатов удалось довести до 22,0 м. В горизонтальном участке всасывающей трубы также имеется промежуточный бычок, позволяющий уменьшить пролет перекрытия и облегчить конструкцию низовых шандор. Подгенераторная конструкция выполнена в виде двух продольных массивных бетонных стенок толщиной 4,0 и 3,5 м, на которые опирается железобетонное кольцо, являющееся основанием статора генератора. Нижний этаж, расположенный на отметке 33,7 м, использован для кабельного туннеля. В среднем этаже на отметке 37,2 м установлены регуляторы и маслонапорные установки системы регулирования и смазки. Здесь же размещается статор генератора с кожухом и охладителями. Система охлаждения — замкнутая. Следует обратить внимание на конструкцию сопрягающего устоя, который представляет собой пустотелую бетонную стенку. Пустоты заполняются песком, что позволяет существенно уменьшить объем бетона без значительной потери в весе стенки. Монтажная площадка расположена на сопрягающем устое.

На фиг. 3 приведены продольные вертикальные сечения машинного здания и вид со стороны нижнего бьефа. Для обеспечения независимой работы каждого блока предусмотрены сквозные конструктивные швы, причем все элементы, проходящие из одного блока в другой, должны обеспечивать независимые деформации смежных блоков. Поэтому подкрановые колонны имеют разрезную по шву конструкцию, подкрановые балки также разрезаны, а междуэтажные перекрытия каждого блока имеют индивидуальные опоры. На данном чертеже особенно наглядно видна громоздкость принятой конструкции сопрягающего устоя. Переход на железобетонную конструкцию позволил бы, вероятно, уменьшить объем бетона и облегчить конструкцию устоя. Однако, массивность конструкции устоя по-

звонила разместить на нем монтажную площадку и ряд подсобных помещений. Следует отметить удобное расположение мастерской под монтажной площадкой, что позволяет использовать кран машинного зала для подачи деталей через специальный люк. Над монтажной площадкой расположены помещения аккумуляторов и зарядных агрегатов, а также пульт управления с кабельным полуэтажом. Весьма рационально использован порталный кран, который служит как для обслуживания щитов и шандор плотины, так и для затворов водоприемных сооружений турбинных напорных водоводов.

Т а б л и ц а 15. На *фиг. 1—5* изображена конструкция машинного здания приплотинной русловой гидроэлектростанции, расположенного на скальных грунтах, в котором установлено три агрегата по 50 000 *квт*, при среднем напоре $H = 23,5$ м. Максимальный напор достигает 28 м. Высокое положение уровня верхнего бьефа привело к высокой массивной армированной стенке со стороны верхнего бьефа. Входная часть турбинных камер делится промежуточными бычками на два пролета по 6,7 м с установкой в них решеток, шандор и щитов, обслуживаемых порталными кранами. Щиты обслуживаются, кроме того, индивидуальными лебедками. Днище всасывающих труб горизонтально и заглублено на 13 м под минимальным уровнем нижнего бьефа. Вспомогательные помещения и оборудование, а также и электрооборудование размещены над всасывающими трубами. По бычкам в верхнем бьефе проходит железобетонный мост.

На *фиг. 2* показаны общий план машинного здания и его примыкание к водосливной и земляной плотинам, плановое и высотное расположение монтажной площадки, расположение служебных помещений и подъездных путей и помещений масляного хозяйства. На *фиг. 3* изображено дополнительное поперечное сечение здания и на *фиг. 4* — продольные разрезы здания по различным плоскостям, поясняющие конструкцию отдельных элементов здания. Гребень земляной плотины располагается на отметке 148,0 м. Запроектированная форма всасывающих труб могла бы быть улучшена приданием большей плавности перехода к горизонтальному участку трубы в плане. Постепенное повышение выходного участка изогнутой всасывающей трубы при выходе в нижний бьеф уменьшило бы объем грунто-вых и бетонных работ. На *фиг. 5* изображено

горизонтальное сечение конструкции здания на уровне подгенераторных опор. Объем бетонных и железобетонных работ по всему машинному зданию составляет $\sim 125\ 000$ m^3 , скальных и нескальных выемок $\sim 220\ 000$ m^3 и вес металлических конструкций $\sim 2\ 100$ t , не считая турбинного и электротехнического оборудования.

Т а б л и ц а 16. На *фиг. 1* и *2* изображено расположение сооружений и конструкций приплотинной русловой гидроэлектрической установки мощностью $\sim 10\ 000$ *квт* при нормальном напоре $H = 19,6$ м. На *фиг. 1* и *2* приведены план расположения сооружений, вид со стороны верхнего и нижнего бьефов, а также ряд поперечных сечений по сооружениям этой гидроэлектростанции в двух вариантах. Один из них разработан с применением водосливной и глухой плотины гравитационного типа (*фиг. 1*). В машинном здании, расположенном позади бетонной плотины с отметкой гребня 283,46 м, устанавливается один агрегат при максимальной мощности турбины в 12 700 *квт* при 112,5 об/мин, с подводом воды по трубопроводу $d = 4,88$ м, проходящему сквозь тело гравитационной плотины. Водосливная часть плотины имеет на длине 152,4 м отметку гребня 270,36 м и на длине 115,8 м — отметку 273,40 м, без установки щитов на водосливе. Мост и бычки над водосливной частью плотины отсутствуют. При расходах через плотину в $18\ 000 \div 20\ 000$ $m^3/сек$ напор на водосливе в средней части плотины достигает 12,0÷12,5 м. Максимальный расчетный уровень верхнего бьефа принят на отметке 282,55 м, причем гребень глухой части плотины имеет отметку на 0,9 м выше максимального уровня верхнего бьефа. Машинное здание запроектировано с учетом максимального повышения уровня нижнего бьефа до отметки 264,5 м, что соответствует расходу $\sim 8\ 500$ $m^3/сек$. Рядом с водоприемной частью турбинной установки имеется водосброс с пониженным порогом для сброса поверхностного сора. Данный водосброс используется для поддержания нормальной отметки верхнего бьефа 270,96 м в условиях незначительных колебаний речного стока. На чертеже приведены кривые расходов через водосливную часть плотины и уровней в нижнем бьефе при различных расходах. Узел сооружений располагается на скальных грунтах. Максимальный наблюдаемый расход достигал величины $\sim 2\ 800 \div 3\ 000$ $m^3/сек$. Расчетный расход турбины равен 58 $m^3/сек$. Оригинальной является конструкция водослив-

ной части плотины, примыкающей к левому берегу. С целью уменьшения толщины слоя воды на примыкающей к берегу части водослива его гребень имеет отметку на 3 м выше гребня средней части. Кроме того, в данной части плотины водосливной грани в нижней ее части приданы очертания, способствующие направлению сбрасываемых в этой части плотины расходов в среднюю часть русла реки. Это способствует уменьшению размывов в нижнем бьефе против участка водослива, примыкающего к левому берегу. Сечение $D-D$ поясняет расположение машинного здания к конструкции водовода и водоприемника, обеспечивающие подвод воды к турбине.

На *фиг. 2* изображен также вариант того же узла сооружений с применением контрфорсных водосливной и глухой плотин. Общая компоновка узла, состав сооружений, отметки гребня плотины и расчетные расходы сооружений аналогичны указанным выше для варианта с гравитационной плотиной. В своих основных чертах остается неизменной также и конструкция водоприемника напорного трубопровода. Максимальный уровень верхнего бьефа принят на отметке 282,55 м, максимальный уровень нижнего бьефа — на отметке 264,5 м. По всей длине плотины расстояние между контрфорсами является постоянным и равным 5,49 м. Толщина напорных и водосливных плит плотины составляет 0,46—0,86 м. На сечениях плотины показано расположение конструктивных швов в контрфорсах, напорных и водосливных плитах плотины. Небольшие концевые участки плотины, имеющие незначительную высоту, выполнены гравитационными. Под зубом напорной грани плотины по длине всего створа произведена цементация под давлением до 35 кг/см² при глубинах скважин до 30 м.

На *фиг. 3* табл. 16 изображена контрфорсная плотина с плоскими напорными плитами, имеющая максимальную строительную высоту 43,3 м при длине гребня ~ 265 м. Водосливная часть плотины 1 расположена в средней части плотины и имеет длину 32,8 м. Водослив перекрывается наклонными плоскими щитами, обслуживаемыми винтовыми подъемными механизмами, их наклонные тяги 2 видны на фотографии. Слева от водослива можно видеть отверстия донных водоспусков 3. Расчетный расход водослива равен 850 м³/сек. На *фиг. 4* изображен внутренний вид расположенного над водосливом служебного помещения, в котором размещены подъемные механизмы щитов водослива данной плотины.

Таблица 17. На *фиг. 1* и 2 пояснена конструкция машинного здания гидроэлектростанции, узел сооружений которой рассмотрен на табл. 16. Доставка грузов на монтажную площадку, расположенную на отметке 264,56 м, производится по нормальной железнодорожной колее. Генератор расположен на массивном бетонном фундаментном кольце, отметка промежуточного пола — 257,46 м. На этой отметке расположены оборудование автоматического регулирования, компрессорное и насосное оборудование и возбудитель. На плановых сечениях показано размещение электрооборудования, масляного хозяйства и служебных помещений. Максимальная мощность турбины — 12 700 квт при 112,5 об/мин. Машинное здание рассчитано на относительно очень высокий уровень нижнего бьефа (на 15 м выше минимального уровня), который соответствует расходу в нижнем бьефе $Q=8\ 500$ м³/сек, тогда как максимальный наблюдаемый пик паводка имел за период около 20 лет величину не более 2 800÷3 000 м³/сек. Несмотря на относительно небольшие размеры всасывающей трубы и наличие скального основания труба по ширине разделена двумя промежуточными бычками на три пролета шириной по 4,88 м. Подводящий водовод выполнен в виде прямоосной клепаной трубы, уложенной с продольным уклоном оси 1 : 3 в массиве глухой части бетонной плотины с кольцевой армировкой. Водоприемные сороудерживающие решетки имеют площадь брутто ~ 115 м², что при максимальном расходе соответствует средней скорости в решетках $v_{\text{реш}}=0,65$ м/сек. В водоприемнике предусмотрены вспомогательная труба для предварительного заполнения трубопровода и спирали турбины и противовакуумный воздуховод.

На *фиг. 3* изображен внешний вид уникальной по своим формам контрфорсной плотины купольного типа с двумя контрфорсами. Между последними размещается машинное здание обычной конструкции. Водоприемники турбинных водоводов имеют башенную конструкцию и расположены на напорной поверхности плотины над контрфорсами. Быстротоки изогнутой в плане формы размещены по обоим берегам в крыльях плотины. Высота плотины достигает 76 м, длина гребня равна 177 м, расстояние между осями контрфорсов 54,9 м. Напор изменяется в пределах от 64,0 до 45,7 м, в машинном здании установлено два вертикальных агрегата мощностью по 5 500 квт. Диаметр подводящих водоводов — 2,44 м. Каждый из быстротоков оборудован

тремя автоматическими металлическими секторными затворами и рассчитан на расход в $1\,700\text{ м}^3/\text{сек}$. Сооружения расположены на кварцевой скале. Объем водохранилища равен трехлетнему средне-многолетнему стоку. Продолжительность производства работ составила около двух лет.

На *фиг. 4* изображен процесс спуска рабочего колеса турбины Каплана мощностью $15\,000\text{ квт}$ в турбинную шахту. Диаметр рабочего колеса $5,66\text{ м}$, число рабочих лопаток 6. Максимальный расчетный напор $15,24\text{ м}$; при минимальном напоре в $6,09\text{ м}$ мощность равна $7\,350\text{ квт}$.

Таблица 18. На *фиг. 1* пояснены детали конструкций, изображенных на *фиг. 1* и 2 табл. 16. Разрез *Е—Е* по оси напорного металлического трубопровода и его водоприемника поясняет детали широко распространяющейся в последние годы конструкции с вынесением сороудерживающих решеток водоприемника из тела плотины и расположением их на железобетонной подрешеточной конструкции. Это уменьшает размеры необходимых полостей в теле бетонной плотины. На чертеже показано также размещение щитов и шандор и детали армирования по трубопроводу и водоприемнику. Дополнительно данная конструкция поясняется показанным на чертеже планом данного участка плотины и расположенного на нем водоприемника. На плане показан также промывной пролет шириной $3,05\text{ м}$ для сброса плавающего сора. На этом участке плотины имеется подъемный щит-козырек, водосливная поверхность которого в опущенном положении входит в состав водосливной поверхности плотины. Гидравлический поршневой механизм для регулирования положения щита сбросного пролета расположен под гребнем водослива и имеет управление с пульта управления из машинного здания гидростанции.

Фиг. 2 табл. 18 изображает железобетонные водоприемные сооружения и железобетонный турбинный водовод при расположении машинного здания позади контрфорсной плотины. В этих случаях одним из сложных вопросов является выбор конструкции водоприемного сооружения. Рассматриваемый чертеж служит примером конструкции водоприемного сооружения машинного здания при контрфорсной плотине высотой около 17 м . Расстояние между осями контрфорсов плотины равно $4,57\text{ м}$. Расстояние между агрегатами принято кратным $4,57\text{ м}$. Для подвода воды в каждой турбине использовано два пролета между

контрфорсами. Водоприемники турбинной камеры размещены на напорной грани плотины и имеют нижнюю плиту на отметке $81,99\text{ м}$. Перед входом в железобетонный входной участок турбинной камеры имеется невысокий порог. Верхняя плита водоприемной части спиральной турбинной камеры сопрягается с верхней частью напорной плиты плотины. Таким образом в сечении *А—А* водовод представляет собой двухчковую железобетонную трубу, состоящую из двух пролетов прямоугольного сечения, каждое размером $3,55 \times 3,66\text{ м}$. Особенность данной конструкции заключается в том, что она не представляет собой жесткую замкнутую раму, а состоит из системы независимо работающих статически определенных элементов. Нежелание увеличивать размеры щитов привело к спорному решению с отказом от применения более плавных форм входного раструба водоприемника. Для установки решеток, шандор и щитов у контрфорсов имеется выступ в сторону верхнего бьефа. На этом же выступе расположены подкрановые пути. Обращает на себя внимание мощное армирование плит водоприемной части турбинных камер арматурой квадратного профиля $25,4 \times 25,4\text{ мм}$. Напорная плита армируется с разделением ее на пять участков, с увеличением количества арматуры по мере заглубления. При конструировании спиральной камеры в этом случае удобно брать малый угол охвата, что позволит уменьшить поперечные размеры подводной части машинного здания. Площадь над водоводом может быть использована для служебных помещений. Верхнее строение машинного здания на чертеже не показано. Оно может быть или закрытого типа, или с внешним расположением крана.

На *фиг. 3* изображены подъемные механизмы плоских щитов водоприемников. Ответственные детали и зубчатые передачи механизма защищены металлическими кожухами или размещены в металлических корпусах с постоянной смазкой. На *фиг. 4* изображена конструкция водослива с применением секторных затворов. В этом варианте, равно как и в конструкции, изображенной на *фиг. 5*, необходимы подъемные механизмы и служебный мост для их размещения, от которых отказались в схеме сооружений гидростанции, рассмотренной на табл. 16. Следствием указанного отказа является существенное снижение средней эксплуатационной величины напора при необходимом учете предельных отметок уровней обоих бьефов при конструировании сооружений. Применение водосливов с затвора-

ми в этом смысле имеет значительные преимущества. На *фиг. 6* изображен процесс строительства контрфорсной плотины и на *фиг. 7* — условия в нижнем бьефе при пропуске расходов через водослив и донные водосбросы плотины. *Фиг. 6* и *7* относятся к плотине, изображенной на *фиг. 3* табл. 16.

Таблица 19. На *фиг. 1* изображены общий план и основные сечения сооружений приплотинной гидроэлектростанции с установленной мощностью 24 750 квт при среднем напоре $H = 42,5$ м. В русле реки расположена бетонная водосливная плотина, имеющая максимальную высоту 67,5 м, с четырьмя секторными автоматическими затворами 30X5 м и зубьями для гашения энергии потока в нижнем бьефе. Пропускная способность водосливной плотины 7 900 м³/сек при максимальном наблюдаемом пике паводка ~ 4 350 м³/сек. Позади глухой плотины, расположенной рядом с водосливом, размещено машинное здание с тремя агрегатами по 8 250 квт. Отметки монтажной площадки и подъездных путей к зданию приняты с учетом отметок бытовых паводков повторяемость один раз в 1 000 лет. На напорной грани расположены вынесенные на специальную железобетонную конструкцию сороудерживающие решетки. Напорные трубопроводы диаметром 3,35 м с толщиной стенок 16 мм, уложенные в теле глухой секции бетонной плотины, подводят воду к турбинам. Под водосливом плотины проходят шесть донных водосбросов, перекрываемых плоскими задвижками размером 1,73X 3,05 м, рассчитанными на расход ~ 690 м³/сек. Входные отверстия донных водосбросов защищены решетками, расположенными на полукруглых в плане железобетонных подрешетчатых конструкциях. Дополнительные донные водосбросы размещены между трубопроводами машинного здания и имеют диаметры труб 3,35 м с установленными на выходном конце труб уравновешенными игольчатыми затворами диаметром 2,13 м каждый. В теле плотины на каждом напорном и сбросном трубопроводе имеется дроссельная задвижка диаметром 3,35 м. По обоим берегам к бетонной плотине примыкают земляные плотины, высота которых на отдельных участках достигает 20 м. По гребню земляной плотины имеется дорога для автотранспорта шириной 6,4 м, с армированной бетонной одеждой. Со стороны верхнего бьефа предусмотрен железобетонный парапет. Объем водохранилища при

нормальной подпорной отметке верхнего бьефа 76,20 м составляет 790·10⁶ м³. Годовой сток реки колеблется в пределах от 4,35·10⁹ до 1,35·10⁹ м³. Бетонные сооружения (*фиг. 2* и *5*) возведены на мелкозернистом сером песчанике. Пористые известняки и известковые песчаники под земляной плотинной (*фиг. 6*) были подвергнуты тщательной глинизации. Кроме цементации по основанию бетонной плотины в верхнем бьефе максимально на длину в 45 м предусмотрен защитный глинистый противодиффузионный слой по дну и откосам берегов толщиной 3,0 м.

На поперечном сечении плотины, изображенном на *фиг. 2*, пояснена конструкция водосливной плотины и донных водосбросов. Проект предусматривает возможность пропуска катастрофических паводков при повышении верхнего бьефа до отметки ~80,0 м. Решетки донных водоспусков (*фиг. 2*) имеют очень большие размеры, что является необходимым для обеспечения надежности их работы. При пониженных отметках верхнего бьефа перед плоскими задвижками на напорной грани могут быть установлены аварийные щиты. Плоские задвижки обслуживаются гидравлическими поршневыми подъемниками. На поперечном сечении плотины и машинного здания показаны сороудерживающие решетки водоприемников напорных трубопроводов (*фиг. 5*). Полная высота решеток 46 м, ширина решетчатой панели каждого агрегата — 4,88 м; решетки выполнены из полосового железа сечением 19 X 127 мм при расстояниях между центрами смежных полос в 89 мм. Повысительные трансформаторы и подстанция размещены между низовой гранью плотины и машинным зданием. На поперечном сечении показано также положение донных водоспусков. На стенке машинного здания со стороны нижнего бьефа показано положение уравновешенных затворов. Выходные скорости достигают 19 м/сек.

На *фиг. 3* изображен вид водосливной плотины с применением бетонных массивов для гашения энергии струй в нижнем бьефе. Принятое в схеме сооружений *фиг. 1* и *2* решение с зубчатым гасителем является более экономичным. На *фиг. 4* и *7* изображен водосброс, оборудованный автоматическими секторными затворами гидравлического действия. Затворы характеризуются большой точностью регулирования уровня верхнего бьефа, не требуют возведения служебных мостов над водосливными пролетами и механических подъемных приспособлений.

На *фиг. 6* изображены конструкция земляных дамб и конструкция гребня современных земляных плотин с устройством по гребню проезжей дороги с бетонной одеждой. По гребню некоторых современных плотин предусматривается пропуск автомобильной магистрали с значительным грузопотоком. Это требует пропуска автотранспорта по гребню плотины почти с той же скоростью, как это имеет место по обычным автомобильным дорогам. Сечение $B-B$ *фиг. 6* изображает конструкцию армированного бетонного покрытия гребня таких плотин. С напорной грани показана конструкция парашюта, заделанного в тело плотины и рассчитанного на наличие волн значительной высоты. Сечение $A-A$ изображает поперечный профиль плотины с применением центральной железобетонной диафрагмы, опущенной до сильно трещиноватых скальных грунтов.

Невозможность точного предвидения величины максимального паводка и времени, когда он будет иметь место, приводит к большим запасам в размерах водосбросных сооружений, являющихся в большинстве случаев массивными и дорогими. Уменьшение первоначальных затрат без уменьшения надежности достигается применением облегченных конструкций. Изображенный на *фиг. 8* водослив образован в благоприятно расположенной седловине и имеет бетонную облицовку. Поддержание предельного уровня верхнего бьефа без сброса воды достигается изображенной на фотографии стенкой, опирающейся на тонкостенные трубы, закрепленные в основании порога водослива. Чрезмерное повышение уровня верхнего бьефа при катастрофическом паводке приведет к разрушению стенки. Более дорогие водосбросные сооружения могут быть при этом существенно уменьшены в своих размерах.

Таблица 20 и 21. Табл. 20 и *фиг. 1* табл. 21 изображают конструкцию приплотинной гидроэлектростанции средней мощности, с применением набросной плотины. Расчетный напор гидростанции $H=43$ м, установленная мощность равна 12 000 квт. Набросная плотина данной гидростанции предусмотрена с металлическим экраном из медистой стали В качестве паводкового водосброса используется боковой водосброс с продольным гасителем траншейной конструкции, с применением донного, шахтного типа, водоприемника сбросного туннеля. Башенный водоприемник подводит воду к на-

порному туннелю. Значительная длина напорного подводящего туннеля привела к необходимости уравнительного резервуара. Уравнительный резервуар выполнен в виде наклонной шахты с цилиндрической верхней камерой. Разветвление напорного туннеля на три трубопровода запроектировано подземным. В машинном здании, расположенном у низовой грани плотины, устанавливаются три агрегата по 4 000 квт. Русло реки ниже плотины засыпается и используется для размещения повысительной подстанции. Отводящий канал сильно заглублен с целью увеличения напора. Весь узел сооружений расположен на аллювиальной толще, подстилаемой на глубине 17÷18 м мергельными грунтами. На чертеже показаны верховая и низовая перемычки и ряд других деталей и элементов узла.

Рассмотренная схема установки является примером излишне сложной компоновки узла сооружений гидроэлектростанции. Основной причиной сложности схемы является применение плотины набросного типа, характеризующейся значительной шириной профиля по основанию и потребовавшей применения сложной системы водосбросных сооружений и напорных водоводов с наличием башенного водоприемника и уравнительного резервуара. Отсутствие скальных грунтов на выходном конце водосбросного туннеля требует применения более надежных гасителей, чем это показано в схеме. Применение металлического экрана, наличие сбросного туннеля сравнительно малой длины и с большими размерами сечения, подземное разветвление напорного туннеля, автоматические щиты на водосливе при высоте 2,0 м и расположение сбросного туннеля параллельно с напорным туннелем и сравнительно близко от последнего также весьма усложняют схему и организацию производства работ. Дополнительные осложнения являются следствием плохого качества грунтов по трассе обоих туннелей. В подобного рода условиях более удобной и экономичной является схема с применением плотины контрфорсного или гравитационного типа или комбинации одной из этих плотин с земляной или набросной плотиной. В этом варианте на участке против контрфорсной или гравитационной плотины и непосредственно на плотине располагаются водоприемники, напорные водоводы и машинное здание; сброс паводков также производится через гребень бетонной или контрфорсной плотины. В рассматриваемом случае это устранило бы необходимость применения туннелей и подземного разветвления, сложной

схемы водосбросных сооружений и гасителей, уравнительного резервуара и башенного водоприемника.

На *фиг. 2* табл. 21 изображен комплекс сооружений своеобразной приплотинной гидроэлектростанции, в которой максимальный напор $H=22,5$ м создан арочной плотиной, имеющей максимальную высоту $\sim 103,5$ м. Возможность сооружения арочной плотины в данных местных условиях получена благодаря заложению основания плотины на значительной глубине, достигающей 73 м под поверхностью естественного ложа реки. Толщина тела плотины у основания равна $\sim 30,0$ м и на уровне гребня водослива ~ 15 м. Основанием плотины являются гнейсы. У правого крыла плотины располагается машинное здание, в котором установлено четыре агрегата по 30 000 квт. Подводящие воду сооружения обходят правое крыло плотины. В выемке правого берега, наибольшая глубина которой достигает 30 м, располагается наклонная со- роудерживающая решетка из полос сечением 22,5 X 150 мм с расстоянием между центрами полос в 125 мм, поддерживаемая железобетонной конструкцией с контрфорсами, аналогичными применяемым в конструкциях контрфорсных плотин. Глубина воды у решеток достигает 15,2 м, полная длина фронта решеток в свету — 64 м, средняя скорость в решетках при полной нагрузке четырех агрегатов $\sim 0,7$ м/сек. Позади решеток вода, в конце образованной в глубоких выемках водоприемной камеры, поступает в четыре напорных водовода, подводящих воду к турбинам гидроэлектростанции.

Плотина арочного типа в данных условиях была построена вместо проектировавшейся контрфорсной плотины на песчаных грунтах. Вариант арочной плотины давал более определенное и простое решение, однако это решение потребовало глубоких выемок аллювиальных грунтов, показанных внизу *фиг. 2* на продольном сечении по руслу реки. Бетонная кладка тела плотины во время производства работ подвергалась искусственному охлаждению. На чертеже показаны также конструкции перемычек и продольный профиль по сооружениям, подводящим воду к турбинам (сечение А — А). На гребне плотины для пропуска паводка имеется пять водосливных пролетов, перекрываемых плоскими щитами размером 15,2 X 15,2 м. В процессе производства работ пропуск речного стока производился по двум туннелям подковообразного сече-

ния с высотой и шириной сечения по 8,85 м. При максимальных бытовых паводках реки, достигавших по данным наблюдений и по оставленным паводками следам величин порядка $11\ 000 \div 14\ 000$ м³/сек, оказалось возможным при принятой высоте перемычек ограничить расчетный расход строительных туннелей величиной в 1 600 м³/сек благодаря водохранилищу с многолетним регулированием, имеющемуся в 250 км вверх по реке. При сооружении последнего имелось четыре строительных туннеля диаметром в свету по 15,2 м.

На *фиг. 3* изображен процесс производства работ по возведению водосливной контрфорсной плотины, с применением кабельного крана и переносных профилированных опалубок. Данная фотография может являться иллюстрацией к варианту *фиг. 2* табл. 16. На *фиг. 4* изображена оригинальная конструкция водосбросного сооружения, представляющего собой комбинацию водосливного гребня большой длины и быстротока. Увеличение длины водослива, необходимое для уменьшения колебаний уровня верхнего бьефа, в данной конструкции осуществляется посредством применения криволинейной в плане формы водослива. На переходном участке и в быстротоке предусмотрены направляющие стенки. Принципиально правильная идея данной конструкции водосбросного сооружения должна быть тщательно проверена в лабораторных условиях. Формы сооружений данной конструкции в гидравлическом отношении представляются недостаточно обоснованными.

Т а б л и ц а 22. На *фиг. 1* изображена конструкция приплотинной гидроэлектростанции мощностью 32 400 квт при максимальном напоре $H = 59$ м, создаваемом арочной плотиной. Максимальная высота плотины над основанием составляет 79,5 м, а в отдельных точках профиля даже 90 м при глубине выемок под плотиной до 20 м. Машинное здание с тремя агрегатами по 10 800 квт располагается в русле реки у подошвы плотины. На правом берегу расположен туннельный паводковый водосброс, рассчитанный на пропуск

$\sim 1\ 400$ м³/сек, при максимальном наблюдаемом паводке в 525 м³/сек. Нижняя отводящая часть туннельного водосброса в процессе строительства входит в состав строительного туннеля для отвода воды из русла реки. Решетки напорных трубопроводов расположены на напорной грани плотины и имеют высоту ~ 40 м. На напорном трубопроводе перед турбинами имеются плоские задвижки диамет-

ром 2,6 м и, кроме того, предусмотрены шандорные шиты на напорной грани плотины. Под монтажной площадкой в машинном здании расположены напорные водосбросы. На напорной грани плотины расположены специальные водоприемники с полукруглым в плане размещением сороудерживающих решеток. Толщина плотины у ее гребня — 4,5 м и у основания — 25 м. Плотина радиальными конструктивными швами была разделена на блоки длиной по 15,2 м. В процессе производства работ бетон искусственно охлаждался речной водой с помощью системы труб диаметром 25 мм, размещавшихся рядами через каждые 1,5 м. Осенью охлаждение повторялось при скоростях воды в трубах ~ 0,6 м/сек до температуры $1,5 \div 3^\circ \text{C}$. Объем водохранилища равен $1,25 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, что примерно равно среднему годовому стоку. Обеспеченная выработка энергии равна $130 \cdot 10^6 \text{ квтч/год}$, сезонная выработка $10 \cdot 10^6 \text{ квтч/год}$. Геологические исследования потребовали: буровых скважин 550 пог. м, вертикальных шурфов 55 м, горизонтальных шурфов 72 м, дополнительных шурфов разного направления 150 пог. м. Объем выемок под плотину — 195 000 м³, объем бетона в плотине — 135 000 м³. Срок производства работ — 3½ года.

Фиг. 2 поясняет конструкцию водосбросных сооружений той же гидроэлектростанции. Туннельный водосброс для пропуска паводка имеет водоприемное сооружение, перекрывающее тремя плоскими щитами высотой 15,24 м и шириной по 4,27 м каждый. Вода сбрасывается по наклонному туннелю, примыкающему нижним своим концом к горизонтальному участку туннеля диаметром 9,14 м. Максимальный расход водосброса составляет ~ 1 400 м³/сек. Донные напорные водосбросы выполнены в виде двух проходящих в теле плотины металлических труб диаметром 1,83 м, с защитой водоприемников сороудерживающими решетками весьма значительных размеров, с уравновешенным затвором $d = 1,52 \text{ м}$ на выходном конце и с применением дополнительной аварийной плоской задвижки $d = 1,83 \text{ м}$ перед уравновешенной. Расчетный расход двух напорных водосбросов при максимальном уровне верхнего бьефа составляет около 82 м³/сек. В окончательном варианте донных водосбросов выходные концы труб и оси уравновешенных задвижек направлены наклонно вниз ($d = 0,222$) и, несмотря на скальные грунты, предусмотрен бетонированный водобойный колодец шириной ~ 9,5 м, длиной ~ 57 м и с максимальным углубле-

нием дна на 5,0 м против минимальной отметки нижнего уровня. На чертеже показано также сечение гребня плотины, по которому перемещается кран грузоподъемностью 17,5 т для обслуживания шандорных щитов. Кроме того, показан также вид на плотину и машинное здание со стороны нижнего бьефа, с показанием глубины выемок под плотину, и приведены кривые объемов и зеркал водохранилища и пропускные способности водосбросных сооружений.

Т а б л и ц а 23. Фиг. 1 поясняет конструкцию машинного здания гидроэлектростанции, изображенной на табл. 22. Машинное здание в рассматриваемом варианте фиг. 1 расположено на бетонных бычках, опущенных до поверхности скальных грунтов. Понижение машинного здания на $6,0 \div 7,0 \text{ м}$ в этом варианте, не предполагавшем снижения уровня нижнего бьефа, являлось нежелательным, так как оно не приводило к соответствующему понижению отметки монтажной площадки. Оставшийся неизменным максимальный уровень нижнего бьефа требовал сохранения отметки подъездных путей и монтажной площадки, что при понижении турбин и генераторов приводит к увеличению полной высоты здания. Повысительные трансформаторы на 115 000 в расположены на площадке между низовой гранью плотины и зданием.

По проекту каждая из трех турбин при напоре $H = 34,3 \text{ м}$ и при 225 об/мин имеет мощность 5 150 квт и при напоре $H=52,2 \text{ м}$ — 11000 квт. Генераторы имеют мощность по 12 000 ква. Генераторы расположены на массивных железобетонных кольцевых опорах. Грузоподъемность крана машинного здания — 50 т. Под монтажной площадкой проходят трубопроводы донных водосбросов и расположены уравновешенные затворы. На поперечном разрезе показаны смотровые люки на всасывающих трубах и на спиральных камерах турбины, положение плоской задвижки и компенсатора, расположение трубопроводов для опорожнения спирали и всасывающей трубы и дренажные устройства. На плане и продольном профиле показано размещение системы автоматического регулирования и его маслопроводов, расположение элементов масляного и насосного хозяйства и, частично, элементов электротехнического оборудования. На крыше машинного здания размещены металлические конструкции высоковольтных передач 34 500 и 115 000 в, не показанные на чертеже.

На фиг. 2 изображен продольный раз-

рез по оси машинного здания гидроэлектростанции, рассмотренной на табл. 22 в осуществленном варианте. Расчистки русла в нижнем бьефе на длине 675 м привели к понижению нормального уровня нижнего бьефа на 5,45 м. Максимальная глубина расчисток составляла ~7,5 м. Учет минимального уровня нижнего бьефа дает дополнительное понижение оси направляющего аппарата турбины на 1,8 м. Это привело суммарно к понижению оси турбины по сравнению с вариантом, рассмотренным на табл. 22 и фиг. 1 табл. 23, на $1\ 880,13 - 1\ 873,42 = 6,71$ м, с повышением расчетного напора на ~ 5,5 м. Машинное здание при этом расположено непосредственно на скальных грунтах, без применения высоких бетонных бычков под основанием здания. Железобетонные подкрановые колонны и балки, принятые в предварительном проекте, в окончательном варианте заменены соответствующими металлическими конструкциями, изображенными на фиг. 1. В основании здания показана сборная дренажная труба основания плотины и здания диаметром 0,91 м. Позади здания видна низовая грань плотины с указанием положения сорудерживающих решеток на верховой грани плотины, напорных и сбросных донных трубопроводов пунктирными линиями.

На фиг. 3 и 4 табл. 23 приведено детальное изображение осуществленной формы изогнутой всасывающей трубы турбин той же гидростанции. На чертеже приведены продольное сечение по оси трубы, план, проекция на вертикальную плоскость и развертка по оси трубы. На всех проекциях показаны поперечные сечения трубы, нормальные к оси трубы, и даны размеры сечений, радиусы закруглений и основные размеры трубы. Приведенные на чертеже высотные отметки относятся к осуществленному варианту высотного расположения машинного здания данной гидростанции. Данная форма всасывающей трубы является типичной для многих современных гидроэлектростанций. Большая высота, плавный поворот и относительно большая длина горизонтального диффузора приводят к хорошим величинам к. п. д. турбинного агрегата. Наклонное днище трубы несколько уменьшает выемки под зданием и при переходе к естественным отметкам грунта в русле реки. Применение промежуточного бычка при незначительной полной ширине выходного сечения трубы, в данном примере равной всего лишь 6,96 м, также является особенностью ряда всасывающих труб данного типа. При-

менительно к развертке на чертеже приведены величины площадей отдельных поперечных сечений и изменение скоростей по длине трубы при максимальном расчетном расходе турбины.

Т а б л и ц а 24. На фиг. 1 и 2 данной таблицы изображено расположение сооружений весьма крупной приплотинной гидроэлектростанции и приведены сечения по основным сооружениям, основные их характеристики и размеры. Напор создается прямолинейной в плане гравитационной плотиной, имеющей длину гребня 1 280 м и максимальную высоту над скальным (мелкозернистый гранит) основанием—169,5 м. Глубина выемок в русле реки достигает ~ 52 м. Напор изменяется от $H_{\text{макс}} = 109,7$ м до $H_{\text{мин}} = 81$ м при среднем напоре $H = 102,2$ м. Установленная мощность составляет 1 944 000 квт в 18 агрегатах по 108 000 квт каждый. Обеспеченная мощность равна 910 000 квт, обеспеченная выработка энергии $8,1 \cdot 10^9$ квтч/год, сезонная выработка в среднем $\sim 5,0 \cdot 10^9$ квтч/год. Суммарная пропускная способность всех турбин составляет 2 280 м³/сек. Водосливная часть плотины длиной 402,9 м расположена в средней части плотины против русла реки и рассчитана на пропуск паводка 28 200 м³/сек. Машинное здание состоит из двух секций, расположенных по обе стороны водосливной части плотины. Левобережная часть здания является первоочередной. В каждой части устанавливается по девять главных агрегатов. Кроме того, в левобережной устанавливается три агрегата собственных нужд с турбинами мощностью по 10 300 квт. Для обеспечения требований ирригации у левого берега в верхнем бьефе размещается насосная станция, в которой устанавливаются 12 насосных агрегатов с вертикальным расположением вала, рассчитанных каждый на подачу 45,3 м³/сек при максимальном расчетном напоре 112 м с моторами мощностью по 46 000 квт. В теле водосливной части плотины предусмотрена трехъярусная система напорных водосбросных сооружений для пропуска воды в нижний бьеф в целях улучшения условий судоходства и режима гидростанций в низовьях реки. Весь узел сооружений расположен на скальных грунтах при значительном объеме и глубине выемок нескальных грунтов. Объем выемок достигает 12 000 000 м³, объем бетона по всем сооружениям ~ 8 300 000 м³. Наблюдаемые предельные естественные расходы реки составляют от 455 до 20 500 м³/сек при среднемноголетнем расходе в 3 090 м³/сек. Годовой сток

в среднем составляет $\sim 98,5 \text{ км}^3/\text{год}$. Объем создаваемого плотиной водохранилища равен $11,9 \text{ км}^3$, из них полезный объем верхнего слоя толщиной $24,3 \text{ м}$ равен $6,4 \text{ км}^3$. Регулирование стока с помощью водохранилища данной гидростанции повышает минимальный расход ниже гидростанции с 455 до $990 \text{ м}^3/\text{сек}$, существенно увеличивая обеспеченную мощность гидроэнергетического каскада, состоящего из гидроэлектростанций, расположенных вниз по реке, и повышая обеспеченные судоходные глубины на разных участках реки ниже рассматриваемой гидростанции на $0,6—$

$1,2 \text{ м}$. На чертеже показаны размещение основных элементов гидроэлектростанции и насосной станции, системы водосбросных сооружений, водоприемников и их решеток, размещение грузоподъемных кранов, трубопроводов, лифтов, автомобильных дорог и железнодорожных подъездных путей, а также разрезка плотины конструктивными швами на блоки.

Поперечные сечения машинного здания по оси главных агрегатов и по оси агрегата собственных нужд показывают расположение заложенных на большой глубине прямоосных турбинных водоводов, подводящих воду к турбинам, и сороудерживающих решеток их водоприемников. Высота последних достигает 84 м . Щит водоприемников главных агрегатов опускается с гребня плотины. Сечение по блоку № 55 поясняет конструкции водосбросных сооружений. На гребне водосливной части плотины имеется 11 пролетов, перекрываемых автоматическими металлическими секторными затворами высотой $8,54 \text{ м}$ при ширине пролетов по $41,15 \text{ м}$. Вес каждого секторного затвора 455 т , его закладных частей— 130 т , его механизмов регулирования — 82 т , суммарный комплектный вес одного затвора — 667 т . Вес 11 комплектных затворов плотины составляет 7337 т .

Напорные водосбросы расположены в трех ярусах на отметках $285,22 \text{ м}$; $315,97 \text{ м}$ и $346,45 \text{ м}$, по 20 сбросных труб диаметром $2,59 \text{ м}$ в каждом ярусе. Сбросные водоводы различных ярусов расположены друг под другом, что приводит к объединенным для всех трех ярусов, полукруглым в плане, конструкциям сороудерживающих решеток. На каждом сбросном водоводе имеется по две плоские задвижки усовершенствованного типа. Напорная часть водовода, а также его участок на $3,75 \text{ м}$ ниже каждой задвижки облицованы металлическими трубами со стенками толщиной $44,5 \text{ мм}$, усиленными кольцами жесткости и с сильной армировкой бетона во-

круг труб. Водоводы верхних двух поясов облицованы на остальной части длины трубами с толщиной стенок 16 мм . Вес двух задвижек на отметке $285,22 \text{ м}$ равен 166 т , вес труб облицовки каждого водовода 67 т , что суммарно составляет 233 т . В каждом из верхних поясов суммарный вес двух задвижек и облицовки составляет 180 т . Механизмы задвижек рассчитаны на работу при напоре в 76 м . Пропускная способность трех ярусов водосбросов при отметке уровня $360,9 \text{ м}$ составляет $7750 \text{ м}^3/\text{сек}$. При более высоких уровнях нижний ярус напорных водосбросов работать не будет. Часть задвижек имеет винтовые механизмы; на остальных задвижках предусмотрены гидравлические механизмы с диаметром поршня $0,77 \text{ м}$. Корпуса задвижек на полное внутреннее давление не рассчитываются, бетон вокруг них усиливается арматурой, располагаемой по эллипсам. На чертеже показана также конструкция водоприемных сооружений водоводов насосной станции и расположение продольных и поперечных смотровых галлрей в теле бетонной плотины. Размещение перечисленных и ряда других элементов данного узла сооружений на плотине поясняется профилями плотины.

Т а б л и ц а 25. Фиг. 1 и 2 изображают конструкцию машинного здания гидроэлектростанции, рассмотренной на табл. 24. Мощность каждого из главных агрегатов составляет $108\,000 \text{ квт}$ при 120 об/мин и $n_s = 140$. Средний напор $H = 102,2 \text{ м}$. Расчетный расход каждой турбины равен $130 \text{ м}^3/\text{сек}$. Входной диаметр всасывающих труб равен $4,75 \text{ м}$. Комплектный вес каждой турбины — 685 т , комплектный вес генератора — 960 т , вес наиболее тяжелой части— 460 т . Машинное здание осуществлено с учетом отметки бытового паводка повторяемостью один раз в $2\,000 \text{ лет}$. Расчетные колебания уровня в нижнем бьефе составляют $26,82 \text{ м}$. Отметка пола генераторного зала и основания генераторов расположена на $8,74 \text{ м}$ ниже максимального уровня паводка. Машинное здание вплотную примыкает к низовой грани плотины. Пространство между зданием и плотиной использовано для размещения электрооборудования и в том числе массивных повысительных трансформаторов. Элементы повысительной подстанции размещены на крыше машинного здания. Здание оборудовано двумя мостовыми кранами грузоподъемностью по 375 т . Кран в 20 т обслуживает шандоры выходных отверстий всасывающих труб. Задвижек в конце напорных

трубопроводов перед входом в турбины не имеется и для ремонта турбины, а также в случаях длительных остановок агрегатов, должны быть опущены щиты водоприемного сооружения напорных трубопроводов. В предварительном варианте при входе в турбины предусматривались дроссельные затворы диаметром по 6,55 м. Это требовало, однако, некоторого сдвига здания к нижнему бьефу, установки дополнительного крана для обслуживания затворов, а также приводило к дополнительной бетонной кладке и необходимости конструктивной шва. В осуществленной конструкции машинное здание имеет общее основание с плотиной, что устраняет возможность неодинаковых осадок здания и плотины. По данной схеме осуществляются оба крыла машинного здания.

На чертеже изображен план левобережного крыла машинного здания данной гидроэлектростанции. На отметке верха статоров генераторов 308,30 м проходит сквозной служебный мостик. Пол генераторного зала расположен на отметке 302,15 м. Доставка грузов под внутренний кран здания производится по нормальному железнодорожному пути на отметке 308,30 м. В здании предусмотрены места для сборки роторов генераторов и главных трансформаторов. Автоматические регуляторы и их вспомогательное оборудование расположены в промежуточных помещениях, с обслуживанием их краном через специальные люки в полу генераторного зала. Здание разрезано конструктивными швами на блоки по числу агрегатов. Подкрановые колонны размещены через каждые 6,6 м. На чертеже показано также размещение различных служебных помещений на уровне монтажной площадки.

На *фиг. 3* табл. 25 изображен вертикальный агрегат высоконапорной гидроэлектростанции с регулятором давления. Мощность турбины данного агрегата равна 22 000 квт при напоре ~ 210 м и при 428 об/мин. Коэффициент быстроходности $n_s = 95$. В установках последних лет автоматический регулятор имеет электрическую связь с генератором, что устраняет необходимость ременной передачи к валу автоматического регулятора.

Таблица 26. *Фиг. 1* и *2* изображают детали конструкции водоприемников и водоприемной части напорных водоводов главных и вспомогательных агрегатов гидроэлектростанции, рассмотренной на табл. 24 и 25. Формы водоприемников водоводов главных

агрегатов поясняются тремя проекциями слева на *фиг. 1*. От нормального круглого сечения водовода диаметром 5,49 м с максимальными скоростями 3,3 м/сек имеется плавный переход раструбом к входному прямоугольному сечению размером 10,61x4,58 м, с входными скоростями ~1,6 м/сек, перекрываемом плоским щитом. Переходные поперечные сечения *a, b, c, d, e, f* и *g* поясняют форму переходного участка. Сороудерживающие решетки водоводов главных агрегатов вынесены на консольные подрешетчатые железобетонные конструкции перед напорной гранью плотины (на *фиг. 1* они не показаны). Щитовой паз у входа размещен с обеспечением плавных очертаний входных отверстий. При входе имеется вспомогательный трубопровод для предварительного заполнения трубопроводов и спирали турбины и противовакуумный воздухопровод. Дополнительное сечение по оси водоприемника показывает мощное, в три ряда, армирование раструба водоприемника, облицованного металлом, и менее сильное армирование вокруг металлических труб, имеющих диаметр 5,49 м. У верхнего конца труб имеются кольца уплотнения, на остальном же протяжении трубопровода предусматриваются кольца жесткости. На чертеже показаны также детали цементации бетона вокруг трубопроводов. На сечении по *B—B* пунктиром показана сферическая заглушка, устанавливаемая на водоприемниках агрегатов второй очереди. Трубопроводы этих агрегатов монтируются при этом во вторую очередь в восьмигранных полостях в теле плотины, предусмотренных в процессе возведения плотины.

Фиг. 2 табл. 26 изображает детали размещения сороудерживающих решеток и детали железобетонных подрешетчатых конструкций водоприемников напорных водоводов главных агрегатов. Подрешетчатая конструкция имеет призматическую шестигранную форму, примыкающую к напорной грани плотины. По высоте конструкция разбита на 22 пролета по 3,81 м. Основанием всей конструкции служит армированная консольная плита. Таким образом решетка состоит из плоских панелей, что облегчает ее изготовление и сборку. На чертеже показаны пазовая конструкция и детали армирования элементов подрешетчатой конструкции. В основании конструкции по периметру решеток предусмотрен подвод воздуха для очистки решеток от сора — подвод воздуха производится по медным трубам диаметром $d=50$ мм. Следует отметить некоторые преимущества данной конструкции в производ-

ственным отношении по сравнению с применявшейся до сих пор аналогичной конструкцией с расположением стержней решетки не по граням призматической конструкции, а по поверхности полуцилиндра. В наиболее современных подрешеточных конструкциях стремятся, кроме того, к применению обтекаемых форм подрешеточных балок и колонн. Отметим также, что в предварительном проекте была предусмотрена плоская конструкция решетки, размещавшаяся также на вынесенной перед напорной гранью плотины подрешеточной конструкции.

Т а б л и ц а 27 изображает конструкцию автоматического металлического секторного затвора водосливной плотины гидроэлектростанции, изображенной на табл. 24. Рассматриваемый затвор, имеющий длину 41,5 м и высоту 8,54 м. является примером осуществленного крупного затвора данного типа, иллюстрирующим широкие возможности использования данной конструкции. Имеется ряд примеров использования той же конструкции затворов при значительно меньших высотах и ширине пролетов. Затвор крепится со стороны верхнего бьефа и в опущенном состоянии размещается в камере затвора, представляющей собой нишу в теле бетонного гребня водослива. Затвор имеет 40 шарнирных опор, на каждую из которых передаются нагрузки одного погонного метра затвора. Затвор поднимается давлением воды на его плоскую нижнюю грань. Автоматический выпуск воды из камеры затвора при повышении уровня верхнего бьефа над максимальной отметкой приводит к понижению положения затвора и сбросу воды через водослив. Автоматическое управление затвором осуществляется посредством поплавкового механизма, при чрезмерном повышении верхнего бьефа открывающего клапан, имеющий диаметр $\sim 0,6$ м, для выпуска воды из камеры затвора. Механизмы управления помещены в бычках. Передача от поплавка к клапану производится через рычаг с переменной опорой. Последняя подвешена к вспомогательному сектору, повторяющему движение затвора. При некотором понижении уровня под действием поплавка затвора одновременно происходит соответствующее изменение положения опоры рычага, которое прекращает дальнейший выпуск воды из камера затвора и его дальнейшее понижение. Понижение возобновится, однако, если повышение уровня верхнего бьефа не прекратится. Выпуск воды проникнувшей внутрь затвора, произво-

дится через дренажные шланг и трубу. Затвор данного типа не требует сооружения моста над гребнем водослива, не требует подъемных механизмов и может быть выполнен очень большого пролета, что облегчает пропуск ледохода, уменьшает число бычков и повышает степень использования длины водосливной части плотины. Последнее соответственно уменьшает расход бетона на сооружение водосливной части плотины. В эксплуатации затворы данного типа показали большую надежность и точность регулирования, достигающую при хорошем выполнении затвора и регулирующего механизма величины в несколько сантиметров. Затворы данного типа на существующих плотинах применялись без сооружения перед ними шандронных пазов. На чертеже показаны детали конструкции затвора, его опор, уплотнений, сопряжения с водосливным гребнем плотины и анкерного крепления

Т а б л и ц а 28. Данный узел сооружений состоит из многоарочной плотины, водосброса и двух донных водоспусков. В настоящее время узел используется только для регулирования стока реки. Данные сооружения представляют исключительный интерес, так как могут служить примером весьма экономичных решений, возможных в условиях скального основания.

Средний многолетний годовой сток составляет $\sim 650 \cdot 10^6$ м³, что соответствует средне-многолетнему расходу в 20,5 м³/сек. Величины годового стока изменяются от $133 \cdot 10^6$ до $2 \cdot 100 \cdot 10^6$ м³/год. Максимальный наблюдаемый расход равен $\sim 4 \cdot 000$ м³/сек. Расчетный расход паводкового водосброса принят равным 4 950 м³/сек, однако при уровне верхнего бьефа, совпадающем с отметкой гребня плотины, обеспечен пропуск 7 050 м³/сек. При этом предусматривается пропуск через гребень плотины расхода порядка 700 м³/сек. При подпорной отметке 548,02 м создается водохранилище объемом около $250 \cdot 10^6$ м³. На *фиг. 1* справа приведен график объемов и площадей поверхности водохранилища плотины.

Русло реки и берега в районе створа сложены из мелкозернистых и крупнозернистых гранитов, причем плотина расположена почти целиком на мелкозернистых гранитах. Контакт между обеими зонами надежен (тектонических нарушений не обнаружено) и имеет падение в сторону верхнего бьефа около 27°. В русле реки имеется узкий промыв в скальных грунтах на глубину до 22 м, заполненным

аллювиальными отложениями. Еще в период изысканий на расстоянии ~ 55 м ниже створа плотины в скальном основании была обнаружена почти вертикальная трещина, направленная поперек русла реки. После вскрытия котлована была обнаружена вторая трещина такого же направления, расположенная под основанием восьми арок плотины. Ширина последней трещины изменялась от 70 см в русле до $5\div 10$ см у берегов. Обе трещины были заполнены разрушенной скалой. После тщательного изучения было установлено, что наличие указанных трещин опасности для сооружений не представляет. Трещина была расчищена на 2 м ниже дна котлована и заполнена бетоном. В дальнейшем была произведена цементация ее на глубину около 6 м. Цементационные скважины бурились через 1,5 м.

Рассматриваемая многоарочная плотина (фиг. 1) имеет наибольшую высоту 87,5 м и длину по гребню 245 м. Ось гребня очерчена по дуге окружности радиусом 420,3 м. Всего имеется девять пустотелых контрфорсов с расстоянием между осями 18,3 м и десять арок пролетом 14,62 м. У берегов имеются короткие гравитационные секции. Каждый контрфорс состоит из двух стенок переменной толщины по высоте и длине (см. пунктирные линии равных толщин стенок 1). Стенки скреплены поперечными вертикальными диафрагмами. Наклон верховой грани контрфорсов (линия пят арок) составляет 1,11 : 1 и низовой грани 2,78:1. Особенность внешнего очертания контрфорсов состоит в том, что в сечениях, параллельных линии пят арок, расстояние между внешними крайними поверхностями является постоянным. Это позволяет иметь по всей высоте плотины постоянный пролет арок. В плоскостях, нормальных к линии пят, арки имеют кривые очертания с центральным углом 180° при постоянной толщине. По высоте толщина арок изменяется от 2,13 м у основания до 0,71 м у поверхности.

Водосброс, рассчитанный на пропуск $4\ 950\ м^3/сек$, представляет собой быстроток криволинейного очертания как в плане, так и на продольном и поперечном разрезах. В головной водоприемной его части имеется три пролета, перекрытых щитами Стонея размером $15,24 \times 15,24$ м. Чтобы обеспечить постоянство глубин в быстротоке при пропуске максимального паводка, а также отсутствие поперечных циркуляций и выплескивания воды, дну быстротока придана форма виража (см. поперечные разрезы фиг. 2, 3 и 4). По-

добное решение при столь значительном расходе является необычным, но в данных условиях оно позволило получить конструкцию, обеспечившую минимальный объем скальных работ. Быстроток на большей части его длины облицован бетоном. Наличие надежной скалы явилось основанием для отказа от облицовки нижней части быстротока и от применения гасителя, однако это решение является спорным и требует большого внимания в условиях эксплуатации.

Для обеспечения возможности постоянных попусков из водохранилища в нижний бьеф имеются два напорных водоспуска с игольчатыми затворами и три водоспуска с плоскими задвижками. Два стальных трубопровода диаметром 1,83 м, с игольчатыми затворами на нижнем конце их, проложены в полости контрфорса друг над другом на отметках 502,91 и 493,73 м. Оба трубопровода защищены общей решеткой, установленной между арками. Плоские задвижки размером $1,83 \times 2,29$ м установлены у подошвы арки. На фиг. 1 приведена кривая расходов в функции от отметки уровня верхнего бьефа для водосбросов с игольчатыми затворами и с плоскими задвижками. На данном чертеже изображены также некоторые характерные детали сооружений узла. Сечение контрфорса и арки на отметке 469,39 м поясняет детали конструкции и армирования контрфорса и арок. Арки армированы с верховой и низовой стороны. Стержни в плоскости, перпендикулярной линии пят, имеют диаметр 19 мм и ставятся через 0,3 м. Стержни, параллельные линии пят, также диаметром 19 мм, устанавливаются через 0,61 м. Расчет арок был произведен без учета арматуры, и последняя установлена конструктивно для предупреждения возможности образования усадочных трещин. При проектировании контрфорсов стремились к наибольшему использованию материала, т. е. к получению во всех точках контрфорсов напряжений, близких к допускаемым. Стенки контрфорсов армировались с внешней стороны двойной системой стержней: вертикальных диаметром 19 мм через 0,3 м и наклонных, параллельных верховой грани контрфорса, также диаметром 19 мм и через 0,3 м. Арматура в контрфорсах установлена также конструктивно для восприятия температурных напряжений. В данной конструкции температурные швы не предусмотрены, так как их надежную работу весьма трудно обеспечить. Однако, имелись усадочные вертикальные швы через 12,65 м. Деталь этого шва показана на черте-

же (фиг. 5). Эти швы бетонировались после того, как схватывание бетона в контрфорсе заканчивалось и усадочные деформации затухали. Поперечные диафрагмы между стенками сдвоенного контрфорса имеют толщину 0,46 м и размещены через 6,55 и 6,10 м. На чертеже показаны также сечение контрфорса с креплением сбросного трубопровода и помещения уравновешенных игольчатых затворов; здесь же показана схема опор сороудерживающих решеток. Входное отверстие трубопроводов может перекрываться плоским скользящим щитом размером 2,4 X 4,8 м.

Поперечные сечения по криволинейному быстротоку поясняют оригинальную и экономичную конструкцию этого сооружения (фиг. 2—4). В начальной части дно быстротока в поперечном сечении остается горизонтальным (фиг. 2). Дальше оно становится наклонным с переменным поперечным уклоном в соответствии с поворотом оси быстротока в плане (фиг. 3 и 4). Облицовка быстротока — армированная бетонная, в среднем толщиной 0,3 м. Для лучшего сопряжения со скалой предусмотрены анкерные крепления облицовки. Температурные швы в поперечном и продольном направлении расположены через 8,6 м. Для отвода фильтрационной воды под облицовкой имеется дренаж, состоящий из поперечных и продольных дрен. Общий вид нескольких контрфорсов и одного из гравитационных устоев плотины показан на фотографии фиг. 6.

Таблица 29. На фиг. 1 и 2 изображен один из предварительных вариантов схемы основных сооружений крупной приплотинной гидроэлектростанции, расположенной в узком скалистом ущельи. Гравитационная плотина высотой ~221 м, с отметкой гребня 367,88 м, создает напор $H_{ср} \approx 160$ м. Установленная мощность по рассматриваемому варианту проекта равна 715 000 квт в 12 агрегатах с вертикальными турбинами Френсиса. Подвод воды к турбинам производится по четырем туннельным водоводам с соответствующей облицовкой (впоследствии был применен вариант металлических трубопроводов, уложенных в туннелях). Из их числа два туннеля входят в число четырех водосбросных туннелей, по которым в период строительства производится пропуск расходов реки в обход котлована, огражденного набросными перемычками. В подводящие напорные туннели вода поступает через четыре напорных водоприемника башенного типа, расположенных по два с каж-

дой стороны реки вблизи напорной грани плотины. Внутренний диаметр цилиндрической полости башенного водоприемника равен 8,53 м. Затворы водоприемников — цилиндрические, с уравновешенным давлением воды. Сброс избыточных паводков при высоте перепада водосброса, достигающей ~180 м, предусмотрен через два шахтных водосброса с диаметром вертикальной шахты 15,2 м и диаметром кольцевого водосливного гребня 45,6 м, рассчитанных на суммарный расход в 9 600 м³/сек. Отметка гребня кольцевого водослива находится на 1,83 м ниже максимального уровня верхнего бьефа. Машинное здание гидроэлектростанции состоит из двух крыльев, расположенных по обоим берегам у низовой грани плотины.

На ответвлениях от нижних концов каждого из четырех туннелей, подводящих воду к турбинам, располагаются сбросные уравновешенные задвижки игольчатого типа, имеющие диаметр 1,83 м, через которые производится попуски в нижний бьеф в процессе эксплуатации, пропуск воды в низовья реки в период наполнения водохранилища и освобождение части объема водохранилища перед паводком. В теле плотины также предусмотрены восемь напорных водосбросных труб диаметром 2,06 м, обслуживаемых каждая двумя плоскими задвижками. Эти водосбросы, входные отверстия которых защищаются сороудерживающими решетками, должны обеспечить пропуск воды в низовья реки в период сооружения бетонных пробок в строительных туннелях. Шахтные и донные напорные водосбросы вместе с турбинами обеспечивают суммарный пропуск через все водосбросные сооружения расхода в 12 700 м³/сек. Четыре строительных туннеля диаметром 15,2 м в период строительства, при подпоре до гребня верховой перемычки, имеющего отметку 219,46 м, обеспечивают пропуск

150 м³/сек. Наблюдаемые паводки достигали величины ~ 10 750 м³/сек, судя же по следам, оставленным паводками, имевшими место до начала гидрометрических наблюдений, эти паводки достигали величины ~ 14 100 м³/сек. При расчетной подпорной отметке 364,84 м объем водохранилища равен ~31,8 · 10⁹ м³ при среднемноголетнем стоке ~ 22 · 10⁹ м³/год = 700 м³/сек. Данная схема расположения сооружений относится к первоначальному проекту. Ее особенностью является применение шахтных водосбросов, которые требовали значительных расчисток на правом берегу и эксплуатационные свойства которых в подобных

крупных масштабах вызывали некоторые опасения. Напорные водосбросы в этом варианте имеют двухъярусное размещение игольчатых задвижек в четырех специальных помещениях, размещаемых на скальных откосах обоих берегов. В данном варианте при проектировании плотины были допущены напряжения в 45 кг/см^2 , которые впоследствии были снижены до 30 кг/см^2 .

На *фиг. 3* табл. 29 изображен вариант, разработанный параллельно с рассмотренным выше. Особенностью его является размещение машинного здания и необходимых для него напорных подводных водоводов с их башенными водоприемниками и напорными водосбросами по одну сторону реки, а обоих шахтных водосбросов для пропуска паводков — на противоположной стороне реки. Данная схема требует по сравнению со схемой *фиг. 1—2* большего расстояния между перемычками, несколько большей длины туннелей для пропуска строительных расходов и приводит к концентрации пропуска паводка на левом берегу. Использование строительных туннелей для размещения турбинных водоводов в этой схеме возможно лишь по одну сторону русла реки. На планах *фиг. 2* и *3* показаны значительные скальные выемки спиралевидной формы при подходах к водосливным гребням шахтных водосбросов.

Топографические и геологические условия рассматриваемого створа допускают применение плотины арочного типа, которая в этом случае являлась бы наиболее высокой арочной плотиной. На *фиг. 4* изображен вариант арочной плотины для рассматриваемых условий. Учитывая качества арочных плотин, трудно согласиться с опасениями, которые привели к отказу от применения этого типа плотины в данных, весьма для них благоприятных условиях.

На *фиг. 5* изображена перспектива данной гидроэлектрической станции со стороны нижнего бьефа — видны плотина, примыкающее к ней машинное здание и напорные водосбросы одного из берегов. На *фиг. 6* изображен вид осуществленной гидростанции, в верхнем бьефе видны четыре башенных водоприемника, на левом берегу — боковой водослив для пропуска паводка и на правом берегу — действующий напорный водоспуск.

Т а б л и ц а 30. *Фиг. 1, 2* и *3* дают представление о дальнейшем развитии проекта гидростанции, первоначальные варианты которой изображены на табл. 29. Наиболее су-

щественными особенностями данных вариантов являются повышение отметки гребня плотины с 367,88 до 375,51 м, увеличение мощности гидростанции с 715 000 до 1 320 000 *квт* и изменение конструкции водосбросных сооружений для пропуска паводков.

Применение шахтных водосбросов при столь больших величинах перепада и сбрасываемых расходов вызывало серьезные опасения. Поэтому в вариантах *фиг. 1—3* применены измененные конструкции водосбросных сооружений, состоящих из боковых водосливов длиной по 200 м каждый, с траншейными водоприемными камерами, параллельными гребням водосливов. Траншеи водосбросов наклонными туннелями, размеры поперечных сечений которых постепенно уменьшаются, соединяются со строительными туннелями, используемыми по окончании строительства в качестве нижних горизонтальных участков сбросных водоводов. В варианте *фиг. 1* и *2* траншейные водоприемные камеры имеют дополнительный торцевой водоприем, перекрываемый плоскими щитами размером 15,24 X 15,24 м. По проекту максимальная скорость в туннелях достигает $\sim 50 \text{ м/сек}$. Число агрегатов в машинном здании по данному варианту равно 17, из них 15 мощностью по 84 500 *квт* и 2 по 40 500 *квт*, считая на валу турбин. Форма плотины в плане принята с центральным углом значительно большей величины, чем в предыдущих вариантах. Лабораторные исследования и расчеты показали, что около $\frac{2}{3}$ давления воды воспринимается за счет работы плотины в качестве арки. Тем не менее профиль поперечного сечения плотины принят гравитационного типа, без учета работы арки. Конструкция напорных водосбросов в схеме *фиг. 1—2* оставлена без изменения, аналогичной варианту, изображенному на табл. 29. Лабораторные исследования поверхностных водосбросов, предназначенных для сброса паводка и выполненных по данной схеме, обнаружили крайне неспокойную поверхность воды в траншеях боковых водосбросов при поднятых торцевых щитах и наличие вращательного движения в сбросных туннелях.

На *фиг. 3* табл. 30 изображен окончательный вариант расположения конструкций сооружений той же гидростанции. Основные изменения по сравнению с вариантом *фиг. 1* и *2* данной таблицы состоят в улучшении конструкции водосбросных сооружений и водоподводящих водоводов. Водоприемники водосбросов имеют прямолинейную в плане форму

с установкой четырех автоматических секторных затворов высотой 4,88 м и длиной по 30,48 м. Отказ от применения торцевых отверстий и щитов при траншеях водосбросов привел к уменьшению высоты волн в боковых траншеях водосбросов. Прямоосное в плане расположение траншей водосбросов и сбросных наклонных и горизонтальных водосбросных туннелей (плавный поворот горизонтального туннеля оказался неизбежным лишь в средней части горизонтального участка правобережного водосброса) привело, как это показали лабораторные исследования, к устранению вращательного движения воды в туннелях и к относительно спокойной поверхности воды внутри туннелей. Исследования вопросов аэрации потока, произведенные строительством, позволяют при принятых размерах поперечных сечений не опасаться этого явления. Для подвода воды к турбинам и напорным водосбросным задвижкам применены металлические трубопроводы при максимальном диаметре 9,15 м, начинающиеся в основании водоприемных башен и монтируемые внутри туннелей. Это устраняет необходимость конструирования облицовок туннеля с расчетом на значительное внутреннее давление, имеющее место в турбинных водоводах в данной схеме. Ответвления индивидуальных отводов к турбинам и холостым напорным водосбросам даны под тупым углом. Соответственно изменился и угол ввода трубопроводов в машинное здание. Напорные водосбросные задвижки расположены по двухъярусной схеме, так же как и в предыдущих вариантах, однако верхний ярус, располагающийся в варианте, изображенном на фиг. 1 и 2, на откосе ущелья на отметке 288,0 м, перенесен внутрь строительных туннелей, т. е. на отметку

200,0 м.

На *фиг. 4* изображен вид траншейной водоприемной камеры одного из водосбросов данной гидроэлектростанции со стороны входного портала наклонного сбросного туннеля; масштабы конструкции характеризуются фигурой человека, находящегося на дне водоприемной камеры. На *фиг. 5* показан внешний вид трех уравновешенных игольчатых затворов, примененных для напорных водоспусков (на фотографии цифрой 1 обозначен корпус затвора, цифрой 2 — игольчатый клапан, перемещающийся внутри корпуса затвора). *Фиг. 6* изображает общий вид строительства данной гидроэлектростанции со стороны нижнего бьефа. Кабельный кран имеет грузоподъемность 150 т, — он изображен в момент спуска

секции напорного турбинного трубопровода диаметром 9,15 м.

Т а б л и ц а 31, *фиг. 1*. Сложная схема напорных водоводов в схеме гидроэлектростанции, изображенной на *фиг. 3* табл. 30, осуществлена посредством четырех главных металлических трубопроводов диаметром 9,15 м, уложенных в четырех туннелях. Эта схема водоводов и их разветвлений в перспективе изображена на *фиг. 1* табл. 32. При проектировании были рассмотрены также варианты замены каждого из указанных трубопроводов несколькими трубопроводами соответственно меньшего диаметра. На схеме *фиг. 1* данной таблицы изображен вариант разбивки каждого главного водовода на четыре трубопровода диаметром по 5,33 м. При этом четыре трубопровода каждого берега подводят воду к турбинам и четыре других — к напорным водосбросам. На чертеже показаны две схемы подвода воды: а) на левом берегу изображен подвод к турбинам четырьмя трубопроводами, которые расположены в одном из туннелей и в которые вода поступает из общего для них башенного водоприемника, тогда как сбросные водоводы присоединены к другому башенному водоприемнику и расположены в другом туннеле; б) в варианте правого берега два трубопровода от каждого башенного водоприемника подводят воду к турбинам и два трубопровода — к задвижкам напорных водоспусков. В обоих вариантах каждый из трубопроводов непосредственно перед вводом в машинное здание дополнительно разветвляется на два трубопровода диаметром по 3,95 м или, при подводе к сбросным задвижкам, на три трубопровода диаметром по 2,59 м. Размеры сбросных задвижек уравновешенного типа показаны на чертеже. Кроме данного варианта был рассмотрен также семитрубный вариант с расположением в каждом туннеле семи параллельных трубопроводов диаметром по 3,95 м.

Т а б л и ц а 31, *фиг. 2*. На чертеже изображена оригинальная конструкция башенного водоприемника, обеспечивающего подвод воды к четырем напорным водоводам, начало которых расположено в основании башни на глубине около 100 м под максимальным уровнем верхнего бьефа. Входное отверстие каждой из четырех труб перекрывается отдельным цилиндрическим затвором, имеющим диаметр 5,89 м и работающим в условиях равных гидростатических нагрузок по периметру за-

шора. Каждый из затворов обслуживается трехтяговым подъемником, расположенным в служебном помещении, предусмотренном наверху башенной конструкции. Служебное помещение обслуживается мостовым поворотным краном. На сечении $B—B$ показано положение сороудерживающих решеток, шандорных щитов и пазовых конструкций перед решетками для очистки последних от сора. В рассматриваемой конструкции башенного водоприемного сооружения предусмотрены два яруса водоприемных отверстий, с отдельными цилиндрическими затворами в каждом из них. Это дает возможность отбора воды на различных отметках. Внешние габариты башенного водоприемника при четырехтрубном варианте получаются более значительными, чем при однотрубном варианте.

Таблица 32. На *фиг. 1* изображена перспектива сложной системы напорных энергетических и водосбросных сооружений высоконапорной приплотинной и гидроэлектростанции, рассмотренной выше на табл. 29, 30, в соответствии с вариантом, изображенным на *фиг. 3* табл. 30. Перспектива относится к осуществленной схеме сооружений. Правая часть плотины условно показана пунктиром и весь скальный массив справа на чертеже условно также удален, что позволяет наглядно изобразить туннельные водоводы, водосбросы и башенные водоприемники. На противоположном берегу имеется аналогичная система водоводов. Подвод воды к турбинам каждого крыла машинного здания производится двумя главными металлическими трубопроводами диаметром по 9,15 м, расположенными в туннелях на различных отметках, с последовательным ответвлением от них индивидуальных трубопроводов, подводящих воду к отдельным турбинам. В конце верхнего главного водовода на откосе ущелья и в конце нижнего главного водовода внутри расширенной части нижнего туннеля расположены задвижки напорных водоспусков. На перспективе показаны также расположение и конструкция поверхностного водосброса для пропуска паводка. Данная схема является специфичной — применение ее может иметь место при скальных грунтах и больших высотах плотин. При сравнительно значительной длине водоводов уравнильный резервуар в данной схеме отсутствует. На турбинах при этом предусмотрены регуляторы давления с механическим приводом, рассчитанные на расход, равный 80% максимального расхода турбин.

На *фиг. 2* табл. 32 показана осуществленная конструкция башенных водоприемников главных напорных водоводов. Горизонтальное сечение $B—B$ относится к водоприемному поясу одной из башен; на сечении показано расположение решеток и шандорных щитов в пролетах между смежными бычками башенной конструкции. Цилиндрический кольцевой затвор диаметром 9,45 м перекрывает по внутренней цилиндрической поверхности башни расположенные по окружности 12 отверстий высотой по 3,05 м. На сечении $A—A$ изображено размещение трехтягового подъемника в верхнем служебном помещении. На *фиг. 3* изображено поперечное сечение цилиндрического затвора и облицовки подводящих водоприемных отверстий башни; здесь же показаны детали верхнего и нижнего уплотнений цилиндрического затвора.

Конструкция нижней группы напорных водосбросных сооружений, размещенных недалеко от входных порталов внутри строительных туннелей диаметром 15,24 м, изображена на *фиг. 4*. Трубопровод, имеющий диаметром 7,63 м, последовательным делением разветвляется на шесть труб диаметром 2,18 м, в конце которых установлены уравновешенные игольчатые затворы с выходными сечениями диаметром 1,83 м. Перед игольчатым затвором имеются аварийные плоские задвижки. На продольном и поперечном сечениях выявляется схема пространственного размещения трубопроводов, в том числе также и на переходном участке.

Сравнительно простая конструкция размещения напорных трубопроводов диаметром 7,63 м в специальных туннелях диаметром 9,45 м или в строительных туннелях диаметром 15,24 м изображена на поперечном и продольном сечениях *фиг. 5*. На чертеже показаны также конструкции анкерного крепления труб в туннелях. Примерно на уровне оси трубопровода в туннелях размещается инспекционная галерея.

На *фиг. 6* изображен один из трех винтовых подъемников цилиндрического затвора. Три подъемника приводятся в действие общим мотором, размещенным в средней части служебного помещения (см. *фиг. 2*, сечение $A—A$). Это обеспечивает синхронность действия трех подъемников. Подъемник рассчитан на его использование для верхнего и нижнего затворов, что достигается переключением зубчатых шестерен у мотора. Верхний червячный механизм через верхний стакан с внутренней нарезкой воздействует на внутреннюю тягу, присоеди-

няемую к затвору нижнего водоприемного яруса; нижний червячный механизм через аналогичное нижнее резьбовое сцепление воздействует на внешнюю тягу трубчатой конструкции, присоединенную к затвору верхнего пояса. Вес каждого затвора равен 572 т, максимальное тяговое усилие ~ 220 т, расчетное усилие подъемника — 270 т. Время подъема затвора на высоту 2,75 м составляет 52 мин.

На *фиг. 7* табл. 32 изображена схема расположения и внешние габариты турбинного оборудования двух агрегатов рассматриваемой гидроэлектростанции. Диаметр дроссельной задвижки больше диаметра трубопровода, что существенно уменьшает потери напора в дросселе. Ответвление к регуляторам давления принято под острым углом к оси подводящего трубопровода и так расположено, что вода поступает к регуляторам давления, минуя спиральные камеры турбин.

Т а б л и ц а 33. На *фиг. 1* и *2* изображены детали четырехтрубного варианта турбинных напорных водоводов, рассмотренных на *фиг. 1* табл. 31. Размещение и крепление четырех напорных трубопроводов внутри горизонтальных туннелей с постепенным отводом труб к турбинам и напорным водосбросам, рассматриваемые на *фиг. 1*, представляют большой интерес. Сечение *A—A* относится к начальным участкам туннелей, используемых для размещения в них трубопроводов, до места отвода индивидуальных трубопроводов к турбинам. Сечение *B—B* относится к участкам внутренних верхних туннелей после отвода крайнего нижнего трубопровода к первым двум турбинам. На сечении *C—C* изображены те же туннели после дополнительного отвода крайних верхних трубопроводов и на сечении *D—D* — те же туннели после отвода вторых нижних трубопроводов. Сечение *E—E* относится к туннелям, в которых размещены трубы, подводящие воду к верхним напорным водосбросам. На этих участках внутри каждого туннеля имеется один трубопровод без его заделки в бетоне. Наконец, сечения — *F* и *G—G* относятся к участкам нижних крайних туннелей после ответвления верхних трубопроводов. Продольный профиль при разном числе труб изображен на сечениях *A'—A'*, *B'—B'* и *C'—C'*, конструкции центральных и крайних стоек показаны справа на том же чертеже.

На *фиг. 2* изображено размещение четырех трубопроводов на участке поворота от основания водоприемной башни к горизон-

тальным трубопроводам, изображенным на *фиг. 1*. На этом участке, непосредственно под башенным водоприемником, трубы диаметром по 5,33 м бетонизируются внутри изогнутого участка туннеля диаметром 15,24 м. Поверхность последнего была предварительно облицована бетоном. На чертеже показана также конструкция чугунной литой облицовки входных отверстий труб. Неблагоприятной особенностью четырехтрубного варианта является сложность монтажа труб. Применение скошенных трубчатых вставок позволяет применить для сборки всех труб цилиндрические прямолинейные секции, избегая этим трудностей, связанных с изготовлением отдельных труб с неодинаковым радиусом поворота.

На *фиг. 3* табл. 33 изображены расположение и конструкции подводящих и индивидуальных водоводов, отходящих от верхних и нижних главных водоводов при однотрубном варианте *фиг. 1* табл. 32. Продольный профиль *я* поперечное сечение водоводов показывают сплошную металлическую облицовку индивидуальных водоводов, имеющих внутренний диаметр 3,95 м. Толщина облицовки по длине изменяется от 19,2 до 50,8 мм при максимальном внутреннем давлении в нижней части водоводов ~ 200 м вод. ст. В машинном здании, расположенном у крутого скального откоса, показано размещение вертикальных агрегатов с первоначально предполагавшейся всасывающей трубой с резким изгибом ее оси. Так же показано размещение дроссельных затворов. Вариант *фиг. 3* исходит из предположения возможности осуществления главных водоводов туннельного типа с железобетонной их облицовкой, несмотря на столь значительные диаметр водовода и внутреннее давление в нем. В осуществленном варианте внутри главных туннелей размещены металлические сварные трубопроводы, рассчитанные на полную величину давления в них и без учета заделки их в бетоне.

На *фиг. 4* изображен вид служебного моста подвесной конструкции для грузового автотранспорта, использованного при строительстве рассматриваемой гидроэлектростанции.

Т а б л и ц а 34. *Фиг. 1* и *2* изображают конструкцию машинного здания приплотинной гидроэлектростанции, рассмотренной на табл. 30. Здание примыкает к низовой грани плотины и откосам обоих берегов. В правобережном крыле здания установлено восемь агрегатов мощностью на валу турбины по ~ 84 500 квт при 150÷180 об/мин, в левобережной части зда-

ния—семь аналогичных агрегатов и два агрегата по 40 500 *квт*. На плане фиг. 1 показаны схема доставки грузов в машинное здание, размещение рельсовых путей и размещение электрооборудования, в том числе повысительных трансформаторов. Внутри здания со стороны плотины предусмотрены два консольных поворотных крана над площадкой для сборки ротора. Агрегаты собственных нужд имеются по одному в каждом крыле здания. Помещения распределительного устройства и трансформаторы расположены над всасывающими трубами. На плане можно видеть также расположение перекрытых сверху шахт дроссельных задвижек и регуляторов давления, а также мест, на которые опускается сверху платформа кабелькрана для дальнейшей доставки грузов на место их монтажа. В торце здания у плотины расположены мастерские.

На *фиг. 2* изображено поперечное сечение машинного здания по одному из основных агрегатов. На чертеже показано размещение внутри машинного здания турбины, генератора и одного из двух грузоподъемных кранов по 300 *т* каждый, используемых для монтажных работ. Расположение вспомогательных помещений предусмотрено со стороны нижнего бьефа над всасывающими трубами. Здесь же размещаются повысительные трансформаторы мощностью по 55 000 *кВа* для крупных агрегатов и по 13 333 *кВа* — для малых агрегатов. Колебания уровня нижнего бьефа проектом приняты равными 12,49 *м*. На бычках со стороны всасывающих труб проходит путь для перевозки трансформаторов. Осуществленное при строительстве гидростанции размещение элементов высоковольтной передачи на крыше здания на чертеже не показано.

Т а б л и ц а 35. Детали конструкции верхнего строения машинного здания гидроэлектростанции, рассмотренного на табл. 34, поясняются поперечными сечениями здания и подкрановых колонн, помещенными на данной таблице. Здание обслуживается двумя кранами грузоподъемностью по 300 *т* каждый. Это потребовало значительной армировки подкрановых колонн, показанной на поперечных сечениях. Подкрановая балка представляет собой металлическую конструкцию двутаврового сечения высотой 0,84 *м*, весом 312,5 *кг/пог. м*.

На чертеже изображены сечения типовых промежуточных колонн, а также сечения угловых колонн, расположенных в торцах здания, причем приведены детали армирования. Кроме того, показаны конструкция плоского пере-

крытия здания и конструкция монтажной площадки. Для открывания и закрывания окон в здании установлены специальные электромоторы.

Из особенностей конструкции верхнего строения здания данной гидроэлектростанции следует отметить применение перекрытия на металлических сварных фермах при общей железобетонной конструкции, а также применение стальных подкрановых балок. Применение стальных подкрановых балок, а также металлических колонн и каркаса, во многих случаях оправдывается возможностью значительно раньше приступить к монтажу основного оборудования. Следует также отметить, что большая величина нагрузок делает железобетонные элементы чрезвычайно сильно насыщенные арматурой, что затрудняет бетонирование. В схеме рассматриваемой гидростанции сроки производства работ определялись в основном сравнительно большой длительностью укладки массива бетона плотины, объем бетона которой составлял больше $2 \cdot 10^6$ *м³*. В этих условиях сроки возведения конструкции машинного здания имели второстепенное значение. На правом поперечном сечении здания показаны также размеры торцевого проема для доставки грузов, имеющего размеры 5,77 X 4,27 *м* и перекрываемого металлической шторой.

Т а б л и ц а 36 изображает приплотинную гидроэлектростанцию с многолетним регулированием и средним расчетным напором ~ 143 *м*. Напор создается бетонной гравитационной плотинной, имеющей в плане форму арки. Максимальная высота плотины ~ 193 *м*. У подошвы плотины располагается машинное здание с четырьмя агрегатами мощностью по 90 000 *квт*. Максимальный напор равен ~ 160 *м*. Для подвода воды к турбинам используются два туннеля длиной по 180 *м*, имеющие внутренний диаметр 7,35 *м*. Полный объем водохранилища $3,93 \cdot 10^9$ *м³*. Величины годовых стоков за период 14-летних наблюдений колебались в пределах от $1,73 \cdot 10^9$ до $3,95 \cdot 10^9$ *м³/год*. Средний многолетний расход равен $\sim 93,5$ *м³/сек*. Максимальный наблюдаемый расход за 14 лет наблюдений составлял приблизительно 840 *м³/сек*, бытовой минимальный расход равен $\sim 11,5$ *м³/сек*, расход обеспеченностью 90% равен $\sim 27,5$ *м³/сек*. Расчетный паводок принят в 2 850 *м³/сек*; водосбросные сооружения на чертеже не показаны. Весь узел сооружений расположен на скальных грунтах (гранит).

Возведение плотины данной гидроэлектростанции было предположено осуществить по высоте в три очереди в целях распределения затрат на длительное время. Практически две первые очереди работ были объединены. Данная гидростанция представляет собой верхнюю ступень гидроэнергетического каскада, состоящего из трех гидростанций. Сооружение рассматриваемого водохранилища имеет следствием полное многолетнее регулирование стока, с удвоением мощности двух нижних ступеней каскада. Их мощность увеличивается на ~260 000 квт. Экономические расчеты показали также, что убытки в низовьях реки в случае однократного повторения паводка с расходом, равным максимально наблюдаемому, при современном уровне сельского хозяйства достигнут величины, равной полной стоимости плотины.

Т а б л и ц а 37. На *фиг. 1—7* изображены план и сечения сооружений головного и станционного узлов гидроэлектростанции с безнапорной деривацией, сооруженной на магистральном оросительном канале. Извилистый участок старого русла канала, показанный пунктиром (*фиг. 1*), спрямляется, и на спрямленном русле сооружена разборчатая плотина с сегментными затворами, создающая подпор в верхнем бьефе до отметки 538,2 м. Водоприемник расположен справа от плотины и имеет донные галереи для промыва наносов, осаждающихся в верхнем бьефе у порога водоприемника. Последний запроектирован на отметке 536,2 м. Ширина спрямленного участка канала по дну равна 26,0 м, откосы—земляные с заложением 1 : 1,5. На протяжении 88,5 м перед плотинной в верхнем бьефе спрямленное русло заключено в подпорные стенки. На пересечении правого откоса спрямленного русла со старым руслом откос укреплен габионами.

Деривационный канал протрассирован по правому берегу и рассчитан на максимальный расход 42,0 м³/сек, при продольном уклоне канала 0,0007, ширине по дну 8,0 м и при бетонированных откосах. При входе в водоприемник установлена сороудерживающая решетка, очистка которой производится вручную со служебного мостика. Водоприемник имеет четыре пролета, перекрываемых плоскими затворами, а на случай ремонта их предусмотрены шандорные пазы. В левом пролете плотины находится шугосбросное сооружение пролетом 7,5 м.

На *фиг. 2 и 3* табл. 37 изображены про-

дольный разрез и план напорного бассейна. Длина бассейна ~40 м, ширина 13,8 м, продольный уклон дна 0,108. Вода из бассейна поступает в два деревянных турбинных трубопровода диаметром по 3,50 м, соединенных с бассейном посредством коротких участков металлических труб, забетонированных во фронтальной стенке бассейна. Перед входом в трубопроводы предусмотрена частая сороудерживающая решетка с механической очисткой (*фиг. 2 и 4*); за решеткой предусмотрены шандорные пазы и плоские металлические щиты.

Ввиду того, что подводящий деривационный канал является несаморегулирующимся, в пределах напорного бассейна предусмотрен холостой боковой водослив длиной ~25 м, рассчитанный на пропуск в нижний бьеф гидростанции полного расхода канала в случае внезапного выпадения нагрузки. Удаление наносов из напорного бассейна и промыв порога водоприемника осуществляются через две донные промывные галереи с отводом воды в быстроток холостого водосброса. Сечение промывных галерей 1,0 X 1,0 м. Для полного опорожнения бассейна предусмотрен донный водосброс в стенке бассейна, перекрываемой щитом размером 1,50X2,00 м. Напорный бассейн основан на нескальных грунтах. Для уменьшения фильтрации в грунт все сооружение изолировано по смоченному периметру слоем асфальтированного гравия. Под основанием сооружения предусмотрен дренаж. На *фиг. 6* изображены продольный профиль нижнего участка деревянного трубопровода и разрез по машинному зданию. Верхний участок трубопровода состоит из двух ниток деревянных бандажированных труб диаметром по 3,50 м, поддерживаемых промежуточными бетонными опорами с охватом трубы в 160° (см. *фиг. 5*), установленными через каждые 3,00 м. Диаметр бандажей—28,6 мм, расстояние между ними — 0,11 м. Длина каждой из деревянных труб равна 345,0 м, продольный уклон оси труб — 0,0448. Внизу, при подходе к машинному зданию, непосредственным продолжением каждого из деревянных трубопроводов является металлический трубопровод диаметром 3,0 м и длиной 60 м. В местах изгиба продольного профиля предусмотрены анкерные опоры. Температурные компенсаторы труб — скользящего типа. При подходе к машинному зданию в пределах анкерной опоры каждый из трубопроводов дополнительно разветвляется на две трубы диаметром по 2 10 м.

В машинном здании установлены четыре агрегата с турбинами Френсиса с металличе-

ской спиралью, мощностью по 3 325 квт, каждая при 375 об/мин. Перед турбинами предусмотрены затворы дроссельного типа. Всасывающая труба — вертикальная прямоосная, колоколообразной формы. На турбинах имеются регуляторы давления. Кран машинного здания имеет грузоподъемность 30 т. Повысительная подстанция открытого типа расположена над отводящим каналом. Осмотр и ремонт турбины и всасывающей трубы производится через смотровые люки, устроенные во всасывающей трубе, доступ к которым предусмотрен через галерею под турбинной камерой.

В деревянном трубопроводе в пределах верхней анкерной опоры имеется опасность возникновения чрезмерного вакуума при росте нагрузок. Установка противовакуумных клапанов или противовакуумных стояков на каждом из трубопроводов в этом месте трассы является целесообразной.

Т а б л и ц а 38. На *фиг. 1* и *2* изображена схема расположения сооружений гидроэлектростанции с напорной деривацией. При статическом напоре в 163 м плотина создает в данной гидростанции напор лишь в несколько метров. Деривационный водовод состоит из двух участков напорного туннеля суммарной длиной 2 396 м и диаметром 2,9 м и двух участков деревянного трубопровода суммарной длиной 8 077 м при диаметре 3,15 м. Уравнительный резервуар имеет высоту 30 м. Конструкции туннеля, трубопровода и его опор изображены на *фиг. 2*. На схеме изображено также положение пьезометрической линии при наивысшем положении уровня в уравнительном резервуаре при максимальном расходе. В дальнейшем предполагается сооружение водохранилища на участке реки выше места расположения данной гидроэлектростанции.

На *фиг. 3* и *4* табл. 38 изображены продольный профиль и план расположения сооружений станционного узла гидроэлектростанции с безнапорной деривацией. В состав сооружений данного узла входят нижний участок саморегулирующегося деривационного канала, напорный бассейн, четыре турбинных деревянных трубопровода длиной по 835 м, система уравнительных резервуаров, четыре металлических напорных трубопровода длиной по 115 м, машинное здание и отводящий канал. Данная схема является весьма сложной, что является следствием относительно мало благоприятных геологических условий. Машинное здание рас-

положено на расстоянии 1 130 м от напорного бассейна. Наличие большого водохранилища в голове канала данной гидростанции обеспечивает сравнительно равномерный режим ее работы. Используемый напор изменяется от максимума, равного 55,15 м, до минимального напора в 44,0 м, наблюдаемого в период наибольшей сработки водохранилища. Уровень нижнего бьефа практически остается постоянным вследствие подпора плотиной ниже расположенной гидростанции. Установленная мощность составляет ~200000 квт в четырех агрегатах. Машинное здание расположено в глубоких выемках.

Длина деревянных и металлических трубопроводов в схеме могла бы быть уменьшена посредством смещения машинного здания в сторону более глубоких выемок (в изображенном варианте их глубина уже достигает ~30 м), а также посредством сдвига напорного бассейна к машинному зданию, с возведением более высоких земляных дамб в конструкции напорного бассейна. Избежать применения уравнительных башен при этом можно было бы лишь посредством очень глубоких выемок и при значительном продольном уклоне турбинных трубопроводов. На каждом из трубопроводов установлена система из трех уравнительных башен. Металлические трубы имеют максимально допустимый по геологическим условиям продольный уклон.

Особенностью принятой компоновки данного узла сооружений является также раздельное размещение повысительных подстанций 110 и 220 кв на разных отметках. Необходимость выдержать достаточную пологость откосов котлована под машинное здание привела к большому объему обратных засыпок и созданию у машинного здания значительных по своим размерам площадок на отметке 12,0 м, являющихся излишними с точки зрения требований эксплуатации. Оказалось также необходимым размещение металлических напорных трубопроводов на насыщенном грунте.

Принятая конструкция многокамерных уравнительных резервуаров весьма оригинальна и до настоящего времени в гидроэлектростроительстве не применялась. В экономическом и конструктивном отношении в данных условиях она является предпочтительной по сравнению с резервуарами обычного типа.

Т а б л и ц а 39, *фиг. 1*. Данный чертеж поясняет конструкцию напорного бассейна гидроэлектростанции, станционный узел которой изображен на *фиг. 3* и *4* табл. 38. Отметка

порога водоприемника — 43,0 м, максимальный уровень в бассейне — 67,25 м, минимальный уровень — 54,6 м, диаметр деревянного турбинного трубопровода — 6,25 м, полная ширина водоприемника — 54,0 м. Полная высота бетонных сооружений бассейна достигает 33 м. Так как дно деривационного канала имеет ширину 20,0 м, то при подходе к водоприемнику стенки канала пришлось развернуть. Расширение было осуществлено на длине ~100 м. Мелкие пылеватые пески, на которых расположен данный напорный бассейн, обладают весьма плохими статическими свойствами и склонны к оползневым явлениям. Это привело к необходимости предусмотреть мероприятия против просачивания воды из бассейна в пески, так как во влажном состоянии их устойчивость существенно уменьшается. С этой целью подводящий канал имеет сплошной противофильтрационный плащ из суглинка толщиной 0,8 м. В напорном бассейне толщина плаща увеличена до 1,0÷1,5 м, и для предупреждения размыва или повреждений имеется покрытие из железобетонных плит по слою песчаной подготовки. Для сопряжения стенок канала с водоприемным сооружением имеется два состоящих из мощных полых подпорных стенок бетонных открылка, примыкающих к фронтальной стенке. Водоприемные отверстия труб расположены под минимальным зимним уровнем и защищаются сороудерживающими решетками, шандорами и щитами. Над ними предусмотрено специальное помещение для размещения подъемных механизмов и машин для механической очистки решеток. Основание водоприемной конструкции напорного бассейна заложено примерно на 30 м под максимальным уровнем верхнего бьефа.

Необходимо отметить ряд недостатков рассматриваемой конструкции напорного бассейна. Применение мощных подпорных стенок большой длины привело к большому расходу бетона. Водоприемные отверстия трубопроводов недостаточно глубоко заложены под наименьшим уровнем верхнего бьефа, так что минимальный запас получается всего около 3 м. При трубопроводах диаметром 6,25 м это является недостаточным.

На *фиг. 2* изображены башенная конструкция уравнильного резервуара той же гидроэлектростанции. Наличие трубопровода диаметром 6,25 м при его суммарной длине 1 030 м привело к большим затруднениям при проектировании уравнильного резервуара. Было рассмотрено несколько конструкций, но

все они приводили к необходимости сооружения для каждой нитки трубопровода резервуара диаметром больше 30 м и высотой 36÷50 м. Осуществить такое сооружение из металла или железобетона представлялось затруднительным. Это привело к варианту с несколькими резервуарами на каждом трубопроводе. В варианте, изображенном на *фиг. 2*, на каждом трубопроводе размещаются три цилиндрических металлических резервуара башенной конструкции диаметром по 12,0 м, при этом толщина стенок резервуара не превышает 22 мм. Резервуары установлены на железобетонных кольцевых фундаментах, опирающихся на массивные бетонные плиты. Переход от деревянного водовода к металлическому, имеющему диаметр 5,5 м, осуществлен до уравнильной башни в специальной анкерной опоре. Короткие патрубки связывают металлический трубопровод с основанием стальных стояков резервуаров. В данной конструкции являлось необходимым обеспечение независимой осадки каждой башни, что достигается установкой специальных компенсаторов на соединительных патрубках.

На *фиг. 3* изображен вид на машинное здание со стороны нижнего бьефа, причем по двум агрегатам, монтажной площадке и вспомогательным помещениям показан продольный разрез. В машинном здании установлены четыре агрегата с турбинами Френсиса диаметром 3,8 м при 125 об/мин. Генераторы зонтичные, мощностью по 62 500 *кв*а. Позади здания видны уравнильные резервуары четырех напорных трубопроводов. На сечениях агрегатов показаны расположение вентиляционных каналов в подгенераторных конструкциях и форма турбинной шахты, а также монтажная площадка и два этажа служебных помещений, расположенных под ней. Монтажная площадка располагается на бетонном фундаменте ячеистой конструкции, с частичным заполнением песком. Здесь же показан разрез по корпусу здания, в котором размещаются распределительные устройства, пульт управления и служебные помещения. Пологие откосы выемок по котловану здания весьма увеличивают объем земляных работ и приводят к нежелательному расположению здания распределительного устройства на насыпных грунтах.

Т а б л и ц а 40. На *фиг. 1* и *2* изображены поперечное сечение и план машинного здания гидроэлектростанции, рассмотренной на табл. 39. Конструкция здания использована в качестве нижней анкерной опоры турбинных

трубопроводов. Это привело к некоторому увеличению массивности конструкции здания, что сопровождалось также дополнительным усилением конструкции вследствие плохих свойств грунтов основания. При данных условиях автоматические регуляторы удалось расположить достаточно свободно в нижнем этаже. Распределительное устройство собственных нужд расположено над всасывающими трубами.

Оси агрегатов размещены несимметрично по отношению к боковым стенам здания. При внешнем диаметре генераторов $\sim 10,5$ м расстояние между осями агрегатов составляет 17,8 м. Повысительные трансформаторы и оборудование автоматического регулирования размещены над анкерными опорами трубопроводов. Всасывающие трубы имеют в плане несимметричную форму, что позволило упростить разрезку на блоки. Охлаждение генераторов является замкнутым, с водяными охладителями, установленными в специальных нишах. Для ввода железнодорожных путей на монтажную площадку и для отвозки трансформаторов в трансформаторную мастерскую предусмотрена эстакада длиной 60 м. Отказ от эстакады привел бы к большому объему дополнительных грунтовых работ.

На, *фиг. 3* табл. 40 изображен план головного узла сооружений гидроэлектростанции с безнапорной деривацией и водоприемным сооружением, к которому непосредственно примыкает трехкамерный отстойник. Плотина с сегментными затворами создает подпор всего лишь в несколько метров над нормальным меженим уровнем реки. Расчетный расход водоприемника ~ 35 м³/сек. В схеме узла предусмотрен ряд мер для промыва верхнего бьефа и защиты водоприемника от пловучего сора. При большом количестве наносов под входным порогом водоприемника могли бы быть с успехом применены донные промывные галереи для промыва донных наносов.

На *фиг. 4* изображен вид станционного узла гидроэлектростанции с безнапорной деривацией, — виден отводящий канал, машинное здание гидроэлектростанции с четырьмя агрегатами, а позади его видна верхняя часть напорного бассейна с подъемными механизмами водоприемников.

Т а б л и ц а 41, *фиг. 1*. Одним из наиболее сложных элементов в схеме деривационной установки с безнапорной несаморегулирующей деривацией является станционный узел сооружений. Наличие шуги в реке и канале

еще более усложняет компоновку элементов напорного бассейна. На рассматриваемом чертеже изображен станционный узел сооружений, в состав которого входят напорный бассейн с его фронтальной стенкой, в которой размещены водоприемные сооружения напорных трубопроводов, водосбросные сооружения для холостого пропуска воды в нижний бьеф, турбинные трубопроводы с их опорами, машинное здание, корпус управления, повысительная подстанция и примыкающие участки подводящего и отводящего каналов. Энергетическая часть сооружений рассчитана на расход в $280 \div 300$ м³/сек, водосбросные сооружения—на расход в $125 \div 150$ м³/сек. Напорный бассейн вынесен на сравнительно низкие отметки, так что лишь дно его расположено в неглубоких выемках порядка $1 \div 2$ м, боковые же стенки бассейна образованы дамбами высотой до 14 м. В соответствии с характером грунтов в основании бассейна и в дамбах; является необходимой облицовка дна и стенок и дренажная система под сооружением. Особенное внимание обращено на работу облицовки при быстрых колебаниях уровня в бассейна и устранение опасных величин фильтрационного давления под облицовкой. Напорный бассейн с его фронтальной стенкой находится на откосе, что требует особого внимания к вопросам обеспечения их устойчивости. Машинное здание и отводящий канал в свою очередь максимально подвинуты к напорному бассейну, в связи с чем они сильно врезаются в откос, с глубиной выемок, достигающей $25 \div 28$ м. Это дает сравнительно небольшую длину трубопроводов, обеспечивающую допустимую величину гидравлического удара. Холостой водосброс в данной схеме имеет ряд промежуточных водобойных колодцев, расположенных в различных точках откоса, и криволинейное в плане расположение. Данная конструкция требует значительных объемов работ и является более сложной, чем современные конструкции прямоосных и криволинейных быстротокков. Слева от водоприемных сооружений трубопроводов расположен водоприемник технического водоснабжения. Повысительная подстанция расположена на левом берегу отводящего канала, при очень небольшой глубине выемок. Доставка грузов к машинному зданию и подстанции производится по железнодорожному пути.

На *фиг. 2* табл. 41 изображена схема расположения сооружений аналогичного станционного узла. Особенности рельефа привели здесь, однако, к повороту оси потока на 90°

при подводе воды к водоприемникам напорных трубопроводов. Отводящий канал также отходит с поворотом по отношению к направлению выхода воды из всасывающих труб. Расположенно данного узла на сравнительно крутом склоне привело к конструкции напорного бассейна, почти полностью расположенного в выемках, без необходимости применения боковых дамб. Том не менее, фронтальная стенка и примыкающие к ней участки боковых стенок бассейна имеют значительную высоту. Глубина выемок по начальному участку отводящего канала также меньше, чем в схеме, изображенной на фиг. 1. Расположение турбинных трубопроводов и машинного здания по отношению к фронтальной стенке, а также схема водосбросного сооружения аналогичны примененным в схеме фиг. 1. На чертеже показаны промывные сооружения под порогом водоприемников турбинных трубопроводов со сбросом в холостой водосброс и пропуск ирригационного канала под турбинными трубопроводами. Повысительная подстанция расположена на правом берегу отводящего канала.

Т а б л и ц а 42. На *фиг. 1* изображен вариант измененной конструкции напорного бассейна, входящего в состав станционного узла, рассмотренного на *фиг. 1* табл. 41. В данном варианте на правой стороне напорного бассейна предусмотрено сооружение постоянного шугосброса с водоприемным гребнем на отметке 671,20 м и с лотком шириной 3,80 м. Продольный разрез по А—А поясняет конструкцию шугосброса. Последний необходим для обеспечения эксплуатации гидроэлектростанции в период шугохода, что требует, однако, поддержания уровня в канале и бассейне на пониженных отметках, обеспечивающих пропуск воды и шуги со скоростями, устраняющими возможность смерзания шуги в бассейне. Фронтальной стенке бассейна придана в плане почти прямолинейная форма, причем направление оси водоприемного сооружения холостого водосброса определилось направлением прямолинейного быстрого тока, примененного в качестве водосброса в данном варианте. На поперечных разрезах I—I, II—II и III—III пояснены железобетонные конструкции шугосбросного лотка и шугоуловителя. Перед последним в канале размещаются деревянные шугонаправляющие запаны.

На *фиг. 2* и *3* табл. 42 изображены типовые сечения боковых дамб рассматриваемой конструкции напорного бассейна. Дамбы высотой 10 м работают в условиях переменных

и быстроизменяющихся уровней напорного бассейна. Расположенный на галечниковых грунтах и с боковыми дамбами, сооруженными из тех же грунтов, напорный бассейн имеет сплошную водонепроницаемую облицовку дна и боковых стенок. Для обеспечения водонепроницаемости облицовки предусмотрены укладка битумных матов в два слоя по бетонной подготовке, дополнительная цементная штукатурка поверхности битумматов и, наконец, укладка армированной бетонной облицовки толщиной 0,20 м, представляющей собой поверхностный защитный слой. Дренарующий песчаный слой под облицовкой с отводом фильтрационных вод в галечниковые слои через систему поглощающих скважин, прорезающих слой суглинка, должен обеспечить устранение фильтрационного давления под облицовкой. Надежность работы армированной облицовки в условиях переменных уровней и гарантии невозможности оползания облицовки по поверхности битумматов являются при рассматриваемых грунтах основания и условиях эксплуатации исключительно важными. На приведенных выносках *фиг. 5, 6* и *7* показаны детали облицовки. Большое внимание обращено также на конструктивные швы, в которых должна быть обеспечена почти полная водонепроницаемость. Предположение о возможности засорения поглощающих скважин привело к предложению использовать систему обратных клапанов (*фиг. 5*), устанавливаемых в облицовке у подошвы облицованных напорных откосов дамб бассейна. Предполагается, что с помощью данных клапанов обеспечивается быстрый выпуск фильтрационной воды из-под облицовки в моменты быстрого понижения уровня воды в напорном бассейне. Необходимо, однако, герметичность клапанов в их закрытом состоянии для устранения утечки воды из бассейна под облицовку. Не менее важным является устранение поступления наносов в бассейн по каналу. Необеспеченность последнего требования привела бы к засорению клапанов и невозможности их работы в соответствии с проектными предположениями. Наиболее эффективным мероприятием, обеспечивающим прочность облицовки, является надежная система дренающих слоев и труб под облицовкой. Конструкции дренажных устройств в данном бассейне было уделено серьезное внимание.

На *фиг. 4* табл. 42 изображен продольный разрез сооружений рассматриваемого станционного узла по оси одного из напорных трубопроводов. Чертеж поясняет конструкции ма-

шинного здания, фронтальной стенки, водоприемных сооружений и напорного бассейна. Схема размещения каждого из четырех турбинных трубопроводов относительно средней продольной оси данного узла сооружений приведена на *фиг. 2* табл. 44. Напорный бассейн расположен на нескальных разнородных грунтах, причем в случае фильтрации под ним представлялось возможным нарушение устойчивости фронтальной стенки. Поэтому по периметру основания фронтальной стенки было предусмотрено шпунтовое металлическое ограждение. Металлический шпунт предусматривался также под напорным бассейном на некотором расстоянии от фронтальной стенки, равно как и инспекционная дренажная галлерея поперек бассейна и по его краям у подножия боковых дамб. Слабым местом в данном решении являются трудности забивки шпунтового ряда в горные выносные породы, в состав которых входят даже крупные камни, и создание более коротких путей фильтрации через дренажные галлереи, расположенные в пределах верхнего бьефа по периметру бассейна. Под порогом водоприемника предусмотрены промывные галлереи с задвижками на нижнем их конце. Их частая контрольная промывка необходима для устранения возможности их полного завала наносами. Детали сечения фронтальной стенки и расположения механизмов показаны на чертеже, равно как и конструкция напорных трубопроводов и их опор. Массивная нижняя анкерная опора труб составляет одно целое с фундаментами машинного здания. Данное сооружение расположено на мергелях. Над изогнутыми всасывающими трубами расположены помещения электрооборудования и служебные помещения.

Таблица 43. *Фиг. 1, 2 и 3* таблицы характеризуют дальнейшее развитие проекта напорного бассейна, изображенного на табл. 42; сложность и ответственность конструкции фронтальной стенки напорного бассейна при расположении последнего на нескальных грунтах поясняются также разрезом по оси напорного бассейна (*фиг. 1*), продольным разрезом фронтальной стенки (*фиг. 2*) и планом стенки (*фиг. 3*). В результате дополнительного анализа шпунтовое ограждение по периметру стенки были заменены в данном варианте бетонными стенками — шпорами, опущенными до галечников. Инспекционные дренажные галлереи были устранены и вместо них предусмотрены поглощающие скважины, отводящие воду в галечниковые грунты (*фиг. 3* табл. 42). Это должно обеспечить устранение

опасных по величине фильтрационных давлений под облицовкой. Бетонные опускные стенки обеспечивают необходимую устойчивость фронтальной стенки. Продольный разрез фронтальной стенки показывает, что опускные бетонные стенки предусмотрены под каждым из бычков конструкции, как под водоприемниками трубопроводов, так и под водоприемниками холостого водосброса. На плане показаны температурные швы и расположение шпонок уплотнения. Из продольного разреза видно, что температурные швы доходят лишь до нижней плиты и не пересекают фронтальную стенку на отдельные блоки. В целом конструкция стенки является весьма сложной, требует большого количества опалубочных работ и армирования. На плане расположение промывных галлереи порога водоприемника не показано. По обе стороны фронтальной стенки на плане и в разрезе показано примыкание боковых дамб напорного бассейна, сооруженных, как это показывает чертеж, из галечниковых грунтов. В левом устье предусмотрено место для хранения шандор для водоприемников напорных трубопроводов.

На *фиг. 4* табл. 43 изображена современная конструкция быстротока, успешно и широко применяемая в последние годы в строительстве гидроэлектрических станций. Быстроток является одним из самых экономичных водосбросов, так как большие скорости, допускаемые в нем, приводят к соответствующему уменьшению поперечных размеров сооружения. Кроме того, гашение энергии является при этом сосредоточенным в нижней части сооружения, с расположением водобойных сооружений в более надежных в смысле их устойчивости условиях.

Изображенный на чертеже быстроток рассчитан на пропуск расхода $\sim 285 \text{ м}^3/\text{сек}$ при постоянной ширине $\sim 20,5 \text{ м}$. Железобетонные конструкции данного быстротока расположены на нескальных грунтах. Дно быстротока имеет железобетонную облицовку толщиной $0,3 \text{ м}$ с разрезкой конструктивными швами на плиты шириной по $9,14$ и $10,67 \text{ м}$ и длиной $\sim 14,5 \text{ м}$. Облицовка уложена по гравийной подготовке толщиной $0,3 \text{ м}$. Конструкция швов должна обеспечить одинаковые осадки смежных участков облицовки. По всем швам предусмотрена система поперечных и продольных дренажных труб. Водобойный колодец имеет максимальную глубину $\sim 5,5 \text{ м}$ при высоте контрфорсных железобетонных стенок $7,62 \text{ м}$. Толщина контрфорсных стенок составляет всего лишь $0,30 \text{ м}$. В конце водобойного ко-

лодца предусмотрены зубчатый порог высотой 1,2 м и забивка металлического шпунта на глубину 7,62 м. Расположение быстротока на нескальных грунтах ограничило допущенную расчетную величину расхода на погонный метр ширины водосброса. Обращает на себя внимание небольшая толщина стенок и облицовки дна. Очень хорошее качество работ, и особенно бетона, является предпосылкой допустимости применения подобной конструкции.

Т а б л и ц ы 44 и 45. На *фиг. 1* табл. 44 изображена конструкция прямолинейного быстротока, примененная в одном из вариантов стационарного узла сооружений, изображенного на *фиг. 1* табл. 41. Поперечные сечения быстротока, рассчитанного на пропуск расхода в 125 м³/сек, а также водобойных сооружений, приняты трапециoidalными с железобетонной облицовкой. При нескальных грунтах толщина облицовки быстротока по дну равна 0,5 м и на боковых стенках от 0,5 до 0,2 м. На участке водобойного сооружения толщина облицовки доходит до 1,5 м. Гашение энергии воды предусмотрено сооружением ряда порогов и поперечных подпорных сооружений водосливного профиля. Система гашения является чрезмерно усложненной. В ряде других существующих конструкций быстротоков удалось достигнуть меньшей длины и более простой схемы выпуска воды из быстротока в нижний бьеф. Надежно работающая дренажная система в подобных сооружениях является обязательной для обеспечения надежной работы облицовки при быстрой смене уровней в водосбросных сооружениях. Ширина поперечного сечения быстротока по дну равна 10,0 м при расходе ~12,5 м³/сек на погонный метр ширины быстротока и при глубине струи ~1,0 м. Как показывает разрез I—I, быстроток проходит в очень небольших выемках. Поперечные сечения II—II (*фиг. 4*) и III—III (*фиг. 5*) относятся к нижней части водосброса.

Сооружение глубоких бетонных опорных опускных стенок по фронтальной стенке бассейна является сравнительно сложным видом работ. На *фиг. 3* табл. 44 изображен оригинальный способ сооружения подобных стенок, примененный также в условиях нескальных грунтов при глубинах стенки до 35 м. Работа по возведению, в том числе и по бетонированию, стенки начиналась сверху. Толщина стенки была достаточно большой, чтобы можно было в середине ее оставить полость для производства работ под верхней, уже возведенной

частью стенки. Под возведенной частью производилась выемка на глубину 2÷3 м и немедленное бетонирование. На фотографии можно видеть арматуру и поперечные распорные перегородки. Данный способ работ оказался весьма экономичным, однако он применим лишь при достаточно устойчивых грунтах.

На *фиг. 6—9* табл. 44 и *фиг. 1—4* табл. 45 изображены схема расположения сооружений гидроэлектростанции средней мощности с комбинированным деривационным водоводом, конструкции головного водоприемного узла сооружений, бассейна суточного регулирования, отстойника и проектный график суточной работы гидроэлектростанции. Статический напор гидростанции равен 106,20 м, среднесуточный расход — 9,63 м³/сек. Начальный участок деривации выполнен в виде безнапорного туннеля длиной 350 м, заканчивающегося бассейном суточного регулирования. При выходе в бассейн вода проходит через двухкамерный отстойник непрерывного действия. От бассейна суточного регулирования берет начало напорный деривационный туннель длиной ~ 2 750 м, изображенный жирной пунктирной линией на *фиг. 6* табл. 44. В конце напорного туннеля расположен подземный уравнивающий резервуар. Напорный наклонный туннель подводит воду к машинному зданию, расположенному у подошвы скального откоса правого берега реки. На этом же плане тонким пунктиром изображен второй вариант расположения сооружений гидростанции и также приведен его продольный профиль. В этом варианте безнапорный участок деривации отсутствует. В схеме сооружений данной гидроэлектростанции длительное регулирование стока отсутствует и является характерным расположение бассейна суточного регулирования (*фиг. 1* табл. 45) вблизи головного узла сооружений, с соответствующим увеличением размеров поперечного сечения деривационного водовода. Оригинальным является также применение двухкамерного отстойника непрерывного действия (*фиг. 1* и *3* табл. 45). У водоприемного сооружения русло реки перегорожено плотной с двумя пролетами, перекрываемыми плоскими щитами (*фиг. 9*, табл. 44). Порог водоприемника, расположенного на правом берегу реки, вынесен в русло реки для создания возможно лучших условий промыва донных наносов через левое водосбросное отверстие плотины. Перед входом в деривационный туннель имеется отстойник с возможностью промыва наносов. Сечение В—В (*фиг. 2* табл. 45) представляет собой продольный разрез по водо-

приемнику. При входе в отстойный бассейн предусмотрены забральная стенка и грубая решетка для защиты деривации от пловучего сора. Здесь же располагаются щиты или шандоры для регулирования поступления воды в отстойный бассейн при промыве осевших в нем наносов и на случай ремонта бассейна.

В конструкции, изображенной на чертеже, щиты или шандоры при входе в бассейн не показаны. Вход в безнапорный деривационный туннель перекрывается при ремонте и осмотре туннеля плоским затвором. На *фиг. 8* табл. 44 изображено поперечное сечение безнапорного деривационного туннеля данной гидростанции по первому варианту, рассчитанного на расход, близкий к максимальному среднесуточному расходу турбин гидростанции. В соответствии с формой графика суточной нагрузки необходимый объем бассейна суточного регулирования составляет $\sim 185\ 000\ м^3$, как это показывает график суточного регулирования (*фиг. 7* табл. 44).

На *фиг. 1* и *3* изображены детали конструкции бассейна суточного регулирования с примыкающими к нему сооружениями. Бассейн имеет постоянную ширину по дну, равную $60,0\ м$, при длине бассейна $\sim 340\ м$. В плане бассейн состоит из двух прямых участков, примыкающих друг к другу под углом $\sim 45^\circ$. Слева по течению бассейн ограждается дамбой из каменной наброски с глиняным ядром, а справа — подпорной стенкой, одновременно являющейся стенкой обходного канала. Вода из безнапорного деривационного туннеля поступает в двухкамерный отстойник непрерывного действия, из которого поступает в бассейн суточного регулирования. Для промыва наносов из отстойника предусмотрена промывная галерея, которая проходит под дном бассейна суточного регулирования и его ограждающей дамбой и выведена к руслу реки. Из отстойника вода может быть направлена через обходной канал непосредственно в напорный деривационный туннель; при работе гидростанции с неполной мощностью избытки воды поступают в бассейн непосредственно из отстойника. Бассейн суточного регулирования соединен с напорным туннелем широким водоприемником, с контрольной очисткой воды соудерживающими решетками. Непосредственно вблизи входа в напорный туннель, слева по течению, расположены донные водосбросные отверстия для опорожнения бассейна в случае необходимости его ремонта или осмотра, а для устранения возможности чрезвычайного повышения уровня воды в бассейне

и перелива воды через гребень ограждающей дамбы предусмотрен сифонный водосброс. Для разгрузки облицовки дна бассейна суточного регулирования от фильтрационного давления при быстром опорожнении бассейна предусмотрена система дренажа под бетонной облицовкой дна, сооружаемой на слое гравия толщиной $0,30\ м$ (*фиг. 3* и *4* табл. 45). Дренажные трубы соединяются с главным дренажным коллектором, имеющим по длине шесть поперечных сбросов на откос за пределами ограждающей дамбы. На чертеже показан поперечный разрез по конструкциям отстойника и бассейна суточного регулирования, поясняющий также конструкцию ограждающей дамбы из каменной наброски с глиняным ядром. Ширина каждой камеры отстойника равна $6,6\ м$.

На *фиг. 5* я *6* табл. 45 изображены продольный профиль и план расположения сооружений гидроэлектростанции, в которой машинное здание расположено в $200\ м$ от арочной плотины высотой $85,5\ м$. Водосброс для пропуска паводка расположен на правом берегу на расстоянии $370\ м$ от плотины. Водоприемник, напорный подводный туннель диаметром $5,18\ м$, строительный туннель и машинное здание с двумя агрегатами по $18\ 300\ квт$ размещены на левом берегу. Длина напорного туннеля равна $225\ м$, уравнильный резервуар в схеме установки отсутствует. Для увеличения напора было расчищено русло реки ниже машинного здания. Колебания напора происходят в пределах от $79,25$ до $42,67\ м$ при средневзвешенном напоре $\sim 61,0\ м$. Продольный профиль по сооружениям гидроэлектростанции (*фиг. 5*) поясняет конструкцию водоприемного сооружения, подводящего водовода, машинного здания и напорных водосбросных сооружений. Максимальный наблюдаемый паводок — $340\ м^3/сек$, расчетный расход водосброса для пропуска паводка равен $565\ м^3/сек$. В теле плотины предусмотрен напорный водосброс с игольчатым уравновешанным затвором диаметром $1,58\ м$ и дросселем диаметром $2,29\ м$. Перед турбинами установлены дроссельные затворы диаметром по $2,74\ м$.

Плотина создает водохранилище с полезным объемом, равным $442,8 \cdot 10^6\ м^3$, что составляет около 65% среднего годового стока и обеспечивает длительное регулирование. На *фиг. 6* приведены также сечения земляной дамбы и гравитационных открьлков плотины, входящих в состав подпорных сооружений рассматриваемой гидроэлектростанции. На *фиг. 7* изображен вид напорного водоспуска

плотины со стороны нижнего бьефа в момент его открытия. Обслуживание решеток и щитов водоприемника турбинного водовода производится со служебного мостика, возведенного над местом их расположения. На *фиг. 8* изображено производство работ по укладке бетонных массивов арочной плотины. Фотография поясняет разбивку бетонной кладки на секции и крепление передвижной опалубки. Обслуживание работ производилось кабельным краном.

Таблицы 46—48. На *фиг. 1* табл. 46 изображены план и продольный профиль по энергетическим сооружениям гидроэлектростанции с напорной деривацией относительно небольшой длины. Большая часть напора создается арочной плотиной (*фиг. 2*), максимальная высота которой достигает 118,5 м. Суммарная длина водоводов от водоприемника до машинного здания составляет ~700 м, из них на напорный туннель падает ~600 м. Напоры изменяются в пределах от 99,5 до 80 м. Водохранилище имеет объем в $110 \cdot 10^6$ м³. Колебания уровня водохранилища достигают ~23 м, колебания уровня нижнего бьефа относительно невелики и составляют ~3 м. На *фиг. 2* изображен общий вид плотины данной гидроэлектростанции со стороны верхнего бьефа в период завершения строительных работ. Цифрой 1 показаны водосливы правого берега, цифрой 2 — решетки напорных водоспусков, цифрой 4 — водоприемник напорного туннеля. Сохраняющие решетки водоприемника имеют высоту ~40 м и суммарную ширину ~20 м. Расчетный расход каждого агрегата равен 70 м³/сек, средний напор равен 93,5 м. Установленная мощность двух агрегатов первой очереди, питаемых туннелем диаметром 5,93 м, составляет 110 000 квт. Вторая очередь потребует сооружения второй напорной деривационной системы и будет иметь мощность также в 110 000 квт. Вторая очередь может быть установлена после сооружения водохранилища с многолетним регулированием, которое строится в расстоянии ~10 км вверх по течению реки (см. табл. 36).

Металлический уравнильный резервуар дифференциального типа (см. *фиг. 1*) имеет диаметр 8,25 м, его полная высота — 27,7 м. На нижнем конце металлических напорных трубопроводов перед турбинами предполагалась установка уравнишенных затворов игольчатого типа с входным диаметром 4,27 м. Этот тип затворов был, однако, заменен в процессе строительства дроссельными затворами.

На *фиг. 3* изображены поперечное сечение машинного здания по оси агрегата и расположение оборудования в нем по одному из предварительных вариантов. Пол генераторного зала расположен приблизительно на отметке верха статоров. Повысительная подстанция расположена над отводящим каналом. Здесь же проходит железнодорожный путь, использованный при производстве работ и используемый при эксплуатации гидроэлектростанции. Продольный разрез того же здания по оси агрегатов изображен на *фиг. 1* табл. 47. На поперечном сечении указаны мощности турбин и генераторов, принимавшиеся в проекте, в соответствии с которым было приступлено к строительству гидроэлектростанции. В дальнейшем эти мощности были уточнены и несколько изменены.

В здании имеется сквозной пол на уровне верха статора генератора на отметке 279,20 м. Под ним находится перекрытие на уровне основания генератора на отметке 275,23 м. Ниже располагаются помещения, размещающиеся непосредственно выше турбин и задвижек на отметке 271,58 м, и галлерей затворов турбинных камер с отметкой пола 264,11 м. Вентиляция генераторов предусмотрена в данном проекте по проточной системе,—воздух, используемый для охлаждения, поступает в вентиляционную систему со стороны нижнего бьефа. Направление движения воздуха показано на *фиг. 3* стрелками. Расположение металлических вентиляционных кожухов изображено на плане *фиг. 4* табл. 46. Турбины Френсиса по окончательному варианту имеют мощность по 66 500 квт при 171,5 об/мин при напоре 93,5 м и при коэффициенте быстроходности 175. Турбины расположены на 3,35 м выше минимального уровня нижнего бьефа и на 1,83 м выше средней отметки нижнего бьефа. Турбины снабжены регуляторами давления с расчетным временем закрытия 30 сек. Время полного открытия или закрытия турбины принято равным 4 сек. Расчетное повышение давления в трубопроводе при мгновенном выпадении максимальной нагрузки составляет 15%. Тормозные устройства агрегата рассчитаны на полную остановку вращающегося агрегата, с 85 об/мин в течение 5 мин. По данным проекта максимальная временная неравномерность агрегатов достигает 30% и при внезапном включении нагрузки, равной 60% мощности агрегата, — 12%.

Осмотр, ремонт и замена рабочих колес турбин могут быть осуществлены через всасывающую трубу без разборки верхней части

турбин и генераторов. На всасывающих трубах для этого предусмотрена разборная вставная часть. Грузоподъемный кран опускает при этом необходимое оборудование через специальные люки.

На *фиг. 4* табл. 46 и на *фиг. 2* табл. 47 изображены горизонтальные сечения машинного здания на отметках 275,24 и 279,30 м, т. е. по основанию статоров и над полом генераторного зала. На этих разрезах показаны расположение главных генераторов мощностью по 66 700 *квт*, размещение автоматических регуляторов, двух агрегатов собственных нужд, агрегатов возбуждения, монтажно-разгрузочной площадки, затворов перед турбинами и их механизмов управления и расположение отводящих вентиляционных кожухов и воздухопроводов. В специальных помещениях на торце здания показано размещение пульта управления и элементов электрооборудования, здесь же размещены служебные помещения. На сечениях показано также размещение железобетонных подкрановых колонн по длине здания и служебных лестниц. Монтажная площадка расположена на 7,7 м ниже пола генераторного зала.

На *фиг. 3* и *4* табл. 47 изображены горизонтальные сечения машинного здания на отметках 271,6 и 265,0 м. Они поясняют конструкцию железобетонных подгенераторных опорных конструкций с радиальным подводом воздуха к турбинной шахте, объединенную конструкцию турбинных шахт двух смежных агрегатов, форму и размещение подводящих вентиляционных кожухов и всасывающих труб. Подвод воды к агрегатам собственных нужд производится по трубопроводу диаметром 1,0 м, который при подходе к агрегатам разветвляется на два трубопровода диаметром 0,7 м. На *фиг. 3* в торцевой части здания показано размещение оборудования масляного хозяйства. В промежутках между турбинными затворами располагается оборудование автоматического регулирования, кроме колонок управления, вынесенных на более высокие отметки.

На *фиг. 1* табл. 48 приведено вертикальное поперечное сечение конструкции здания, изображенной на табл. 47, по помещению распределительного устройства, пульта управления, масляного хозяйства и оборудования связи (сечение дано по линии *В—В* *фиг. 2—4* табл. 47). На *фиг. 2* табл. 48 изображено размещение агрегата в машинном здании по осуществленному варианту. Генераторы размеще-

ны на высоких опорных конструкциях над полом зала, осуществленным на уровне монтажной площадки и подъездных путей на отметке 271,57 м. Верхний и промежуточный этажи варианта *фиг. 3* табл. 46 в данной конструкции отсутствуют. При этом обеспечивается также весьма удобное обслуживание турбинного оборудования в процессе эксплуатации. Мощность каждого из главных генераторов была в окончательном варианте *фиг. 2* доведена до 66 700 *квт*, максимальная мощность каждой турбины равна 70 000 *квт*. Это дает возможность некоторой перегрузки генераторов в период высоких уровней верхнего бьефа и работы при полной нагрузке. Генератор имеет замкнутую систему охлаждения. Перед турбинами установлены дроссельные затворы диаметром 4,27 м. Для гашения энергии воды, сбрасываемой регуляторами давления, предусмотрены металлические конструкции гасителей, по форме напоминающие рабочие лопатки турбины Пельтона. Разрез по шахте регулятора давления и гасителю, применительно к измененному плану *фиг. 4* табл. 48, изображен на *фиг. 3* той же таблицы. Размещение агрегатов является асимметричным по отношению к боковым стенам здания. Большой срок производства работ по машинному зданию дал возможность использовать железобетонные подкрановые конструкции.

На *фиг. 5* табл. 48 изображено поперечное сечение рассматриваемого машинного здания по двум агрегатам собственных нужд, мощностью по 1 620 *квт* каждый. Они также имеют вертикальное расположение вала с применением турбин Френсиса. Это сечение дано по линии *В—В* *фиг. 4* табл. 48.

На *фиг. 6* табл. 48 изображен вид турбинных трубопроводов данной гидростанции, забетонированных в сплошную облицовку откоса.

На *фиг. 7* табл. 48 изображен общий вид плотины данной гидростанции со стороны нижнего бьефа. На фотографии можно видеть водосбросные сооружения *1* для пропуска паводка, размещенные в крыльях плотины, помещение *2* на низовой грани плотины *5*, в котором размещены затворы напорных водосбросов, запани *4*, в период таяния задерживающие поверхностный лед на значительном расстоянии от водосливных пролетов.

На *фиг. 8* табл. 48 изображен вид бремсберга, использованного в схеме той же гидростанции в процессе производства работ и в эксплуатации. Бремсберг в состоянии поднимать вверх груженные железнодорожные вагоны. Он соединяет подъездные железнодорож-

ные пути с вспомогательной рельсовой колеей, расположенной на отметке гребня арочной плотины.

Т а б л и ц а 49. На *фиг. 1* изображена конструкция, в которой машинное здание, вспомогательные и служебные помещения объединены с гравитационной плотиной. В пределах габаритов размещены также и повысительные трансформаторы. Массивные перекрытия над всеми помещениями и зданием, поддерживаемые столь же массивными стенками, имеют назначением противоздушную защиту основного оборудования гидроэлектростанции. Данная конструкция могла бы быть облегчена, так как массивные конструкции здания следует учесть при расчете устойчивости плотины. Применительно к данной конструкции может быть также предложен вариант пропуска паводка по перекрытию над машинным зданием.

На *фиг. 2* и *3* рассматривается схема расположения основных сооружений гидроэлектростанции с напорной деривацией. Деривационный туннель имеет диаметр 4,0 м и длину 3 072 м, турбинный трубопровод имеет диаметр от 2,1 до 2,0 м. Уровень верхнего бьефа при первой очереди равен 2 338,0 м и при второй очереди — 2 348,0 м. Нормальный уровень нижнего бьефа — 2 151 м. Максимальный статический напор—187 м при первой очереди и 197 м при второй очереди. Ось водоприемника имеет отметку 2 318 м и толщина сливной призмы 18 и 28 м соответственно при обеих очередях. При первой очереди имеется два агрегата по 25 000 квт, при второй очереди устанавливается дополнительно два таких же агрегата. Расход каждой турбины равен 16 м³/сек. Водохранилище образовано набросной плотиной высотой до 42 м при полном развитии гидроэлектростанции.

На *фиг. 4* табл. 49 изображен общий вид строительства арочно-гравитационной плотины с широким применением дерриков. Сравнительно малые расходы в процессе производства работ пропускаются через отверстия, оставленные на время строительства в теле плотины.

На *фиг. 8* табл. 49 изображен продольный профиль по сооружениям деривационной гидроэлектростанции с довольно часто встречающимся расположением агрегатов в подземном помещении, условно называемом подземным зданием. Станционный узел сооружений расположен в конце безнапорного деривационного водовода; отвод воды к руслу реки или, как это имеет место в рассматриваемой схеме,

к озеру производится безнапорным туннелем. Колебания уровней верхнего и нижнего бьефов в данной схеме относительно невелики. Мощность каждого из агрегатов данной гидроэлектростанции составляет ~ 35 000 квт при расчетном расходе ~ 235 м³/сек и напоре $H = 70 \div 75$ м. Подвод воды из напорного бассейна к турбинам производится по вертикальным туннелям с металлической листовой облицовкой. Перед водоприемными отверстиями установлены последовательно шандоры, решетки и щиты с обслуживанием их из специального служебного помещения. Предусмотрена также забральная стенка. Хорошее качество скальных грунтов позволяет избежать массивной облицовки стен подземных помещений, ограничиваясь лишь сооружением сводчатого перекрытия. Стены подземных служебных помещений и генераторного зала имеют небольшую толщину. Между ними и поверхностью скальной выемки образуется дренажно-вентиляционная система, подъемный кран расположен на железобетонных подкрановых опорах и балках. При диаметре статора генератора ~7,5 м ширина генераторного зала равна всего лишь 12,15 м. Для монтажа, связи с поверхностью, вентиляции и вывода электропроводов предусмотрены вертикальные шахты с обслуживанием их из надземного служебного помещения. В начале бетонированного отводящего туннеля предусмотрена установка шандор у всасывающих труб с обслуживанием их монорельсовой лебедкой. Для обеспечения безнапорного режима в отводящем туннеле при всех расходах туннеля и при различных уровнях озера, расположенного в конце туннеля, предусмотрена воздухоподводящая шахта диаметром 6,0 м.

На *фиг. 6* табл. 49 на дополнительном поперечном сечении подземного здания показаны некоторые детали рассмотренной выше конструкции, конструкция вертикальной шахты, связывающей подземные помещения с поверхностью, и некоторые изменения, произведенные в другом варианте проекта. В шахте установлен также лифт. Повысительная подстанция расположена на поверхности.

На *фиг. 7* табл. 49 изображен вид на строительство высокой гравитационной плотины. Плотина в плане очерчена по дуге окружности; соответственно ее конструкция предусматривает разбивку тела плотины на блоки радиальными швами. Образованные таким образом блоки бетонируются в шахматной последовательности. Справа внизу видна нижняя

часть водоприемной башни для размещения решеток напорных водоспусков. Со стороны нижнего бьефа по эстакаде подведен рельсовый путь, необходимый при производстве работ.

Т а б л и ц а 50, *фиг. 1*. На чертеже изображен головной узел сооружений канала, рассчитанного на пропуск $425 \text{ м}^3/\text{сек}$, с отстойником, рассчитанным на расход $\sim 340 \text{ м}^3/\text{сек}$ и допускающим возможность его расширения. Особенностью данного узла является применение оригинальной конструкции отстойника с комбинированным способом очистки от выпадающих в нем наносов. Канал имеет ирригационное назначение, что отражается на размерах отстойника. Однако, данная конструкция может быть применена и для удаления взвешенных наносов в водоприемниках деривационных гидроэлектростанций с соответствующим выбором расчетных размеров фракций наносов, подлежащих удалению. Принципиальная схема отстойника не изменится. Почти все основные сооружения данного узла расположены на нескальных грунтах. Верхний слой грунтов, состоящий из весьма мелких песчаных фракций, был удален и заменен сильно уплотненным песчано-гравелистым грунтом. Водосливная контрфорсная плотина имеет длину водосливного гребня $\sim 365 \text{ м}$ и рассчитана на максимальный паводок в $4400\text{--}4450 \text{ м}^3/\text{сек}$. Рассматриваемые водоприемные сооружения магистрального канала расположены на правом берегу. Водохранилище имеет объем $\sim 0,1 \text{ км}^3$ и по предположению будет занесено речными наносами в течение нескольких лет. Водоприемное сооружение имеет суммарную ширину $\sim 113 \text{ м}$ и ограждено косо расположенной сороудерживающей решеткой, имеющей длину $\sim 180 \text{ м}$, с просветами между центрами смежных полос в 55 м . Полная высота решеток — $6,4 \text{ м}$ и нормальная глубина воды у решеток — $2,9 \text{ м}$. По водоприемно-распределительному каналу с продольными промежуточными стенками вода подводится к трем железобетонным лоткам постепенно убывающей ширины. Каждый из них рассчитан на расход в $113,0 \text{ м}^3/\text{сек}$ и выпускает воду через боковые стенки в отстойные бассейны, имеющие в плане форму параллелограмма со сторонами 82 и 235 м , считая по дну бассейна, и глубину $\sim 3,8 \text{ м}$. На длинной стороне каждого бассейна, противоположной железобетонному лотку, вода, уже освободившаяся от фракций наносов расчетной крупности, переливается через железобетонный гребень земляных продольных дамб и посту-

пает в водосборные каналы. Поверхность откосов земляных дамб защищается каменной наброской. Водосборные каналы подводят воду к началу магистрального канала. В случае гидроэлектростанции он будет представлять собой начало деривационного канала. На чертеже стрелками показано направление движения воды в системе отстойного сооружения.

Движение воды в каждой из шести камер отстойника таким образом происходит параллельно меньшей стороне отстойных камер. При максимальном расходе каждой камеры в $56,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ движение происходит со средней скоростью $0,067 \text{ м}/\text{сек}$, что дает минимальное время отстоя ~ 21 мин. Осевшие на дно бассейна наносы специальными скребковыми механизмами (*фиг. 1* табл. 52) сдвигаются к водосбросным донным отверстиям, расположенным в центре каждой отдельной площадки диаметром 38 м , обслуживаемой отдельным скребковым механизмом. В рассматриваемой конструкции отстойника имеется всего 72 скребковых механизма. Вода смыывает наносы в промывные отверстия; дальше наносы по системе металлических труб-коллекторов диаметром от $0,38$ до $0,92 \text{ м}$, уложенных в центральных железобетонных галлереях, параллельных длинной стороне отстойных камер, отводятся в русло промывного канала. Последний рассчитан на расход в $875 \div 1\ 200 \text{ м}^3/\text{сек}$, однако, как показали модельные испытания и эксплуатация, для промыва наносов достаточен расход всего лишь $\sim 175 \text{ м}^3/\text{сек}$. При малых расходах вода направляется в один или два распределительных лотка, с использованием соответственно двух или четырех отстойных камер. Для устранения заиливания водоприемно-распределительного канала последний разделен тремя продольными стенками на четыре параллельных канала, включаемых в работу в соответствии с расходом, поступающим в отстойное сооружение. Данный отстойник рассчитан на удаление весьма мелких фракций, пропуск которых в ирригационные каналы и на орошаемые земли приводил бы к интенсивному заиливанию последних и значительным ежегодным затратам на их очистку от наносов. Интересно отметить, что рассматриваемый узел сооружений расположен ниже двух установок с очень большими водохранилищами. Несмотря на это, количество наносов в створе сооружений оказывается все же весьма значительным. На *фиг. 2* табл. 50 изображен график выпадения наносов различных фракций при движении воды в пределах отстойных камер. При отборе из реки в канал

расхода в 340 м³/сек максимальное количество наносов, поступающее в отстойник вместе с водой, составляет в сутки до 90 000 т. Из них 70 000 т выпадают в отстойнике, а остальные 20 000 т, состоящие из фракций мельче 0,05 мм, проходят в канал. График дает возможность определить количество наносов, выпадающих на различном расстоянии от распределительного лотка. В системе деривационной гидроэлектростанции аналогичная конструкция отстойника может обеспечить удаление наносов, могущих привести к заилению канала или напорного бассейна, а также крупных фракций, опасных для турбин. У левого берега расположены водоприемные сооружения другого оросительного канала, сооружаемого во вторую очередь.

Фиг. 3—9 табл. 50 поясняют конструкции отстойных бассейнов, распределительных подводящих лотков, отводящих водосборных каналов и промывных водоводов. На фиг. 3 табл. 50 изображено поперечное сечение конструкции отстойника, показывающее размещение отстойных камер, распределительных лотков и водосборных каналов. Распределительные железобетонные лотки (фиг. 4 и 7 табл. 50), имеющие глубину ~3,65 м и расположенные между двумя смежными отстойными бассейнами, подводят воду с максимальной расчетной скоростью ~2,13 м/сек. Вода выпускается в отстойные бассейны через систему криволинейных расширяющихся отверстий в стенках лотков, конструкция которых показана на фиг. 3 табл. 51. Форма выпускных отверстий была установлена на основании лабораторных исследований, причем удалось достигнуть восстановления скоростного напора порядка 0,15 м. Земляные боковые дамбы бассейнов выполнены с каменной облицовкой откосов и железобетонной облицовкой гребня (фиг. 5 табл. 50). Для обеспечения равных толщин слоя воды по всей длине гребня последнего уложен деревянный брус сечением 0,15X0,30 м, отметка гребня которого может быть выправлена на основании опыта эксплуатации готового сооружения. Это имеет значение для обеспечения одинаковых скоростей в различных сечениях отстойника. Облицовка дна отстойника не предусматривается. Дно покрыто осаждающимися наносами, поверхность которых остается неизменной благодаря непрерывному сдвигу наносов ротационными скребковыми механизмами (фиг. 1 табл. 52). Сборные трубы для отвода наносов в русло промывного канала расположены в железобетонных галереях, допускающих осмотр

и ремонт трубопроводов (фиг. 4,8 и 9 табл. 50). К сборным трубам подводятся чугунные сбросные трубы диаметром ~0,25 м от центров площадок, обслуживаемых отдельными ротационными механизмами (см. план фиг. 4 табл. 50). По мере примыкания отдельных труб диаметры сборных сбросных трубопроводов соответственно возрастают от 0,375 до 0,915 м. Трубы изготовлены из специальных сортов марганцовистой стали. Продольный профиль по промывной галерее изображен на (фиг. 6 табл. 50. На фиг. 4 пояснены также детали конструкции сбросных галерей и размещение трубопроводов в них. Полная длина каждой галереи ~ 300 м. Сечение / — / изображает конструкцию вывода сбросных труб в промывной канал. На чертеже показаны схемы соединений промывных труб и деталь смотрового люка.

Т а б л и ц а 51. На фиг. 1 изображены железобетонные контрфорсные подпорные, водосбросные и водоприемные сооружения, входящие в состав головного узла сооружений, рассмотренного на табл. 50. Сооружения в основном расположены на мощной толще песчаных грунтов, верхний слой которых толщиной ~ 6,5 м, состоящий из очень мелких песков, был удален и заменен песчано-гравелистыми грунтами с интенсивной укаткой их. Непосредственно на этих грунтах расположена водосливная контрфорсная плотина с фундаментной плитой толщиной 0,56 м, с дренажем и с обратным фильтром под телом плотины, с двухрядным зубчатым гасителем и с железобетонным понуром длиной ~50 м. Длина водослива ~365 м. Плотина рассчитана на пропуск максимального паводка порядка 4 400 ÷ 4 450 м³/сек. Конструктивными швами плотина разрезана на секции длиной по 23,9 м. Расстояние между контрфорсами плотины—6,1 м. Под понуром имеется три металлических шпунтовых ряда глубиной 7,5 и 12,0 м. Под нижним рядом зубьев порога гасителя расположен шпунтовый ряд глубиной 9,8 м. Фундаментная плита загружена гравийным балластом толщиной ~2,5 м. Для усиления отвода воды от обратного фильтра на низовой грани плотины предусмотрена эжекторная система, которая в период паводка обеспечивает существенно меньшее давление под плотиной, чем это соответствует уровню нижнего бьефа. Водоприемное сооружение отстойника состоит из четырех пролетов по 23,8 м, перекрываемых цилиндрическими затворами высотой 7,0 м. Бычки водоприемного сооружения расположены на си-

стеме наклонных свай, забитых на глубину 15,2 м, с наклоном 3 : 1 поочередно в сторону верхнего и нижнего бьефов.

Сечение б—б относится к промывным пролетам с донными отверстиями, перекрываемыми сегментными затворами. Данное сооружение обеспечивает пропуск расходов по промывному каналу для смыва наносов, сброшенных в промывной канал из камер отстойника. На чертеже показаны также сечения глухих контрфорсных и набросных секций плотины. Промывные и глухие секции плотины также расположены на свайном основании. На чертеже показаны положение шпунтов под сооружениями и положение железобетонных раздельных стенок водоприемного сооружения отстойника на участке с облицовкой дна железобетонными плитами. Раздельные стенки водоприемника выведены на 0,15 м выше нормального уровня верхнего бьефа. Ниже железобетонные стенки заменены трехрядными деревянными креозотированными шпунтовыми стенками суммарной толщиной ~0,2 м, выведенными до той же отметки.

На *фиг. 4* табл. 51 изображен вид гравитационной плотины с быстротоком для пропуска паводка, расположенным отдельно от плотины. Промежуточными бычками водоприемная часть быстротока разделена на три пролета шириной по 21,3 м, перекрываемые автоматическими секторными затворами высотой 5,45 м. К бычкам примыкают промежуточные стенки, продолженные до середины длины быстротока. Расчетный расход равен 2 270 м³/сек. Грунты в основании сооружения потребовали значительной цементации и были также подвергнуты химическому уплотнению.

На *фиг. 5* табл. 51 изображена гравитационная плотина с временными водосбросными сооружениями сифонной конструкции. Изображенная на фотографии первая очередь плотины имеет высоту 99,5 м и создает водохранилище крупной системы комплексного использования водотока в целях энергетики и водоснабжения. Расчетный расход сифонов равен 425 м³/сек.

В дальнейшем плотина была надстроена до высоты в 127 м, сифонные водосбросы забетонированы и новый водосброс типа быстротока сооружен на отметках, соответствующих окончательной высоте плотины. Сооружение плотины в две очереди соответствовало ограниченным потребностям первого периода эксплуатации комплекса и имело следствием значительную рассрочку затрат на возведение плотины.

Таблица 52. *Фиг. 1* изображает конструкцию ротационных скребковых механизмов отстойных бассейнов, рассмотренных на табл. 50. На металлической конструкции, размещенной на центральной опоре с вертикальной осью, снизу размещены косо поставленные скребки криволинейной формы, при своем круговом перемещении сдвигающие наносы к центральной опоре. Полный оборот механизма, приводимого в движение мотором мощностью 2,2—5,5 квт, совершается в 13,1 мин. Максимальная скорость скребков на внешнем периметре механизма равна 0,15 м/сек. Бетонная, полая внутри, цилиндрическая опорная стойка служит опорой для всего ротационного механизма. Вокруг бетонной стойки имеется кольцевое углубление трапециoidalного профиля, из которого отходят к центру четыре трубы диаметром 0,125—0,20 м. Внутри бетонной стойки трубы поднимаются на высоту ~3,35 м, причем верхнее отверстие трубы находится на глубине ~1,8 м под нормальным уровнем воды в отстойнике. На трубах имеются задвижки для регулирования сбрасываемого расхода. В основании цилиндрической полости берет начало труба диаметром 0,2 ÷ 0,25 м для выпуска наносов, отвода их к сборным промывным трубопроводам и в русло промывного канала. Таким образом поступление воды из кольцевого углубления в сбросные трубы производится при величине напора в 1,8 м. Величина расхода регулируется задвижками и по данным лабораторных исследований должна устанавливаться так, чтобы содержание наносов составляло примерно 10%. Это обеспечивает промыв наносов при минимальном расходе воды. При чрезмерном количестве наносов, что привело бы к перегрузке механизма, каждая из половин вращающейся металлической конструкции приподнимается и этим устраняется возможность перегрузки механизма. Расчетное усилие на поверхность скребка при перемещении 1 кг сухого веса наносов составляет 1 кг. Механизмы и промывные устройства, расположенные ближе к распределительному лотку, работают в более тяжелых условиях (см. кривые выпадения наносов *фиг. 2* табл. 50). Поэтому их конструкции выполнены усиленными, а диаметры сбросных трубопроводов приняты большими, чем для агрегатов, расположенных со стороны водосбросных каналов. Приведенные выше меньшие величины диаметров труб и мощностей моторов относятся ко второй группе агрегатов, большие же их величины —

к агрегатам, работающим в более тяжелых условиях.

Гидроэлектростанция небольшой мощности, изображенная на чертеже *фиг. 2* табл. 52, характеризуется отдельным расположением машинного здания гидростанции и плотины. В рассматриваемой схеме напор в большей своей части создается плотиной. Данная схема расположения является сравнительно широко распространенной. Подводящий канал имеет сравнительно небольшую длину ~ 140 м, используемый расход равен $6 \div 8$ м³/сек, расчетный напор — 3,2 м. Ряжевая плотина имеет ширину пролета между береговыми ряжами 39,5 м. Три промежуточных ряжа создают три сбросных пролета по $\sim 6,5$ м с четырьмя промежуточными стойками в каждом и один пролет шириной 8 м для сплава леса, с пятью промежуточными стойками. Ряжи данной плотины расположены на валунно-галечном основании. Размеры деревянных щитов плотины 1,45X1,45 м. Флютбет имеет также ряжевую конструкцию. Канал проходит в валунно-галечных грунтах с песчано-глинистым заполнением, глубина выемки достигает 3 \div 4 м. До реконструкции канал обслуживал лесопильную и мельничную установки. На месте последней было возведено машинное здание гидроэлектростанции. Канал подвергается значительному засорению наносами и древесиной, сплавляемой к лесопилке. В ряжевой стенке в конце канала размещены водоприемники лотков к турбинной установке и водяному колесу лесопилки. Водоприемник лотка гидроэлектростанции перекрывается двумя щитами и защищается металлической сороудерживающей решеткой. Деревянный лоток гидростанции длиной ~ 30 м имеет двойные стенки (*фиг. 6* и *7*). Деревянная турбинная камера (*фиг. 3* и *4*), рубленая из сосновых брусьев, расположена рядом с машинным зданием. Внутренняя поверхность камеры имеет обшивку из досок толщиной 7 см. Одноколесная горизонтальная турбина мощностью 88 квт ременной передачей соединена с двумя генераторами постоянного тока. Речной сток характеризуется хорошей естественной зарегулированностью. Максимальные колебания уровня в русле реки составляют $\sim 1,0$ м.

Фиг. 3 и *4* поясняют конструкцию деревянного машинного здания данной гидроэлектростанции.

Т а б л и ц а 53. *Фиг. 1—5* данной таблицы изображают расположение и конструкции сооружений приплотинной гидроэлектростанции

небольшой мощности, построенной при существовавшей плотине мельничной установки. Последняя расположена на левом берегу рядом с плотиной. Создаваемый плотиной напор равен 4,0 м. Земляная плотина дополняется ряжевым водоспуском для пропуска паводков. Нормальная подпорная отметка верхнего бьефа 106,00 м. Уровни весенних паводков достигают отметки 108,00 м, причем в пропуске расходов паводков участвует вся пойма реки. Это соответственно уменьшает размеры водосбросного сооружения. Расположение машинного здания гидростанции рассматривалось как на левом, так и на правом берегу. Из них последний вариант был принят к осуществлению. В обоих вариантах место для здания выбрано позади оси плотины вблизи уреза воды нижнего бьефа. В левобережном варианте это потребовало подвода воды к зданию посредством криволинейного в плане деревянного лотка длиной ~ 45 м. В правобережном варианте оказался возможным открытый прямой канал длиной ~ 75 м. Средне-многолетний расход в створе плотины — 9,5 м³/сек, расход обеспеченностью 50% — 3,5 м³/сек и обеспеченностью 75% — 2,4 м³/сек. Паводок повторяемостью 2% определен расчетом в 900 м³/сек. Максимальный расчетный расход турбины равен 3,8 м³/сек. Грунты — песчаные, подстилаемые глинами. Установленная мощность равна 120 квт на валу турбины, мощность генератора — 150 квт.

В данной схеме необходимо обеспечить надежную работу подводящего канала в зимних условиях. При небольших зимних расходах и особенно при полной остановке гидростанции в канале может образоваться толстый слой льда, который затруднит пропуск воды к турбинам, сделает невозможным суточное регулирование с его колебаниями уровня верхнего бьефа и может привести в период весеннего паводка к разрушению облицовки канала, а при неблагоприятных грунтах даже к прорыву подпорного фронта. В этом смысле более благоприятным является расположение здания вблизи уреза воды верхнего бьефа, при котором подводящий водовод отпадает. Однако, значительные осложнения возникают и в отводящем канале. Оптимальным является расположение машинного здания в створе плотины, когда можно полностью отказаться от подводящего и отводящего каналов.

Фиг. 2, 3 и *5* табл. 53 поясняют конструкции машинного здания данной гидростанции и его оборудования. Подводные сооружения выполнены из бетона, сдвоенная горизонталь-

ная турбина Френсиса установлена в открытой турбинной камере, генератор и трансформатор расположены на незатопляемых отметках. Ременная передача повышает число оборотов до 750 в минуту. Верхняя часть здания имеет деревянную конструкцию. Турбина снабжена автоматическим регулятором. Сечения II—II и IV—IV поясняют конструкцию основания машинного здания. Применение быстроходных турбин Каплана в данном случае, равно как и в схеме табл. 52, позволило бы существенно облегчить конструкцию здания с соответствующим увеличением среднего эксплуатационного к. п. д. агрегата.

Перспектива *фиг. 6* табл. 53 изображает приплотинную гидроэлектростанцию также небольшой мощности с расположением машинного здания в сравнительно незначительной береговой выемке у подошвы земляной или набросной плотины. Двухпролетный водослив перекрывается плоскими щитами. В теле плотины размещены два трубопровода, подводящих воду к машинному зданию. Слева от водослива видны подъемные механизмы водоприемников турбинных трубопроводов.

Фиг. 7 изображает перспективу небольшой русловой приплотинной гидроэлектростанции. Бетонная плотина состоит из трех водосливных пролетов. Каменное или железобетонное машинное здание расположено непосредственно в русле реки.

Схемы *фиг. 6* и *7* во многих случаях осуществляются с применением деревянных конструкций сооружений и здания гидроэлектростанции.

Т а б л и ц а 54. Изображенная на *фиг. 1* схема расположения сооружений гидроэлектростанции мощностью 185 *квт* характеризуется раздельным расположением в одном из рукавов реки водосброса для пропуска значительных расходов паводков и машинного здания, расположенного в основном русле реки. Машинное здание конструктивно объединено с дополнительным водосбросным сооружением, через которое сбрасываются избыточные расходы реки, по своей величине еще позволяющие обойтись без использования основного водосброса. Нормальный напор установки равен 4,5 *м*; в период паводка напор падает до нуля. Машинное здание (*фиг. 2—4* табл. 54) оборудовано одной горизонтальной сдвоенной турбиной Френсиса, расположенной в правой по течению части здания. Дополнительный водосброс проходит под левой частью машинного здания и имеет ширину 5,0 *м* при нормальной высоте сливающегося слоя в 3,0 *м*.

В основании здания залегают мелкозернистые пески; на глубине 5—6 *м* они переходят в суглинки. Все здание располагается на свайном основании и по контуру ограждено шпунтовыми рядами. Сваи основания расположены в шахматном порядке с расстоянием между рядами свай в 1,45 и 2,00 *м*.

Высокий уровень весенних паводков приводит ежегодно в среднем к месячному переверыву в работе гидроэлектростанции. Водосбросное отверстие разбито промежуточными стойками на четыре пролета с применением деревянных щитов с реечными подъемниками. Средний многолетний расход определен расчетами в 15 $\text{м}^3/\text{сек}$, расход обеспеченностью 50% — 6,3 $\text{м}^3/\text{сек}$ и обеспеченностью 75%—5,4 $\text{м}^3/\text{сек}$. Паводок повторяемостью 2% определен в 1 300 $\text{м}^3/\text{сек}$. В здании установлены один горизонтальный генератор мощностью 175 *квт*, автоматический регулятор и щит управления. Ременная передача увеличивает число оборотов с 200 до 1 000.

На *фиг. 2—4* показаны сечения по машинному зданию и дополнительному водосбросу гидроэлектростанции, поясняющие конструкции верхнего строения здания, его водосбросного сооружения и их оборудования, а также свайного основания и шпунтового ограждения по контуру машинного здания. Детали сопряжения машинного здания с короткими земляными дамбами по обе стороны здания на чертеже не показаны.

Т а б л и ц а 55. На *фиг. 1, 2* и *3* изображена небольшая деривационная гидроэлектростанция, имеющая расчетную мощность 55 *квт*. Расчетный напор гидроэлектростанции равен 6,5 *м*. Временная каменно-хвостовая плотина с деревянным водоприемником, оборудованным двумя деревянными щитами размером 1,0X1,0 *м*, обеспечивают отбор воды из русла реки в необходимых количествах (*фиг. 1*). До реконструкции установки существовавший деривационный канал длиной ~2,0 *км* обслуживал мельничные установки. Канал не имеет облицовки, проходит в нескальных грунтах, имеет трапециевидную форму поперечного сечения. Ширина дна канала — 1,0 *м*, откосы 1 : 1, глубина от 1,3 до 1,0 *м*. Продольный уклон канала равен 0,00236 до канала мельницы № 1 и на остальном участке—0,00116. Максимальный расчетный расход канала — 1,4 $\text{м}^3/\text{сек}$. Песколовка перед ответвлением канала к мельнице № 1 имеет порог, имеющий назначением направление донных наносов в мельничный канал. Вододе-

литель при ответвлении канала мельницы № 2 представляет бетонную конструкцию с двумя боковыми водосливами с длиной гребня каждого из них по 7,0 м, обеспечивающими поступление 1,15 м³/сек в канал гидроэлектростанции и пропуск избыточных расходов в холостой водосброс. Отметки гребня водосливов различны—холостой сброс начинает работать лишь при расходе свыше 1,4 м³/сек, т. е. при расходе, обеспечивающем работу гидроэлектростанции и мельницы № 2. Напорный бассейн (фиг. 2 и 3) имеет смешанную бетонно-бутовую конструкцию и расположен на глинистых грунтах; перед решеткой водоприемника имеется порог высотой 0,3 м. Решетка выполнена из круглого железа диаметром 9,5 мм с просветами в 20 мм. В напорном бассейне имеется грязеспуск. Металлический напорный трубопровод имеет стенки толщиной 15 мм; Максимальная скорость в трубопроводе — 1,1 м/сек. Горизонтальная турбина Френсиса имеет металлический конический кожух при лобовом подводе воды. Турбина оборудована автоматическим регулятором и соединена с генератором посредством ременной передачи. Конструкция машинного здания показана на фиг. 2 и 3. Отводящий канал проходит в выемке при продольном уклоне ~0,002; ширина по дну — 2,5 м. В дальнейшем предполагается построить постоянное головное сооружение, электрифицировать мельницы, расширить канал и увеличить установленную мощность.

Фиг. 4 табл. 55 изображает перспективу небольшой гидроэлектростанции с безнапорным деривационным водоводом, использующей падение порожистого участка речки.

На фиг. 5 табл. 55 изображен разрез по оси агрегата небольшой гидроэлектростанции с горизонтальными сдвоенными турбинами. Напор гидроэлектростанции 4,0 м. Подводная часть здания возведена из бутовой кладки, с бетонной армированной облицовкой поверхности всасывающей трубы. Шпунтовое ограждение по периметру здания обеспечивает его устойчивость. Подводящий канал при подходе к открытым турбинным камерам углубляется, что приводит к соответствующему уменьшению скоростей в сороудерживающих решетках. В конструкции предусмотрен ряд показанных на чертеже мер против фильтрации под сооружением. Здание почти полностью построено из местных материалов. Турбина связана с генератором, расположенным над уровнем максимального паводка, посредством ременной передачи. На случай неравномерных осадков на валу турбины имеется эластичная муф-

та. Вход в турбинные камеры перекрывается деревянными щитами с простейшими подъемными механизмами. Сороудерживающие решетки выполнены, однако, металлическими, достаточно массивной конструкции. Для их ручной очистки предусмотрен служебный мостик. Турбинные камеры сверху перекрыты в целях утепления.

На фиг. 6 изображено сечение установки с применением турбины Банки, в последние годы установленной на некоторых небольших гидроэлектростанциях. Соединение с генератором осуществляется зубчатыми и ременными передачами. В известных условиях данный тип турбины является удобным и экономичным.

Таблица 56. На фиг. 1—3 изображены сечения оригинальных конструкций установок агрегатов трех машинных зданий гидроэлектростанций средней мощности. Рассматриваемые конструкции характеризуются применением прямоосных всасывающих труб с относительно малой их длиной и быстрым возрастанием размеров поперечных сечений в концевой их части колоколообразной формы. Применение этих форм труб привело к хорошим величинам к. п. д. агрегатов. На фиг. 1 изображено сечение по агрегату с вертикальной пропеллерной турбиной, коэффициент быстроходности которой равен 680, мощность — 1 850 квт при напоре ~6,3 м и при 138,5 об/мин. Малая высота конструкции всасывающей трубы устранила необходимость глубоких выемок. Средние скорости при входе во всасывающую трубу ~ 5,1 м/сек и при выходе из нее ~1,3 м/сек. При испытании установки максимальный к. п. д. оказался равным 0,91 и при полном открытии турбины — 0,88.

На фиг. 2 изображена конструкция здания, в котором агрегаты мощностью по 375 квт работают при напоре ~ 2,3 м и при 85,7 об/мин. Пропеллерные турбины установки имеют быстроходность $n_s = 650$. Турбины установлены в открытых турбинных камерах спиральной формы с углом охвата меньше 180°. Раструб всасывающей трубы по его периметру поддерживается металлическими опорными стойками обтекаемой формы.

На фиг. 3 изображена установка мощностью ~ 320 квт с пропеллерной турбиной быстроходностью $n_s = 580$, работающей при среднем напоре ~4,1 м. Турбина устанавливается в камере, герметически закрытой сверху и имеющей забральную стенку при входе. Это позволяет создать внутри камеры вакуум до 1,8 м вод. ст., вследствие чего уровень в тур-

бинной камере повышается и вода заполняет турбинную камеру доверху. Этим устраняется возможность образования воздушных воронок при подходе к сравнительно большой турбине при малой глубине ее погружения под уровнем верхнего бьефа. В установке применена всасывающая труба, аналогичная примененным на установках фиг. 1 и 2. Труба эжектора имеет диаметр 76 мм. Эжектор действует непрерывно, причем расход воды при его работе относительно незначителен. Генератор имеет небольшие по сравнению с турбиной размеры. Это объясняется большой быстроходностью турбины и значительным числом оборотов агрегата.

На фиг. 4 табл. 56 изображена оригинальная конструкция машинного здания гидроэлектростанции, в котором установлены четыре горизонтальные пропеллерные турбины быстроходностью $n_s=485$, мощностью по 1 030 кВт, при напоре 8,8 м и при 200 об/мин. В данной установке при горизонтальных турбинах применены металлические всасывающие трубы, имеющие форму, аналогичную примененным на фиг. 1—3. В данной гидроэлектростанции с целью повышения к. п. д. гидроэлектростанции были установлены пропеллерные турбины вместо первоначально установленных горизонтальных двухколесных турбин Френсиса. Обращает на себя внимание чрезмерно высокое расположение турбины над уровнем нижнего бьефа. Верхняя часть рабочего колеса располагается приблизительно на 6 м и верхняя часть отводящей камеры примерно на 8 м над уровнем нижнего бьефа. При большой быстроходности расположение пропеллерных турбин должно было бы быть принято более низким. Форма примененной всасывающей трубы является более благоприятной, чем обычные изогнутые трубы горизонтальных одноколесных и двояных турбин. На фиг. 4 изображены конструкции агрегатов и их размещение. На фиг. 5 изображены автоматический регулятор и размещение подшипника и сальника в металлической плите, перекрывающей отверстие в торцевой стенке турбинной камеры.

Фиг. 6—8 табл. 56 изображают дополнительные примеры установок небольшой и средней мощности с применением оригинальных схем установки турбин и оригинальных конструкций всасывающих труб. На фиг. 6 изображена схема установки двух горизонтальных турбин на одном валу, с отдельными для каждой турбины всасывающими трубами. Суммарная мощность двух турбин равна

1 150 кВт, расчетный напор равен 4,89 м, коэффициент быстроходности — 580.

На фиг. 7 табл. 56 изображен продольный разрез по оси агрегата реконструированной установки с применением оборудования с горизонтальным валом. До реконструкции генератор приводился в движение двумя двояными турбинами с рабочими колесами диаметром по 0,9 м. После реконструкции была установлена изображенная на фиг. 7 одноколесная быстроходная турбина той же мощности с сохранением прежнего числа оборотов. Диаметр рабочего колеса новой турбины равен 1,83 м. При испытании установки был получен к. п. д., равный 0,875, существенно превысивший величину к. п. д. агрегата до реконструкции установки.

На фиг. 8 изображено поперечное сечение по вертикальному агрегату мощностью ~440 кВт, работающему при расчетном напоре, равном ~5,2 м. При реконструкции в данной установке для двух одинаковых агрегатов были применены различные формы всасывающих труб. Из них при испытании турбины с трубой, имевшей необычно малую высоту, был получен к. п. д., равный 0,85, а при применении более высокой изогнутой бетонной трубы — 0,87. В обоих случаях турбина установлена в открытых камерах. В первой из этих конструкций было предусмотрено эжектирование во всасывающую трубу.

Таблица 57 и таблица 58 изображают конструкцию машинного здания гидроэлектростанции мощностью 4 500 кВт при расчетном напоре порядка 15,5 м. Схематический продольный профиль станционного узла показывает, что колебания уровня верхнего бьефа в данной схеме равны всего лишь 2 м, а колебания уровня нижнего бьефа в нормальных эксплуатационных условиях составляют 1,8 м. Во время прохода паводка уровень нижнего бьефа может повышаться еще на 4 м. Напор гидроэлектростанции колеблется в пределах от 18 до 14,2 м и лишь в условиях наивысшего паводка падает до 10,2 м. Весь станционный узел располагается на скальных грунтах. Особенностью данного проекта является стремление к максимальному удешевлению и упрощению сооружений гидроэлектростанции. Это выразилось в том, что в машинном здании при двух установленных агрегатах мощностью по 2 250 кВт отсутствует монтажная площадка, а также не предусмотрена установка мостового крана. Вместо последнего используются монтажные краны-укосины. Это позволило

значительно сократить и упростить верхнее строение машинного здания и применить кирпичную бескаркасную конструкцию. Помещение машинного зала использовано также для размещения части электроаппаратуры.

Подводная часть машинного здания имеет железобетонную конструкцию с железобетонными спиральными турбинными камерами и изогнутыми бетонными всасывающими трубами. Установлены две турбины Ф-130 диаметром 1,85 м при 187 об/мин. Регуляторы турбин располагаются в генераторном зале. В подводной части машинного здания над всасывающими трубами размещаются насосы для откачки воды из всасывающих труб. Шандорные щиты всасывающих труб обслуживаются монорельсовой лебедкой. Вес каждого генератора равен 65 т и вес турбины 41 т. При этом наибольший монтажный вес отдельной детали составляет 21 т.

Продольный профиль станционного узла показывает, что в проекте принята наиболее простая, облегченная, железобетонная конструкция водоприемника турбинного водовода, который для обеспечения устойчивости имеет каменную пригрузку, упертую в ряжевые стенки. Деревянный трубопровод имеет диаметр 3,2 м и длину 22,45 м. Суммарная длина турбинного водовода равна ~ 40 м. Максимальный расход каждого трубопровода равен 17,7 м³/сек.

Данный проект является примером весьма экономичного проектирования гидроэлектростанции средней мощности. Дальнейшее уменьшение объема строительных работ по машинному зданию можно было бы произвести лишь за счет отказа от сооружения верхней надводной части здания. При этом, однако, возникают осложнения с размещением электрооборудования и оборудования автоматического регулирования. Последнее в этом случае пришлось бы расположить в нижних помещениях, приблизительно на отметках расположения турбинного оборудования.

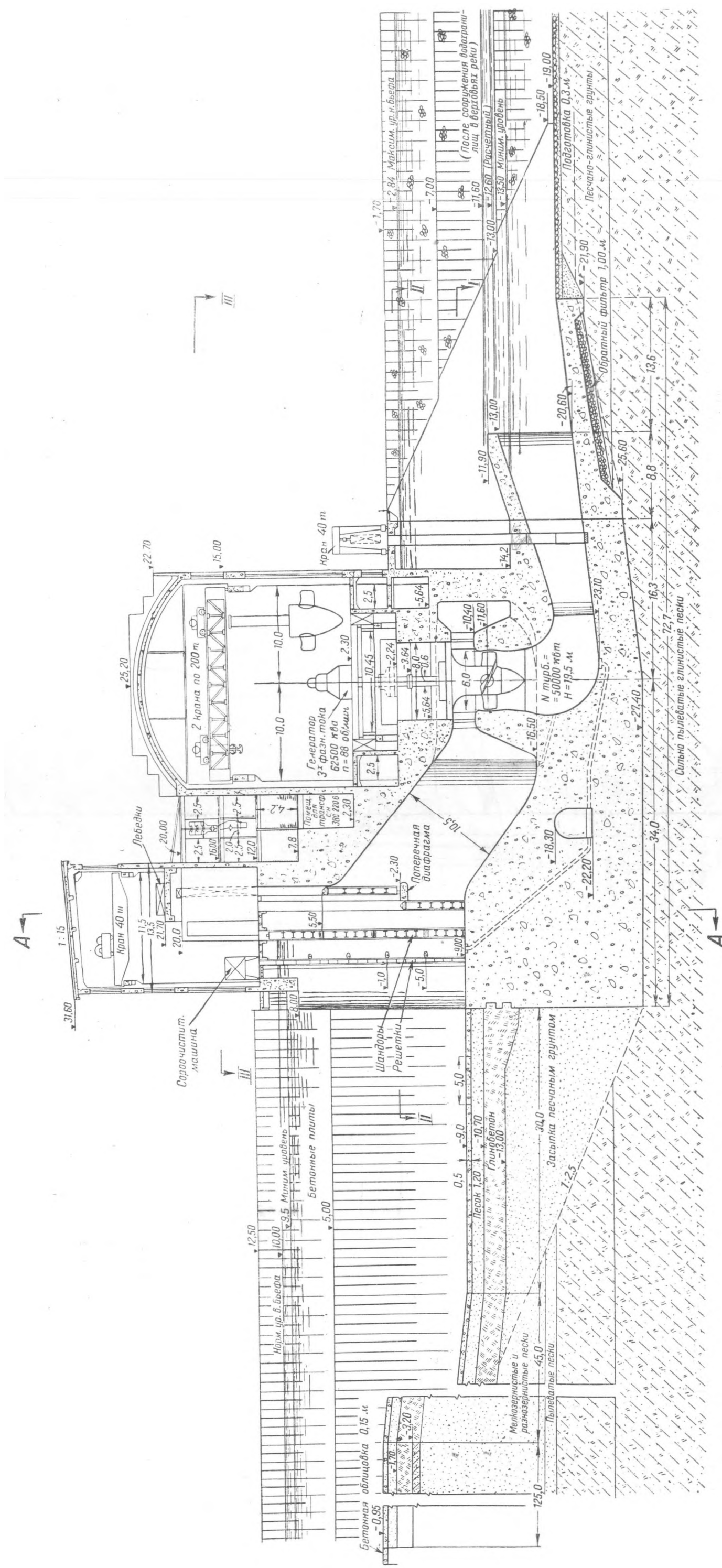
Таблица 59 и таблица 60 изображают конструкцию машинного здания гидроэлектростанции мощностью в 5 000 квт при расчетном напоре ~24 м. Схематический продольный профиль станционного узла сооружений по оси деревянного турбинного трубопровода показывает, что колебания уровня верх-

него бьефа достигают 7,0 м, а колебания уровня нижнего бьефа составляют 4,6 м. Максимальный напор равен 28,5 м. Все сооружения станционного узла, включая машинное здание, расположены на скальных грунтах. Характерной особенностью данного проекта являются максимальное упрощение и удешевление конструкций всех сооружений узла и конструкции здания. В последнем устанавливается два вертикальных агрегата с турбинами Френсиса в металлических спиральных кожухах и с прямоосными металлическими всасывающими трубами. В здании отсутствует специальная монтажная площадка, обслуживание монтажных и ремонтных работ по агрегатам производится с помощью крана-укосины. Мостовой кран в машинном здании отсутствует. В генераторном зале здания размещается часть электрооборудования. Мощность каждого агрегата составляет 2 500 квт при 300 об/мин. При весе генератора в 65 т и весе турбины в 40 т максимальный груз в процессе монтажа равен 18,5 т. Суммарный объем бетонных работ в данной конструкции составляет всего лишь 1 400 м³. Автоматические регуляторы турбин размещены на уровне пола генераторного зала.

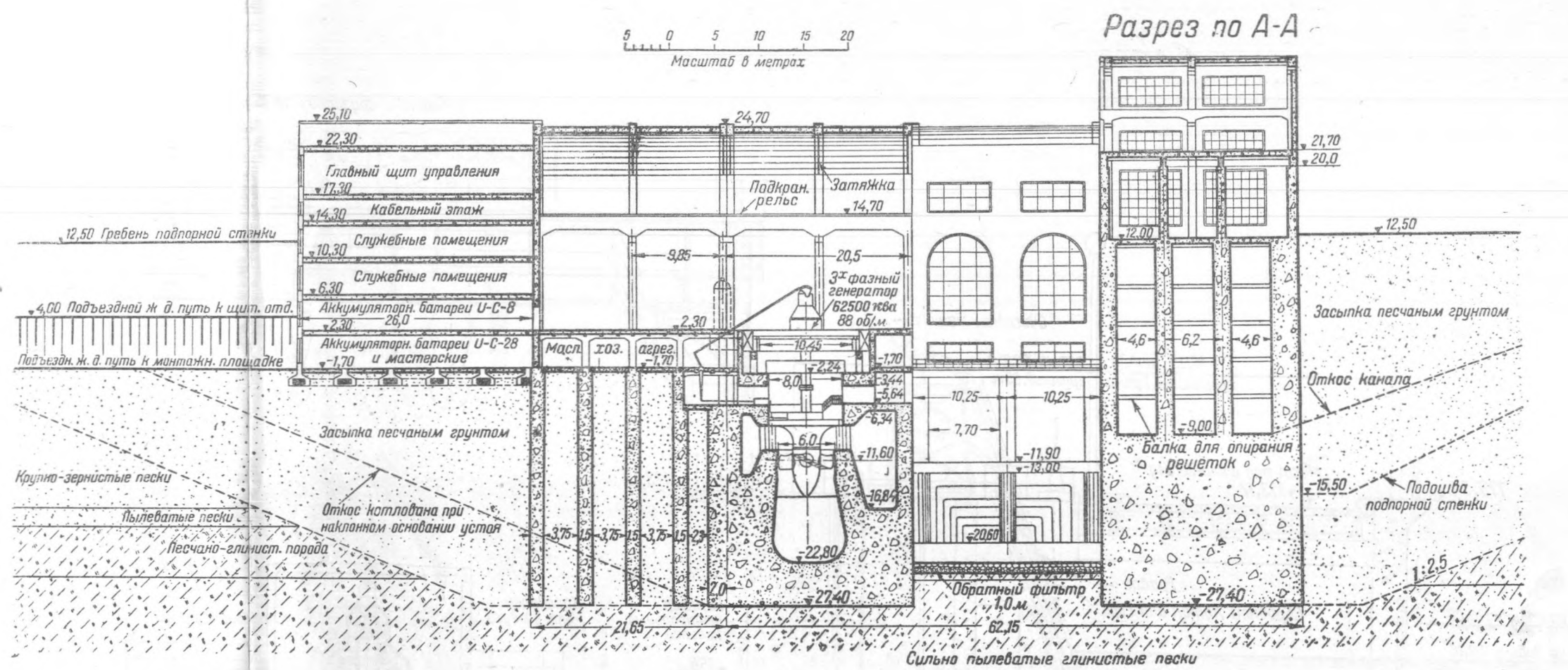
Всасывающие трубы выводят воду в отводящие камеры, имеющие весьма простые формы и отделяющиеся от нижнего бьефа во время ремонтных работ с помощью шандорных щитов, обслуживаемых монорельсовым подъемником. Стенки и дно отводящих камер облицованы бетоном толщиной ~ 0,5 м. Откачка воды из отводящих камер возможна посредством специальных насосов. Надводная часть здания имеет кирпичную конструкцию. В данном проекте характерны также суживающиеся книзу железобетонные опорные конические подгенераторные конструкции.

На продольном профиле станционного узла можно видеть железобетонную конструкцию водоприемника турбинного трубопровода, требующую относительно небольшого объема бетонных работ и использующую вес каменной наброски пригрузки. Суммарная длина трубопровода равна ~90 м, из которых около 55 м имеют деревянную конструкцию. Диаметр трубопровода равен 3,5 м, максимальный расход в нем—12,7 м³/сек. Детали конструкции поясняются вертикальными и горизонтальными разрезами табл. 59 и 60.

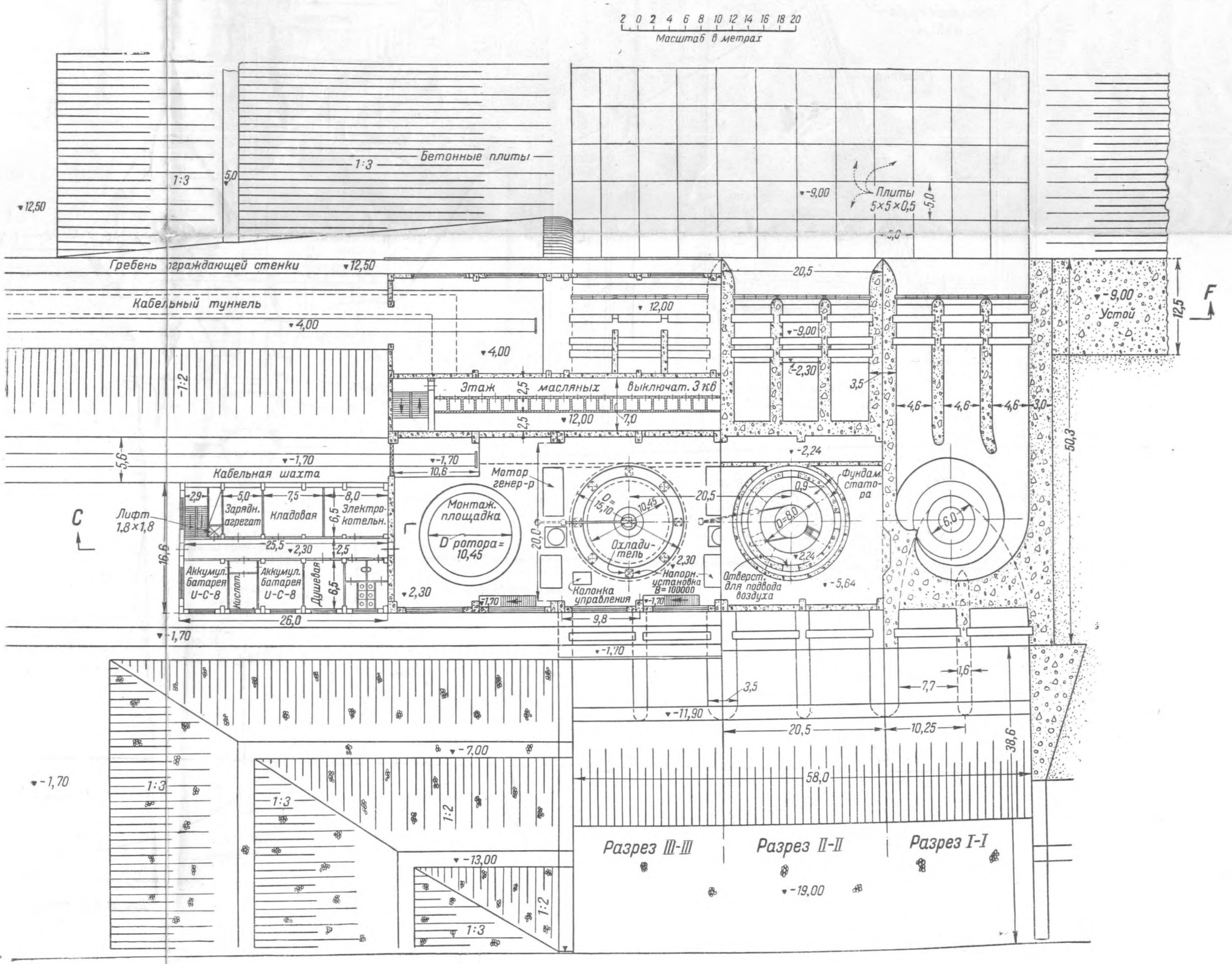
Цена 35 руб.



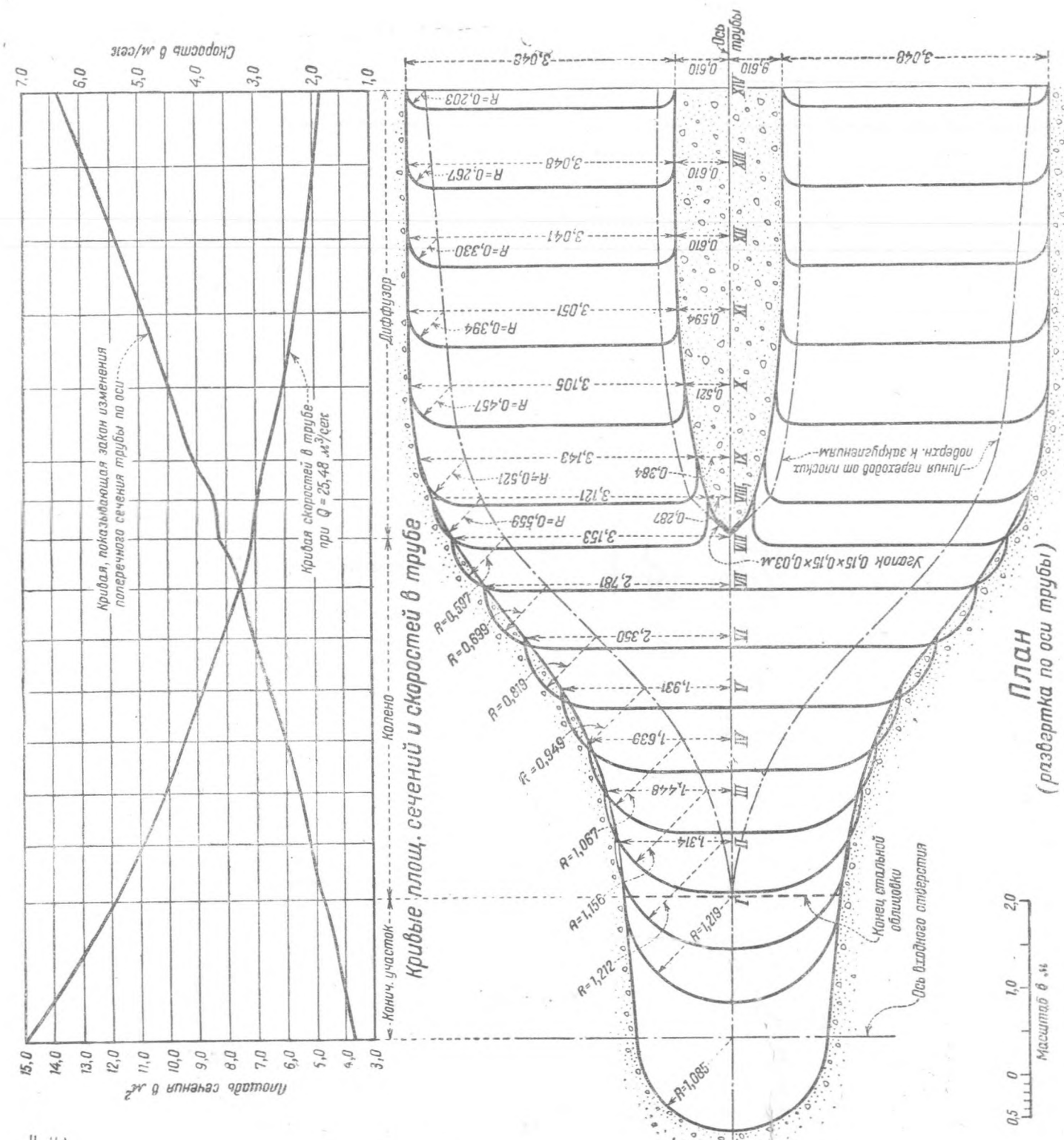
Фиг. 1.



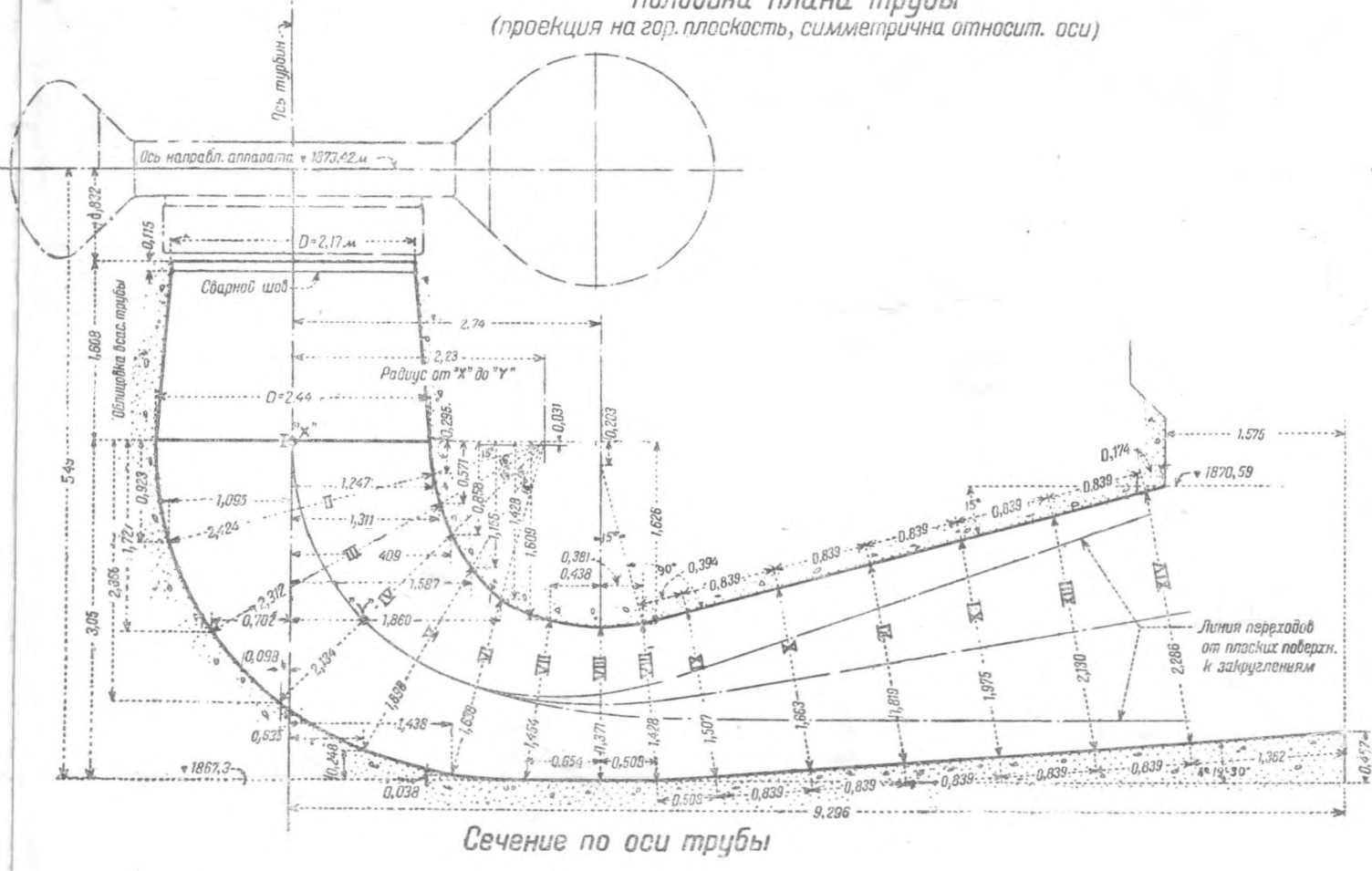
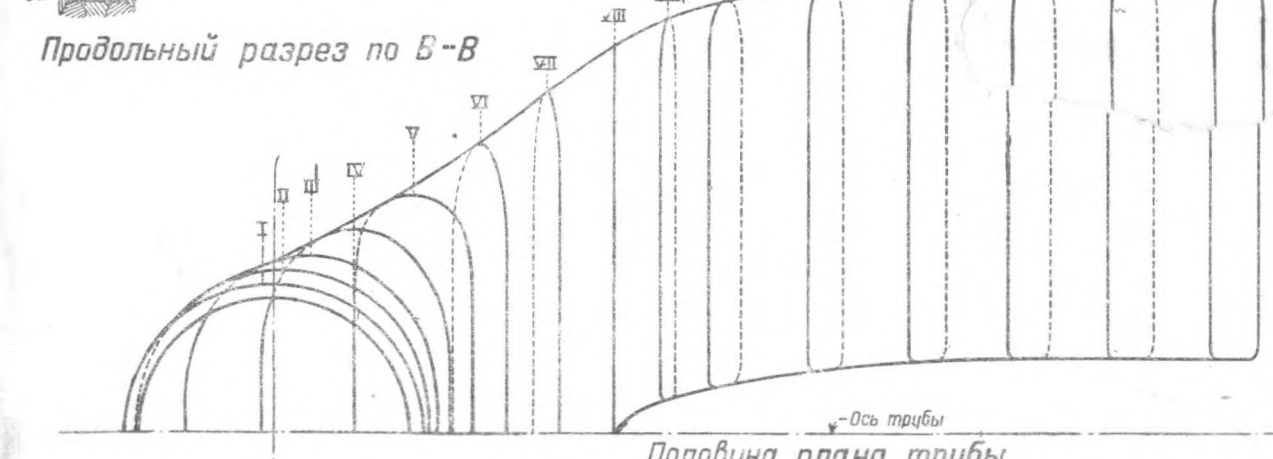
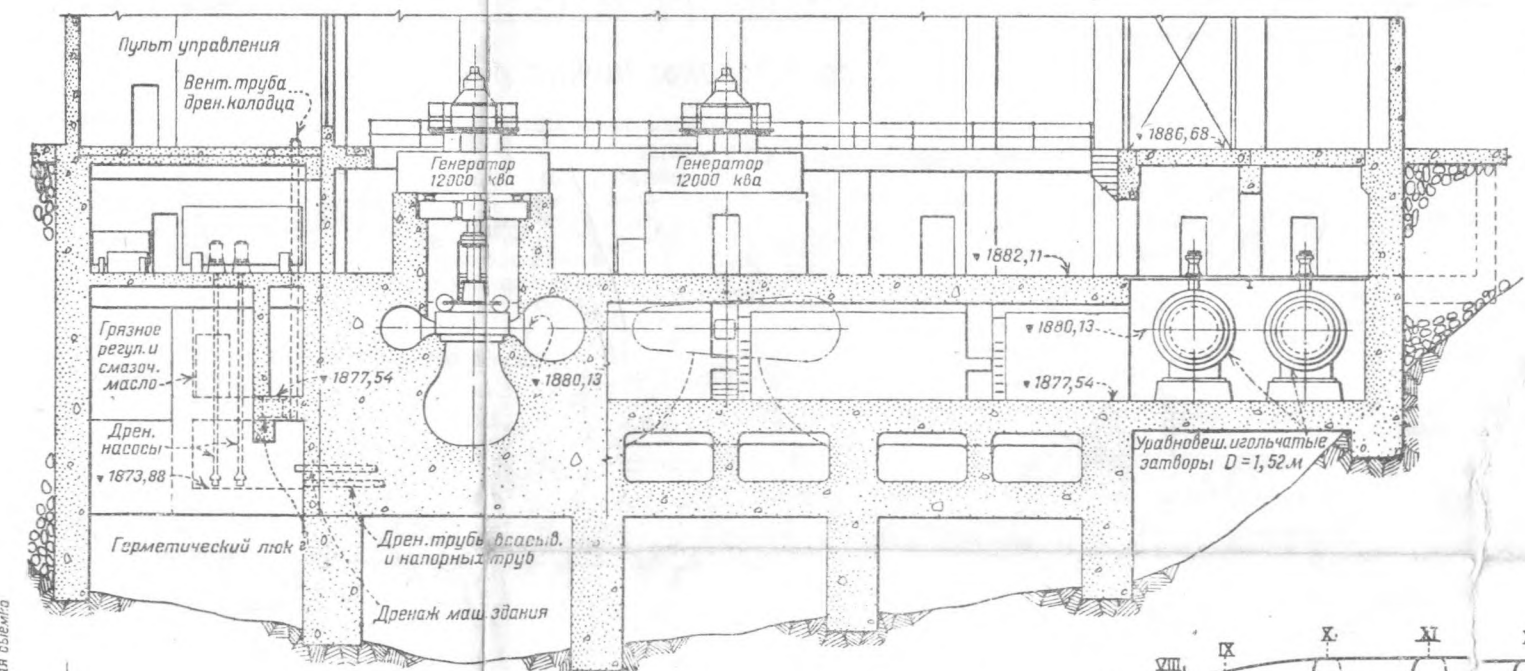
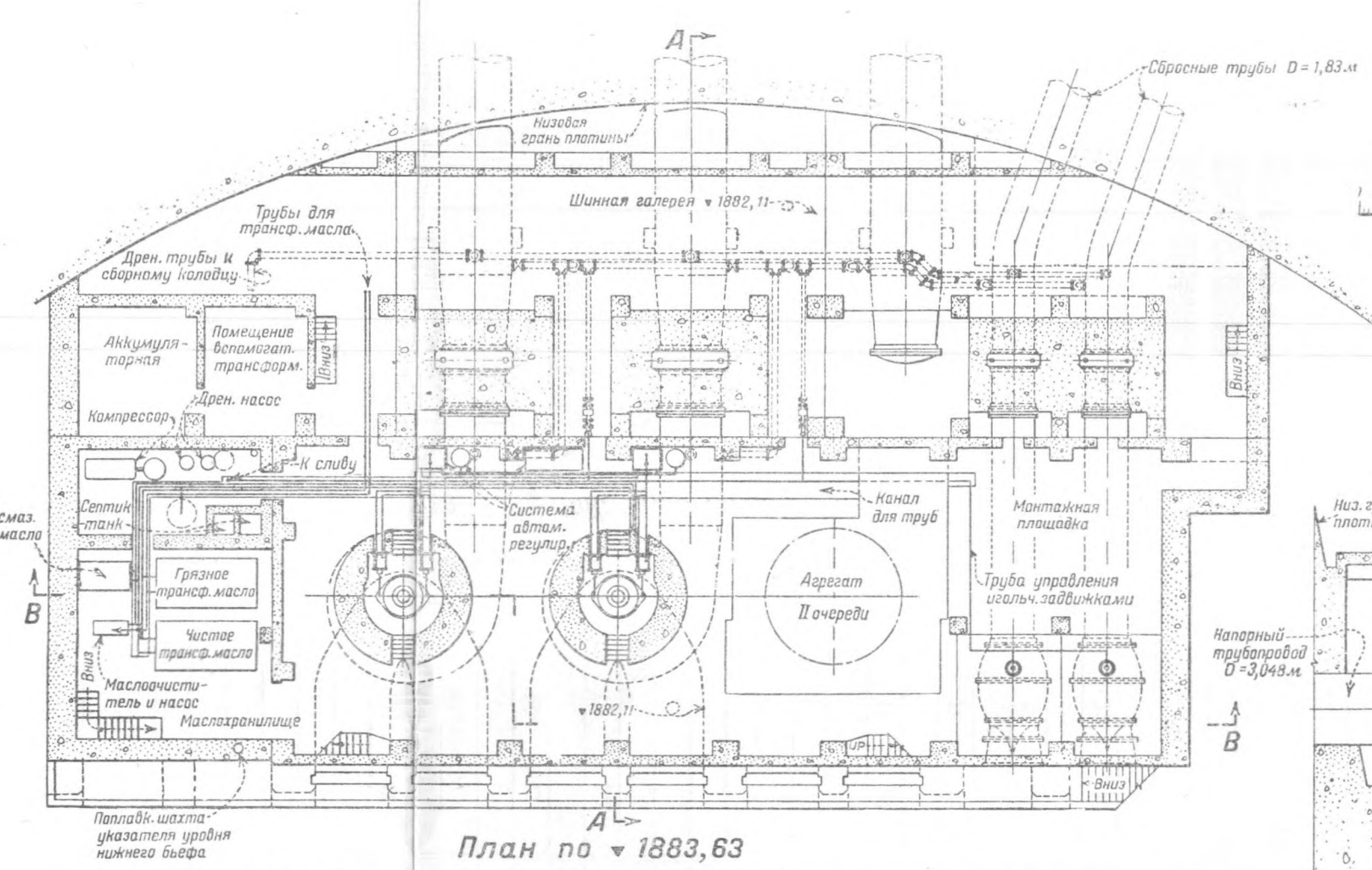
Фиг. 2.



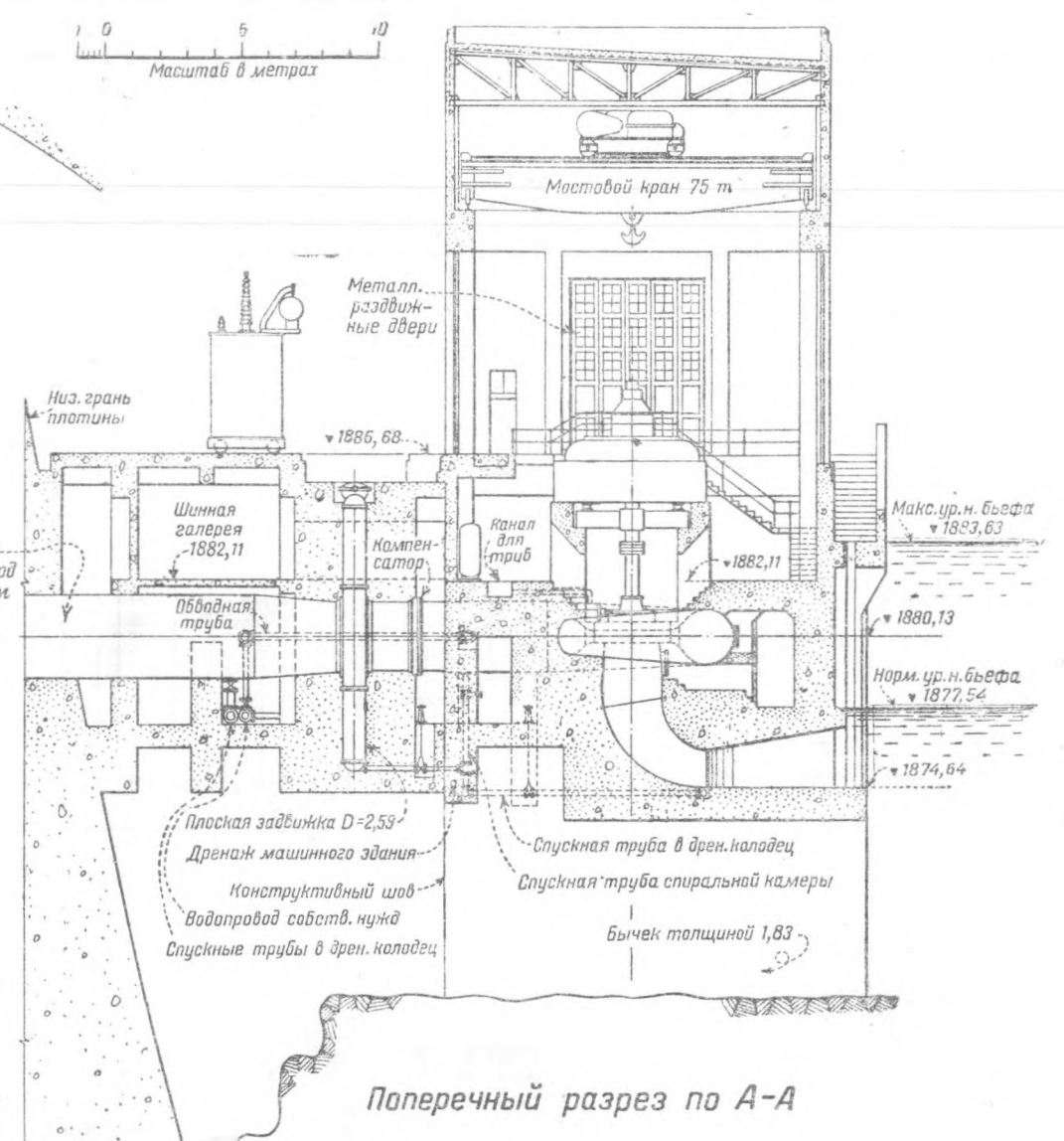
Фиг. 3.



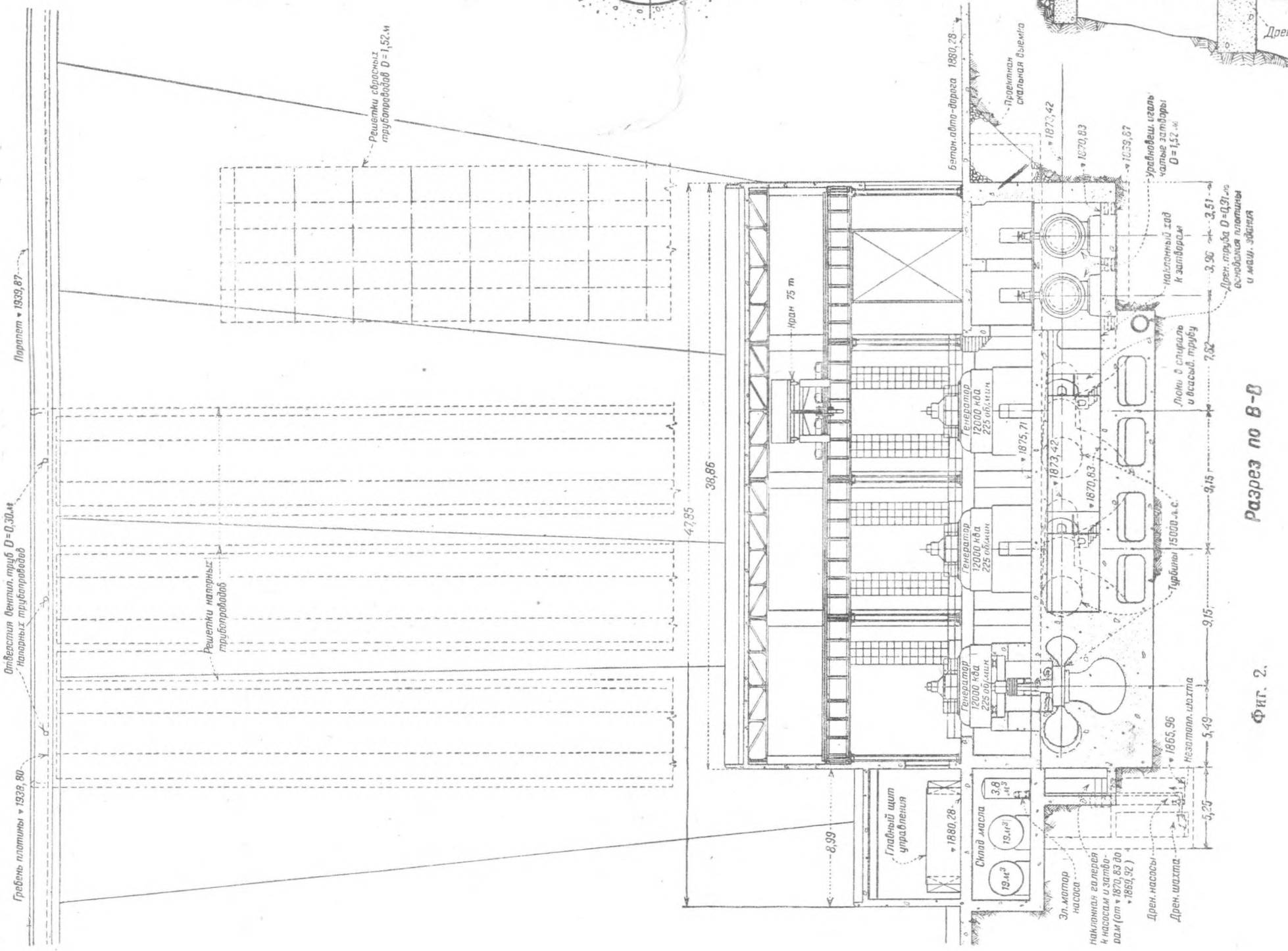
Фиг. 3.



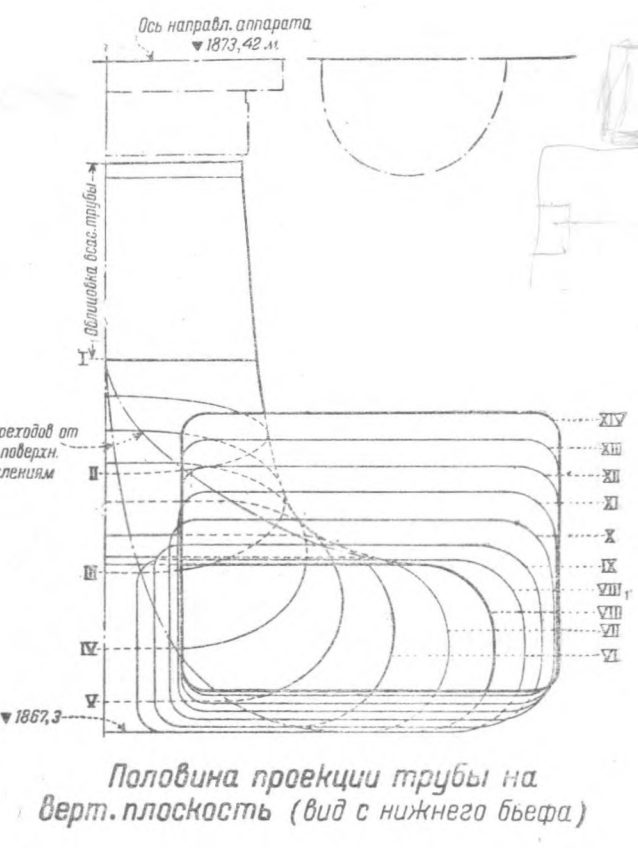
Фиг. 2.



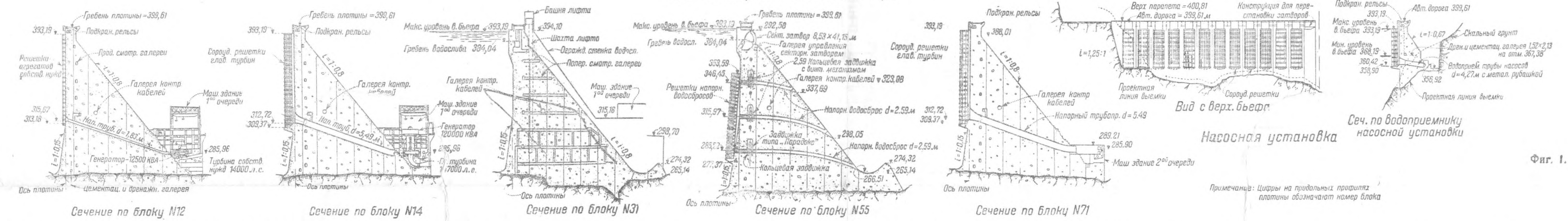
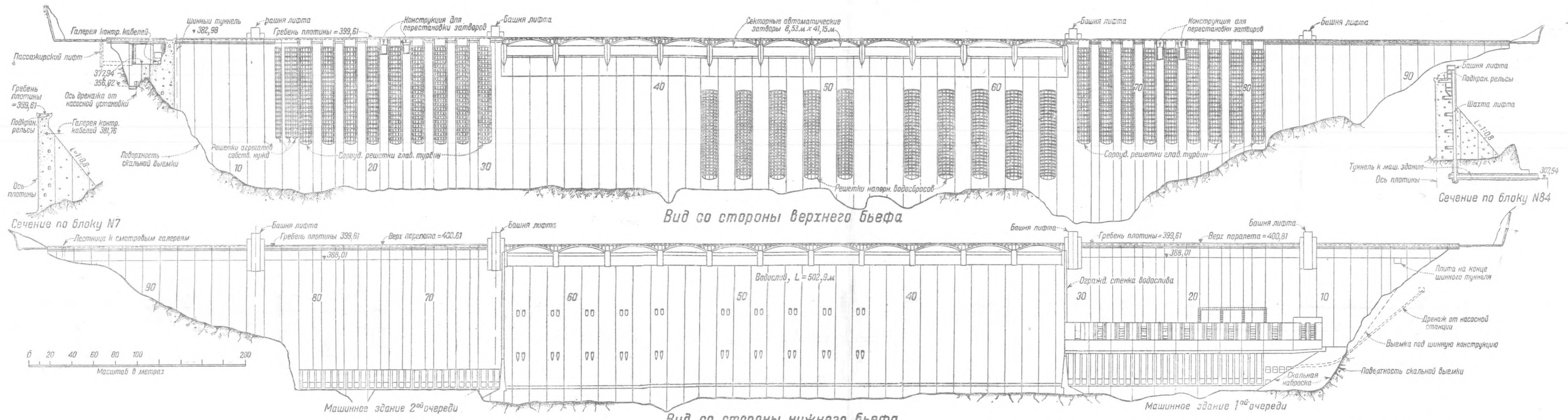
Фиг. 1.



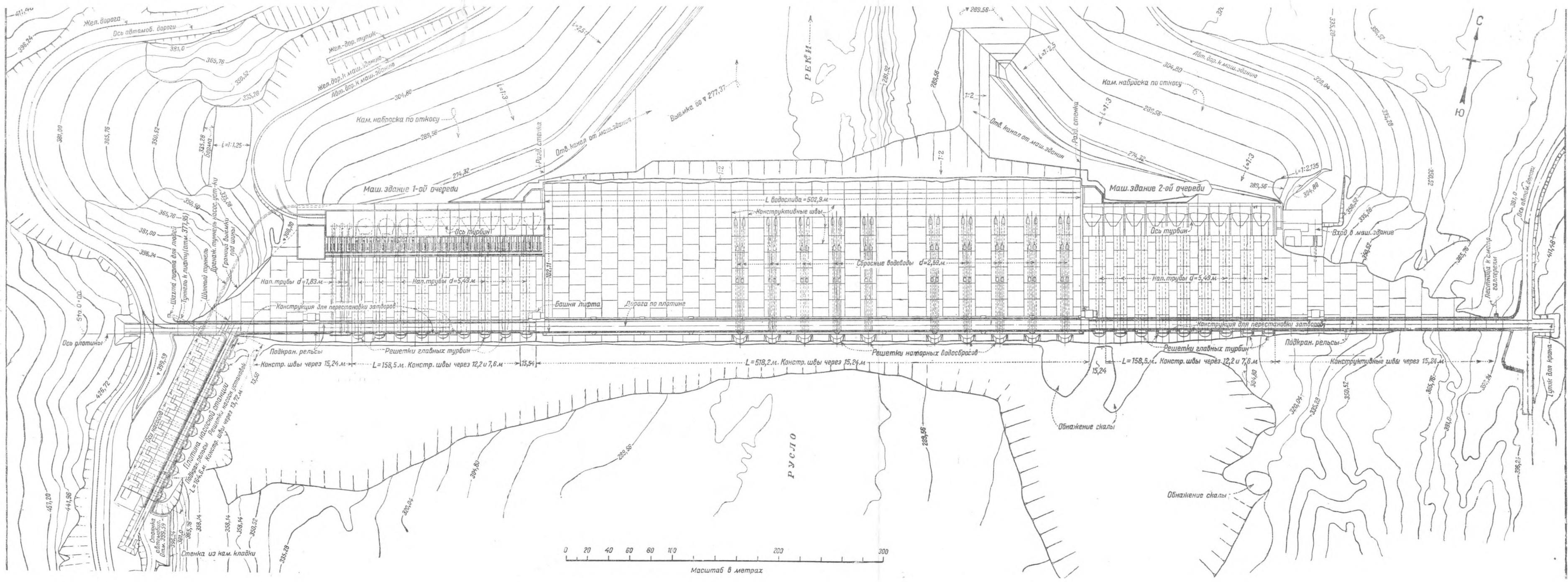
Фиг. 4.



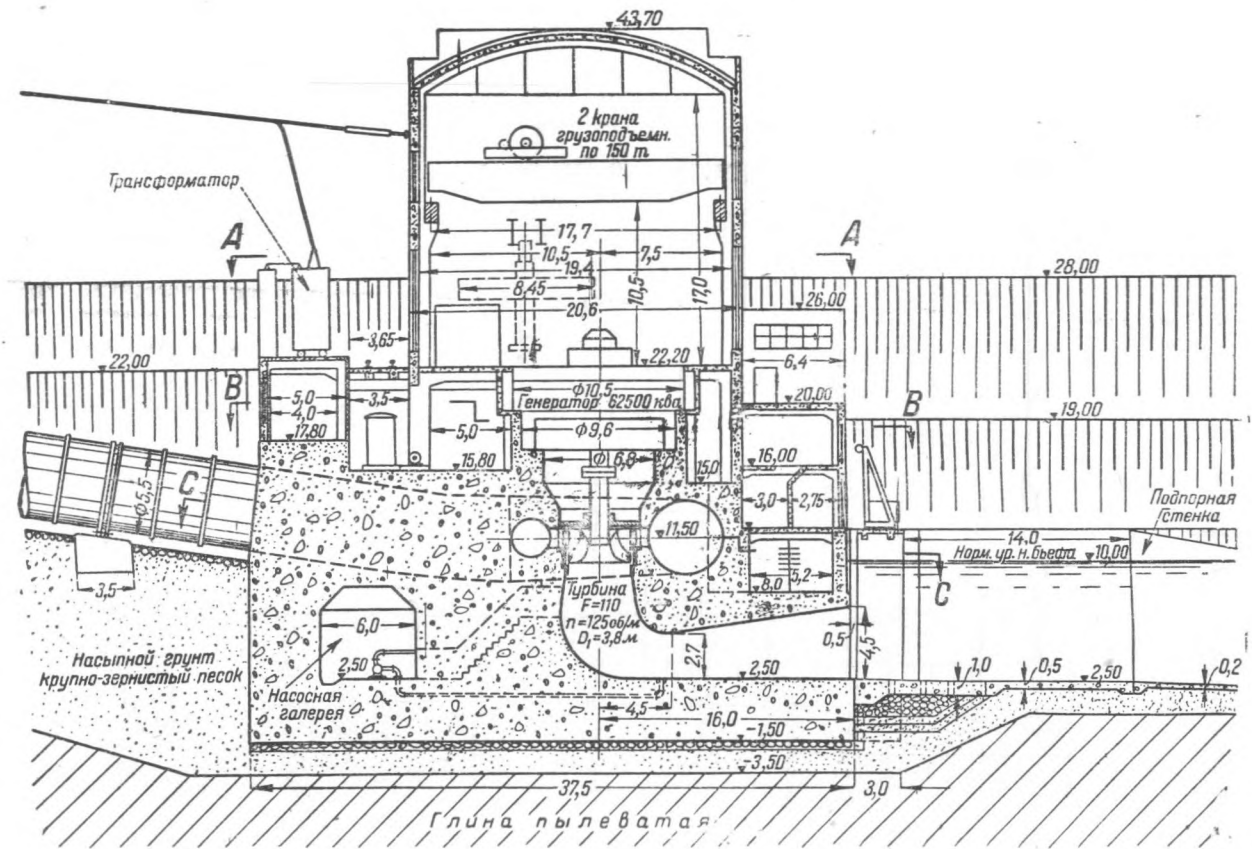
Фиг. 4.



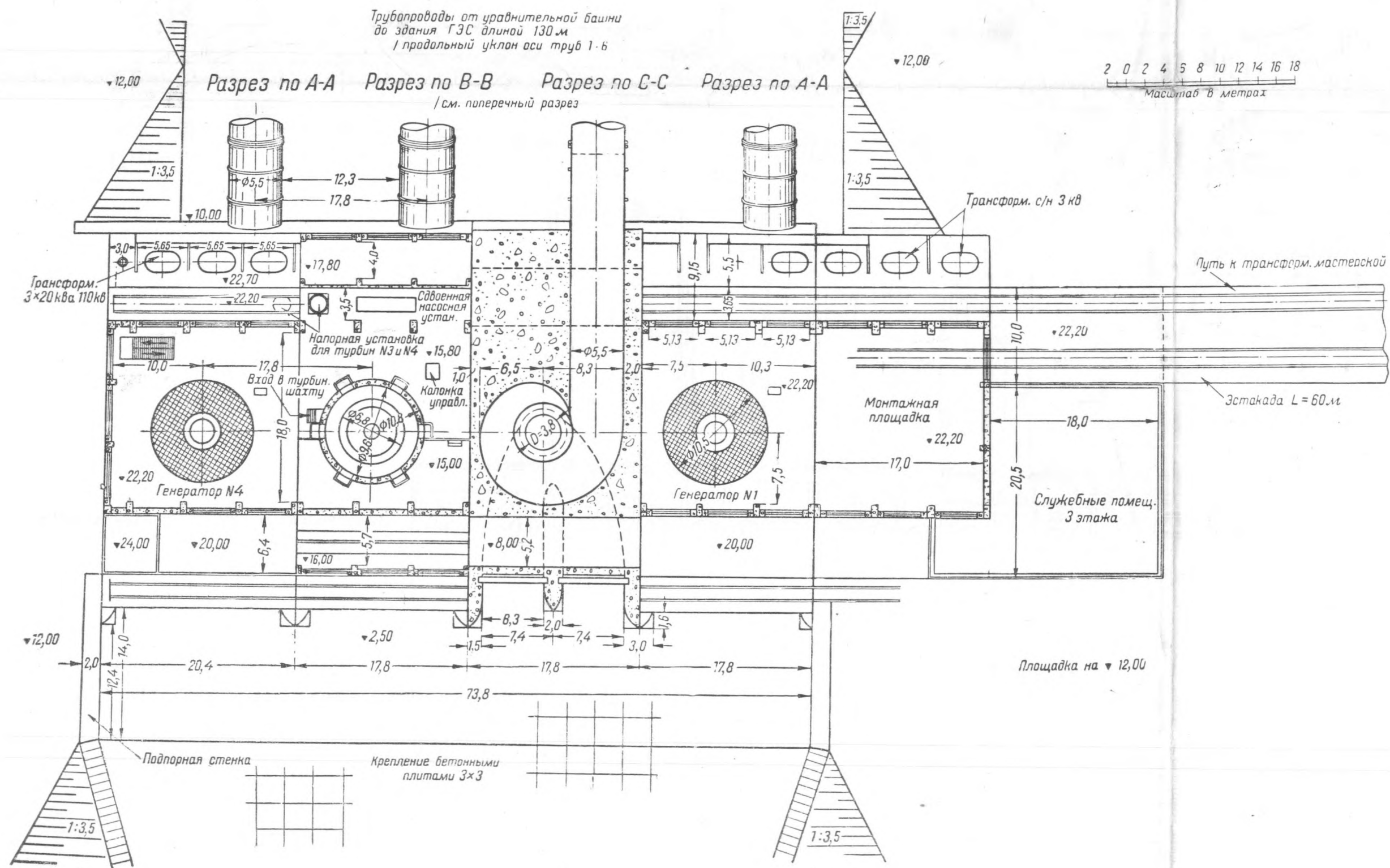
Фиг. 1.



Фиг. 2.



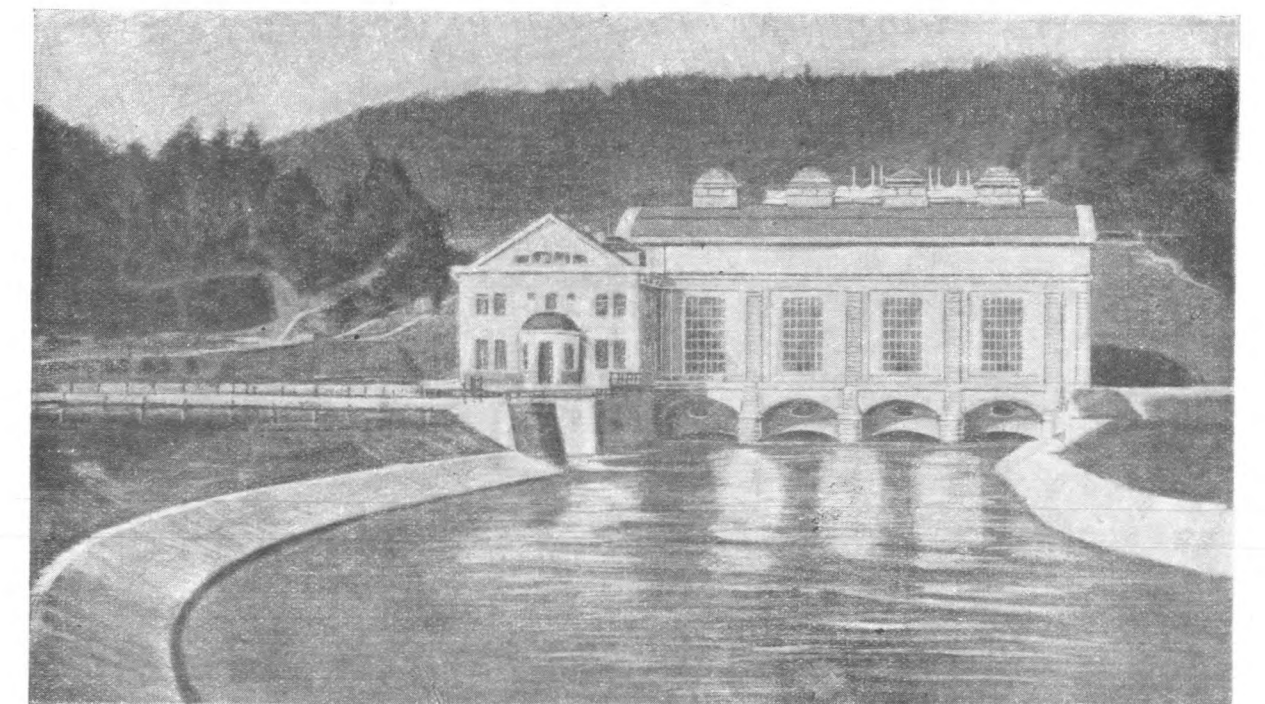
Фиг. 1



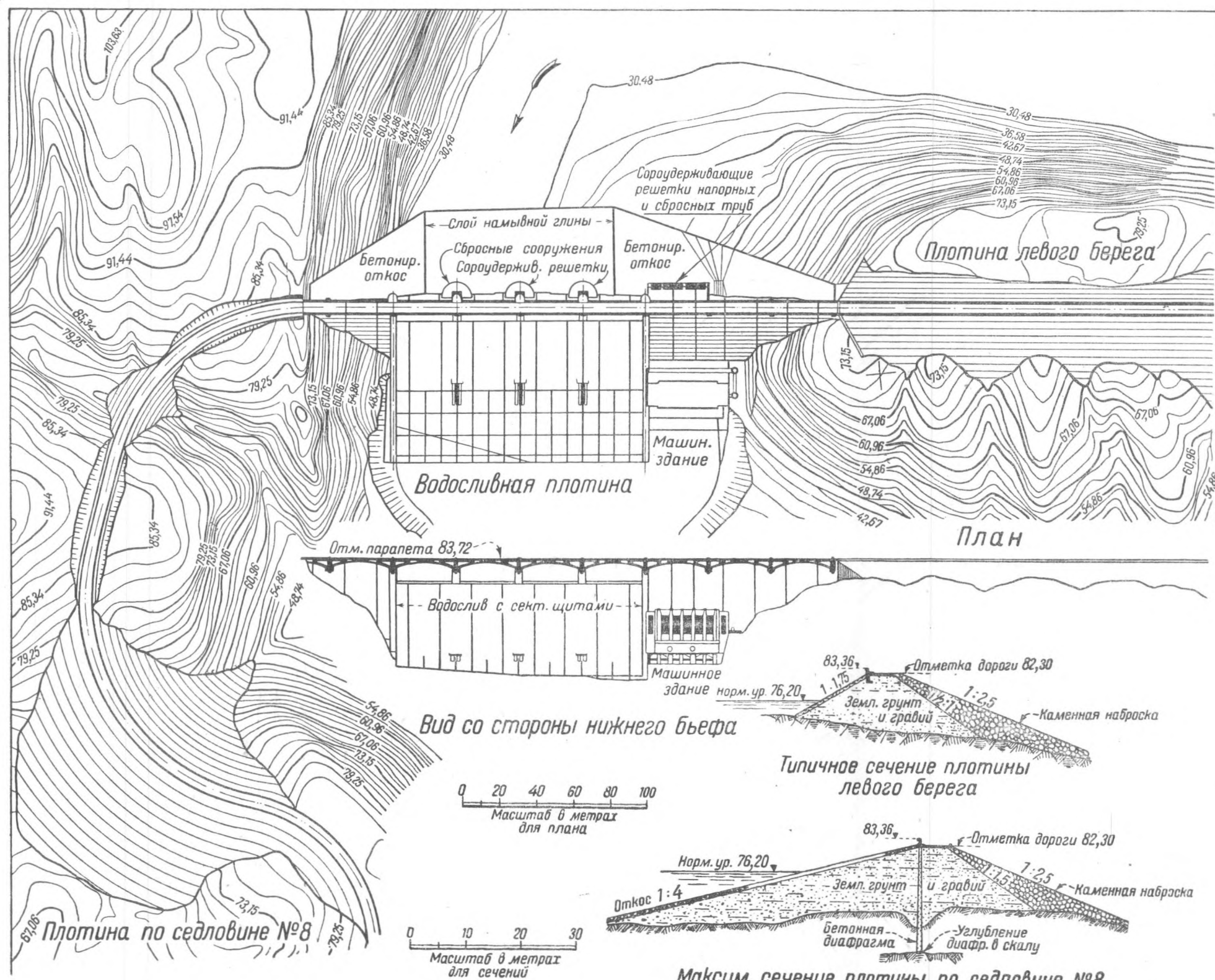
Фиг. 2.



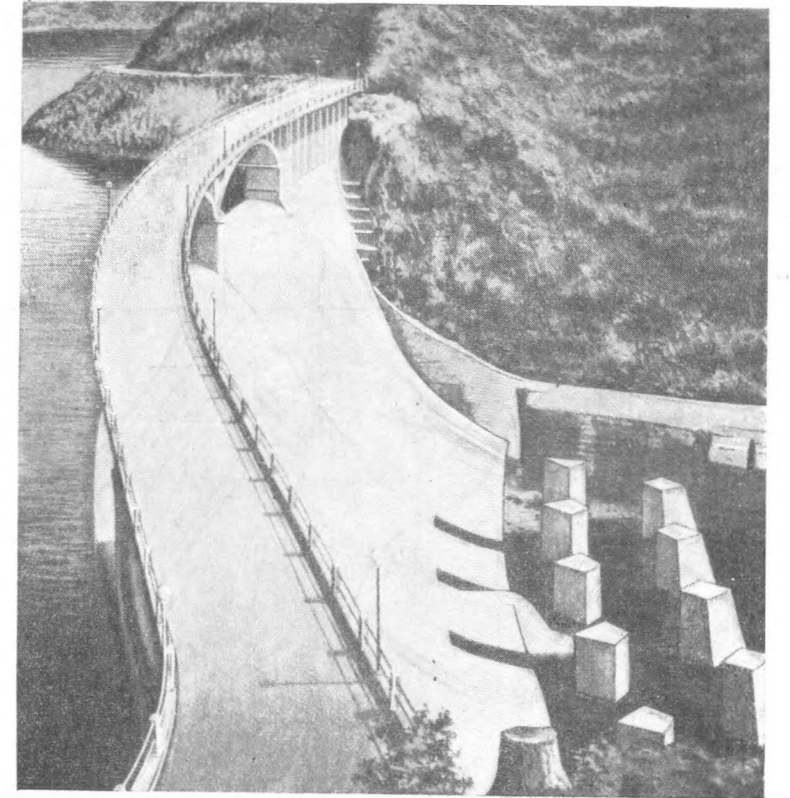
Фиг. 3.



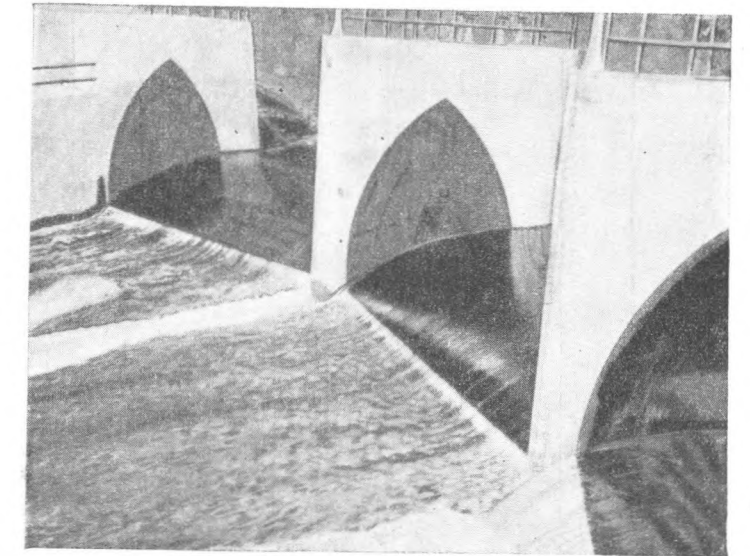
Фиг. 4.



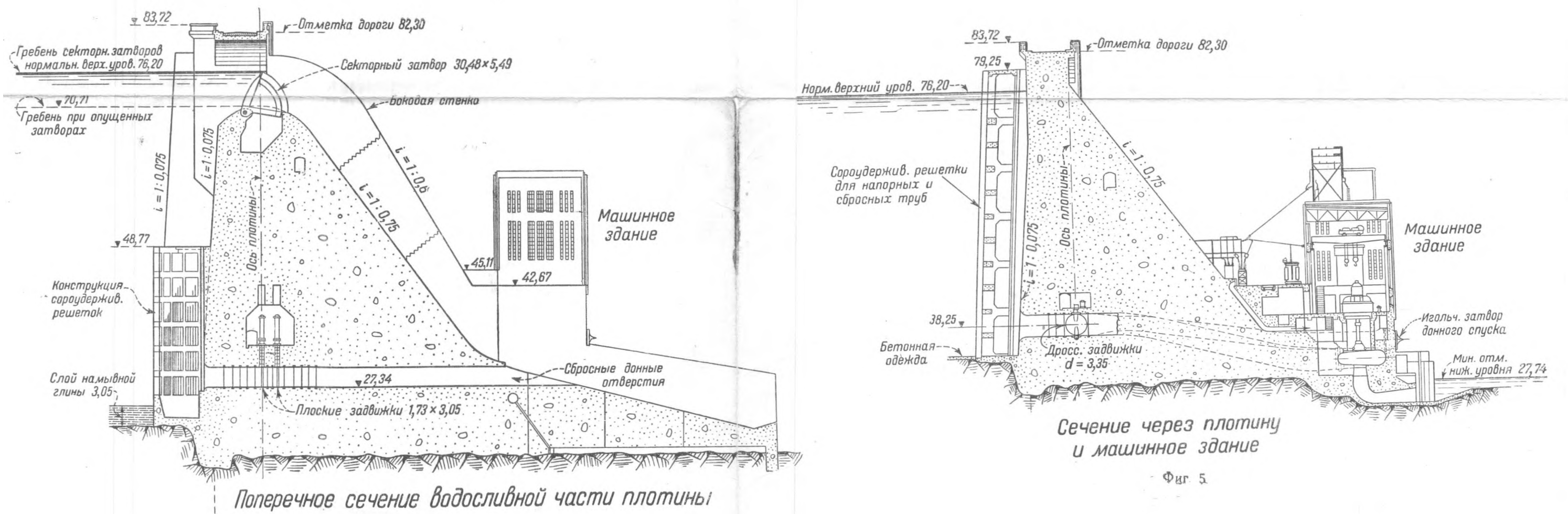
Фиг. 1



Фиг. 3.

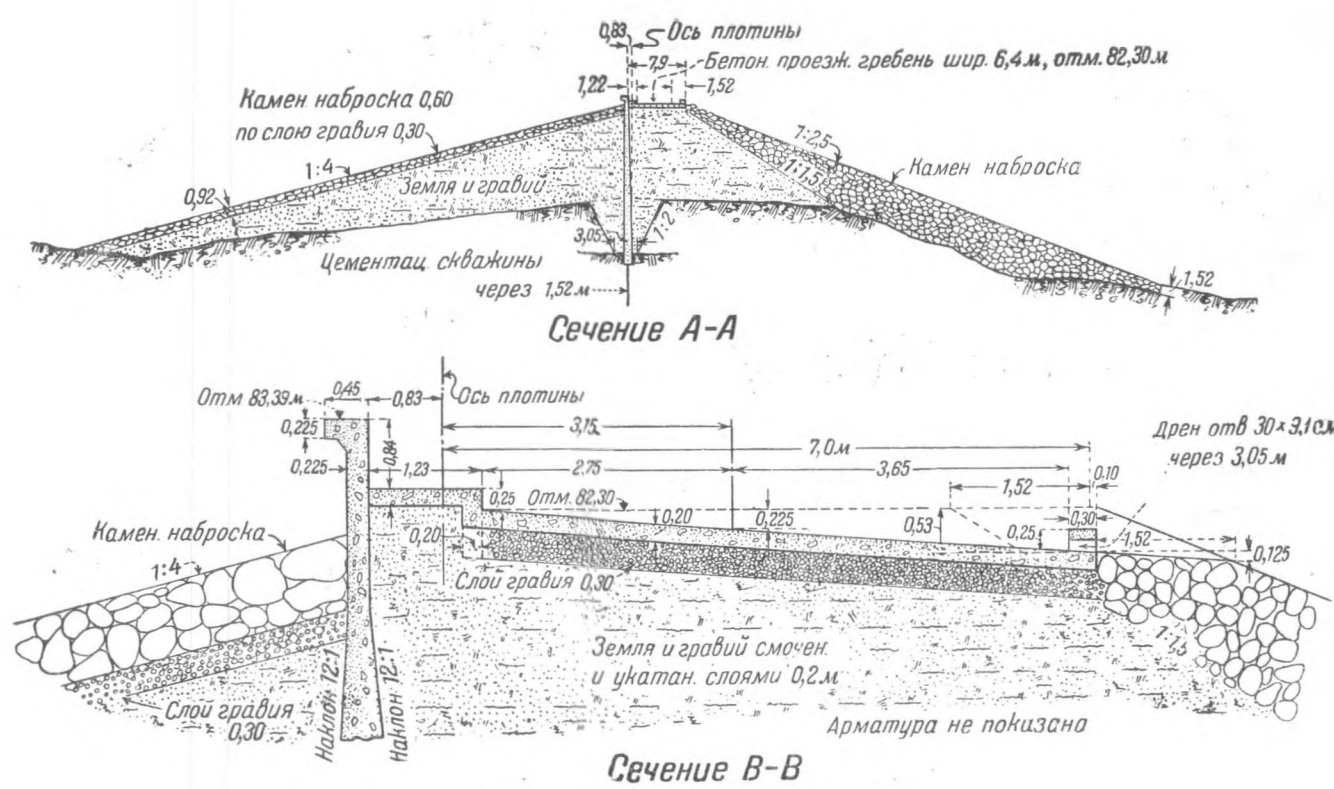


Фиг. 4.

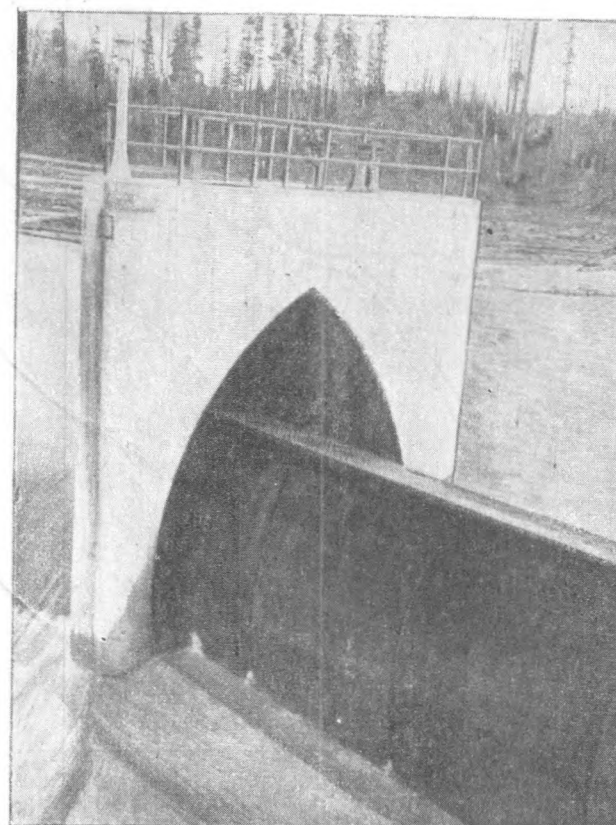


Фиг. 2.

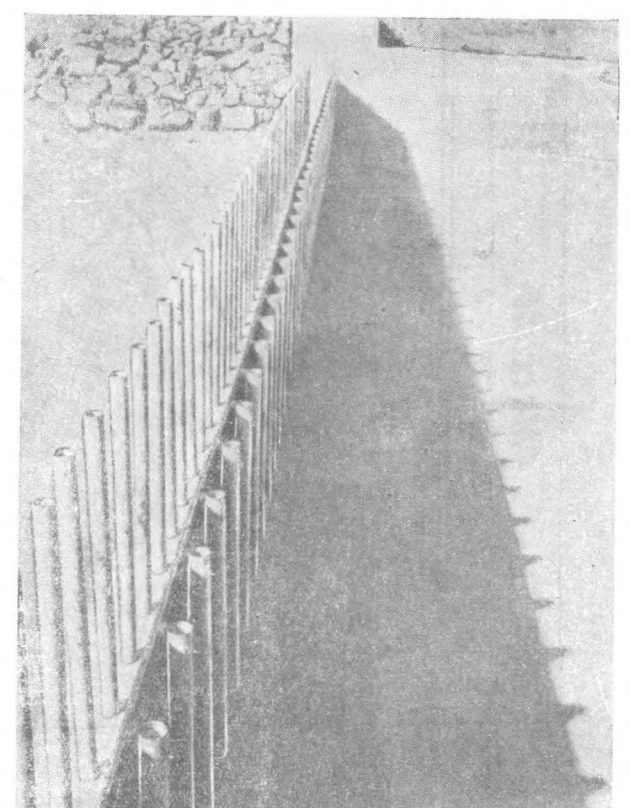
Фиг. 5.



Фиг. 6.

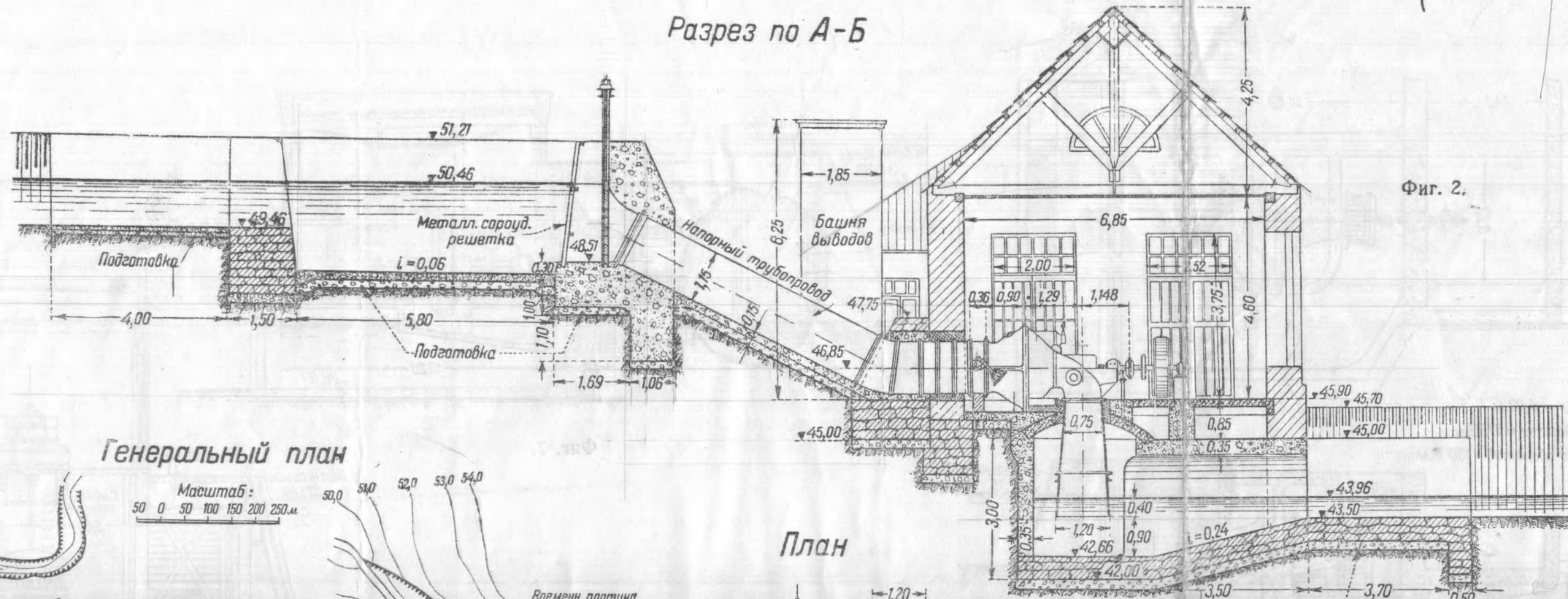


Фиг. 7.



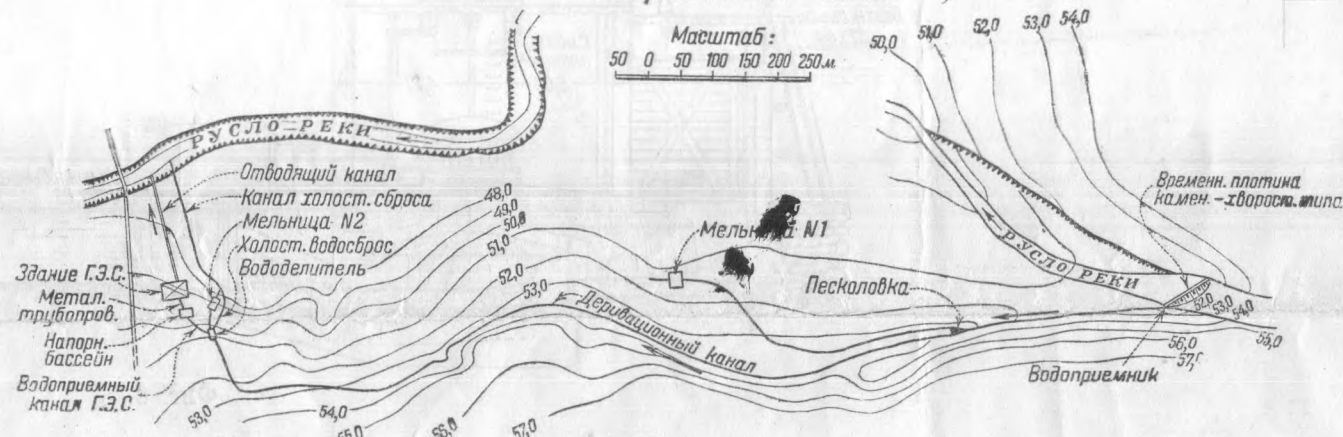
Фиг. 8.

Разрез по А-Б



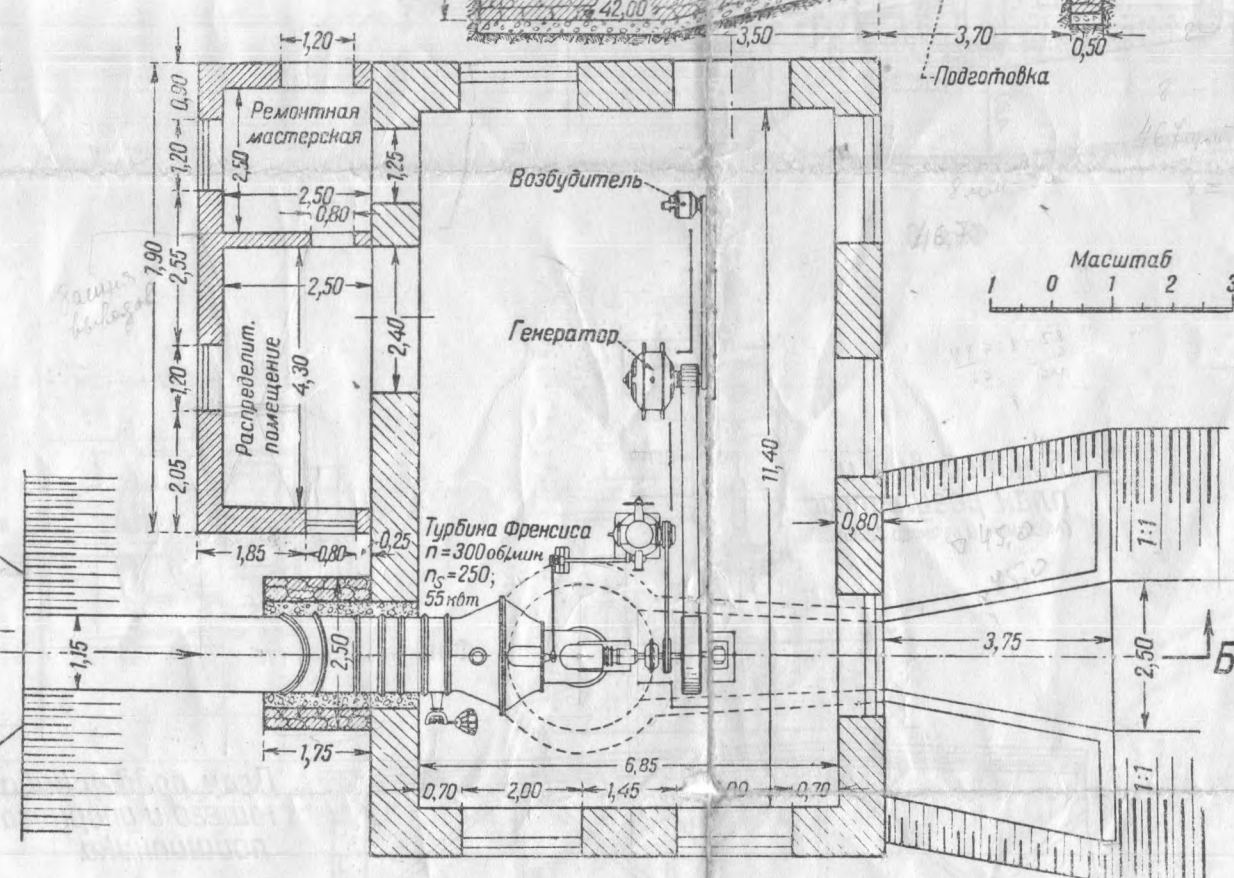
Фиг. 2.

Генеральный план



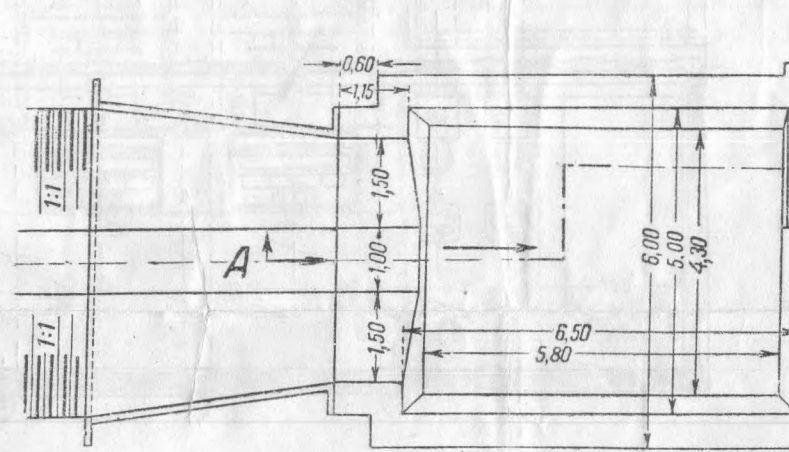
Фиг. 1

План



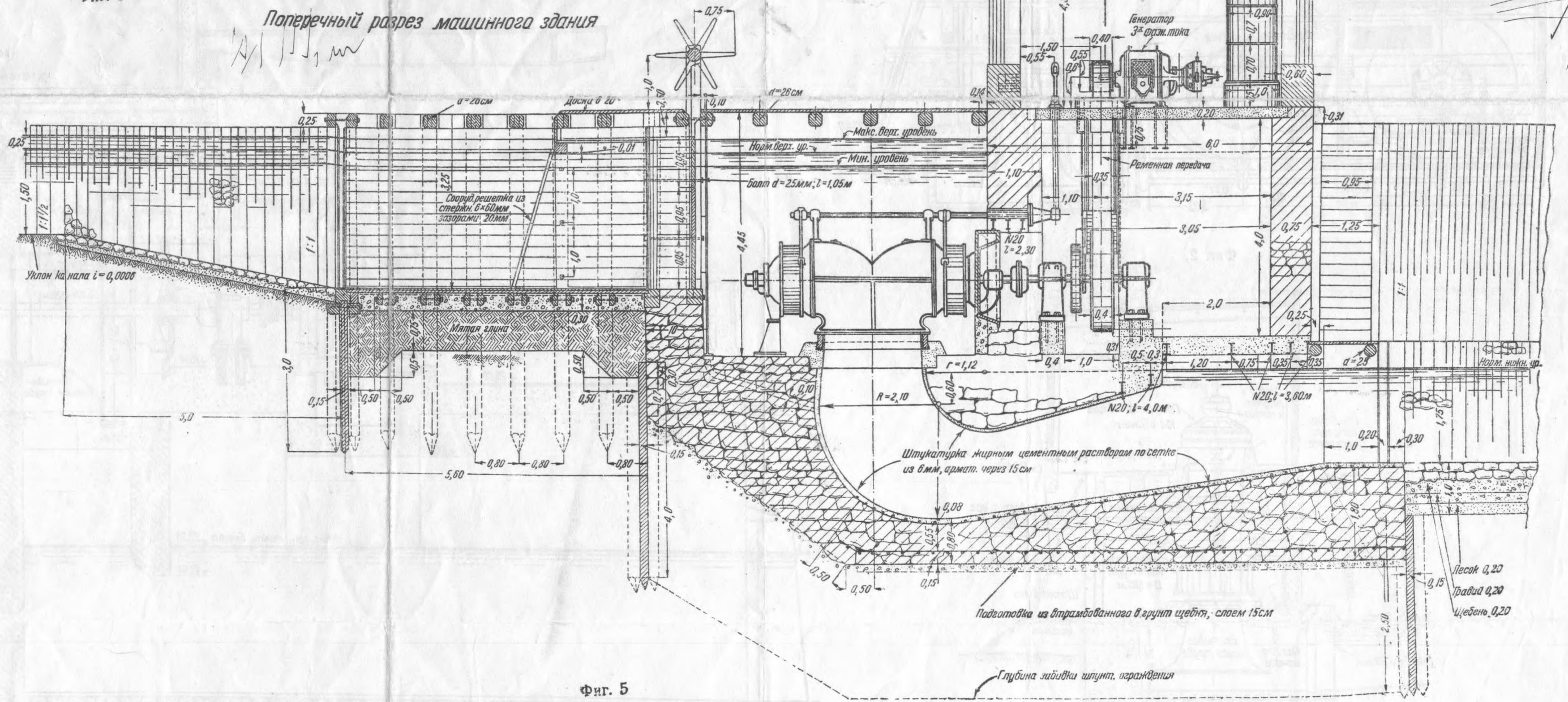
Масштаб 1 0 1 2 3 м

Наловный бассейн

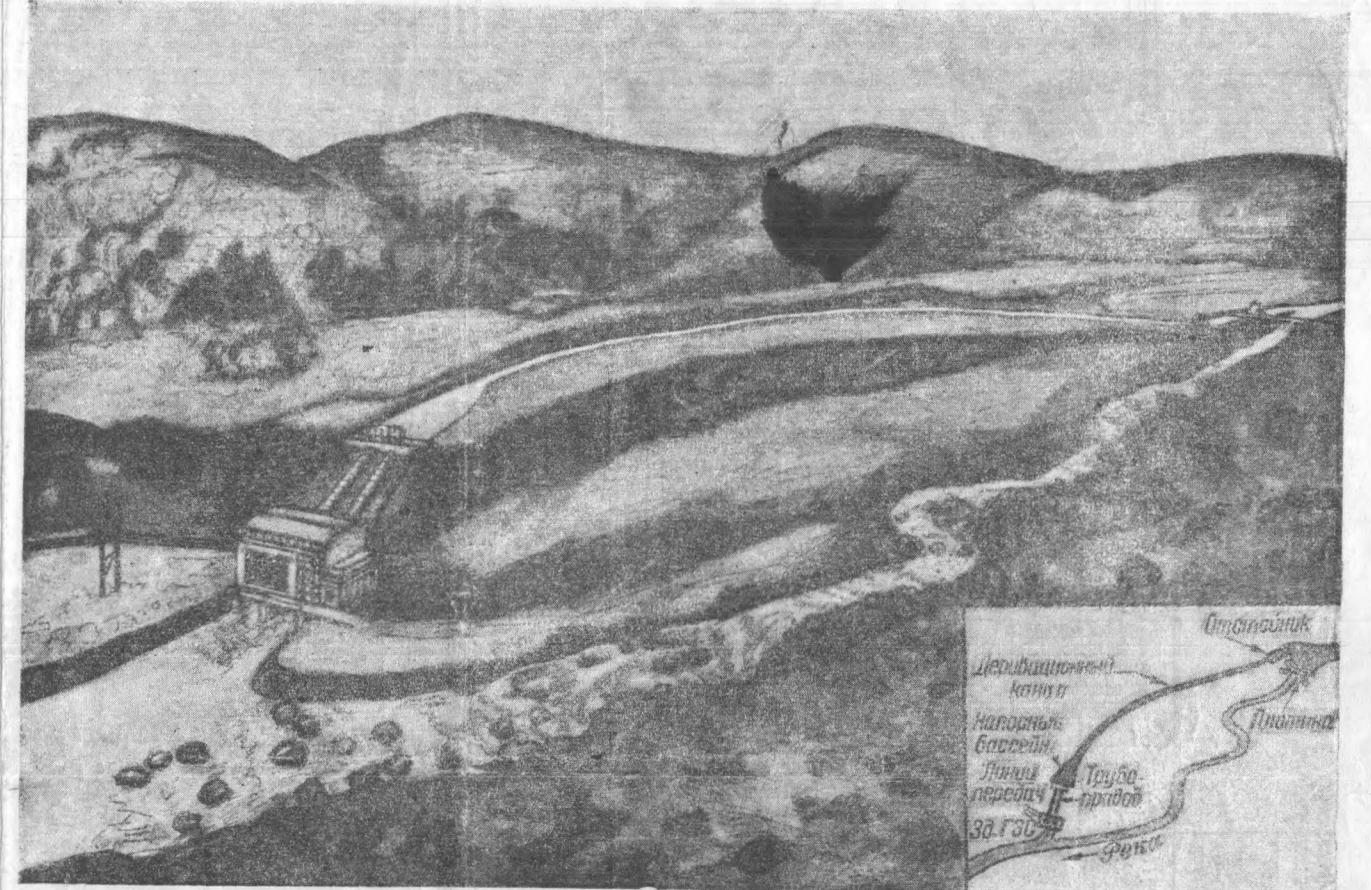


Фиг. 3

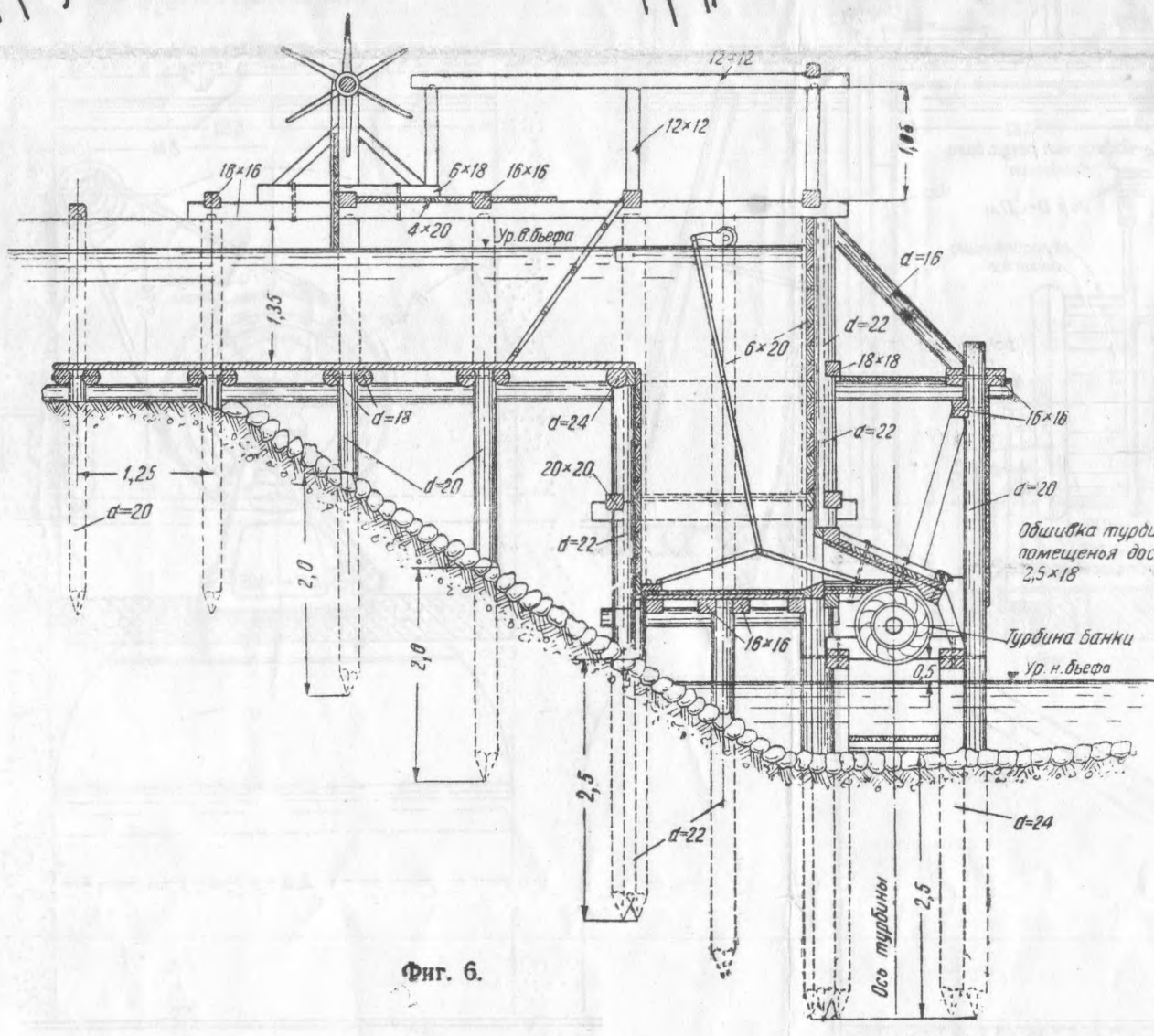
Поперечный разрез машинного здания



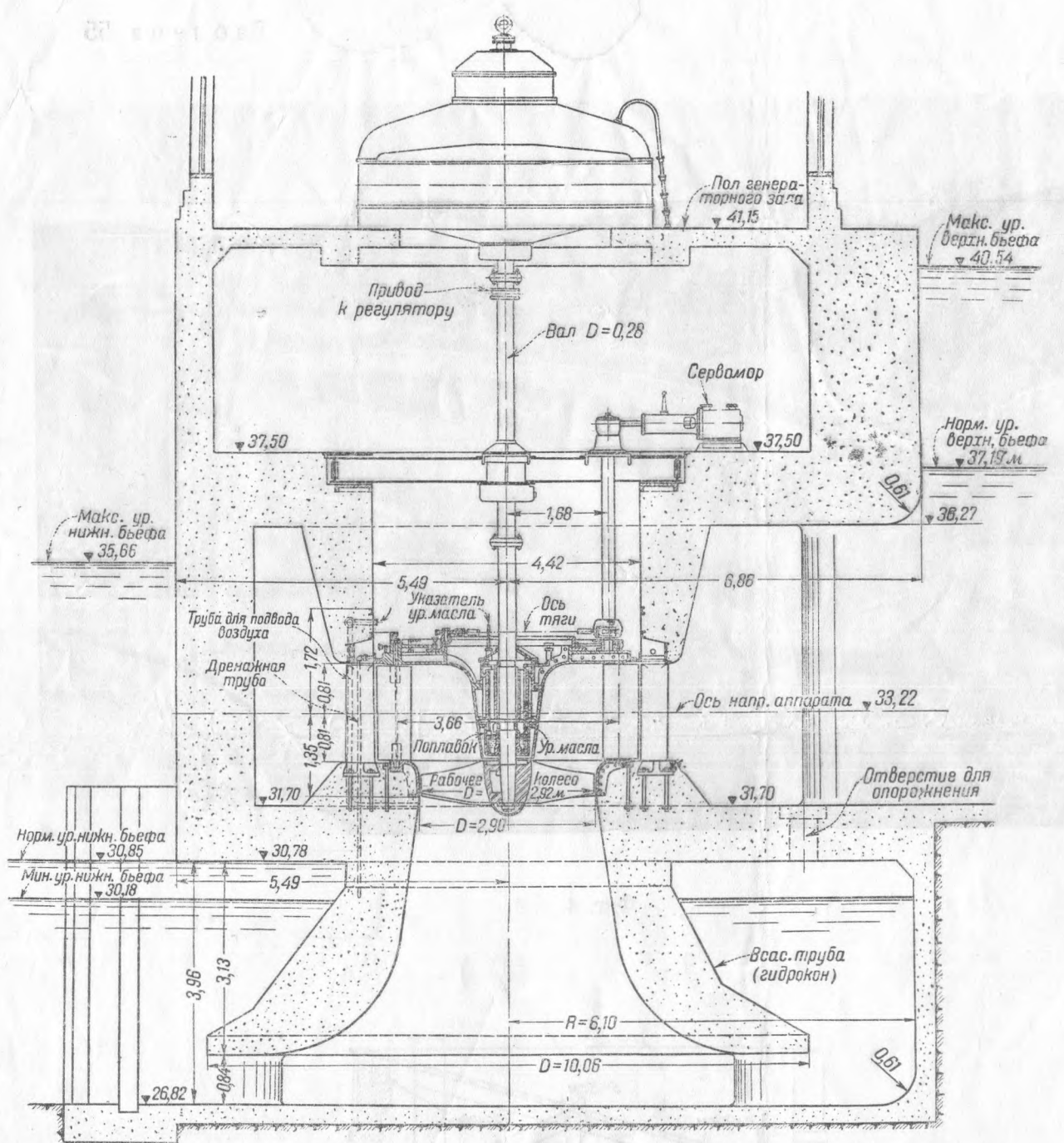
Фиг. 5



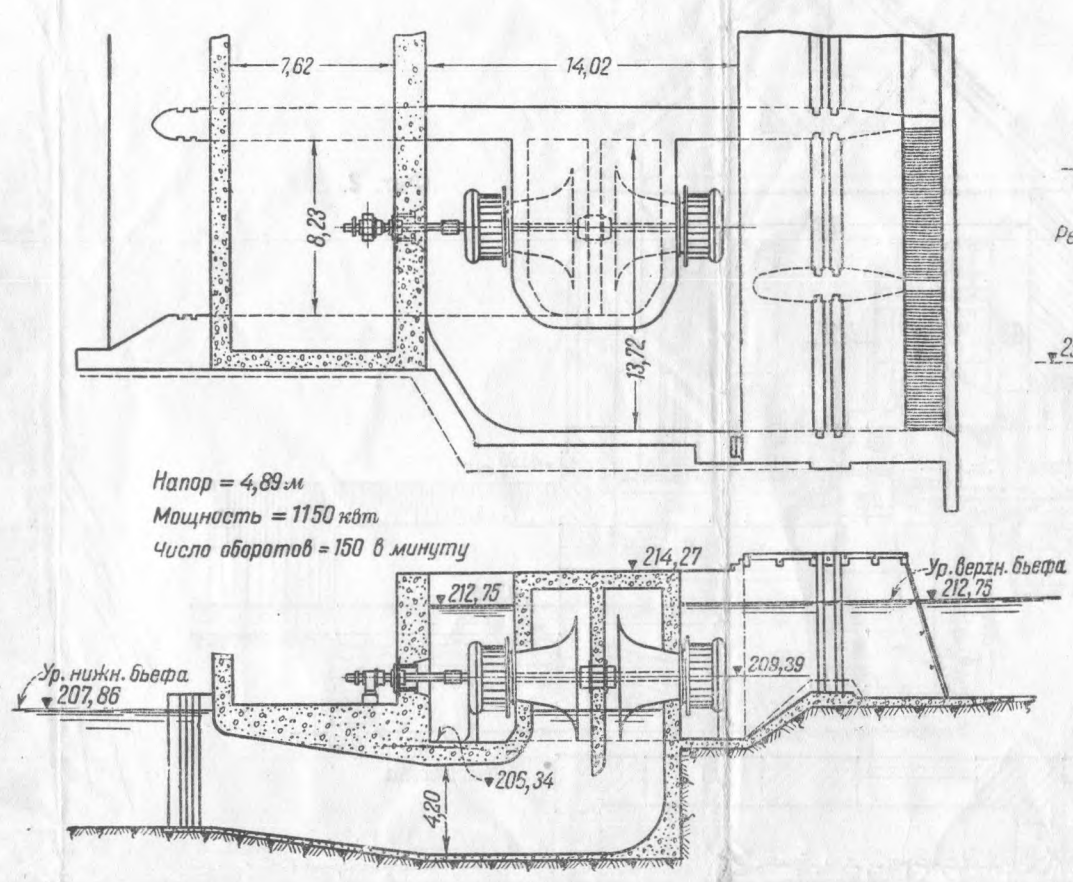
Фиг. 4.



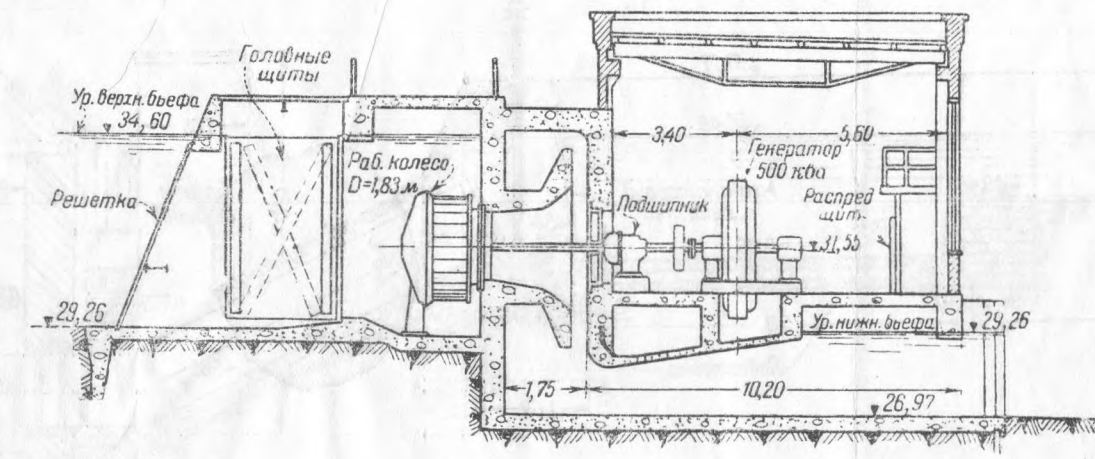
Фиг. 6.



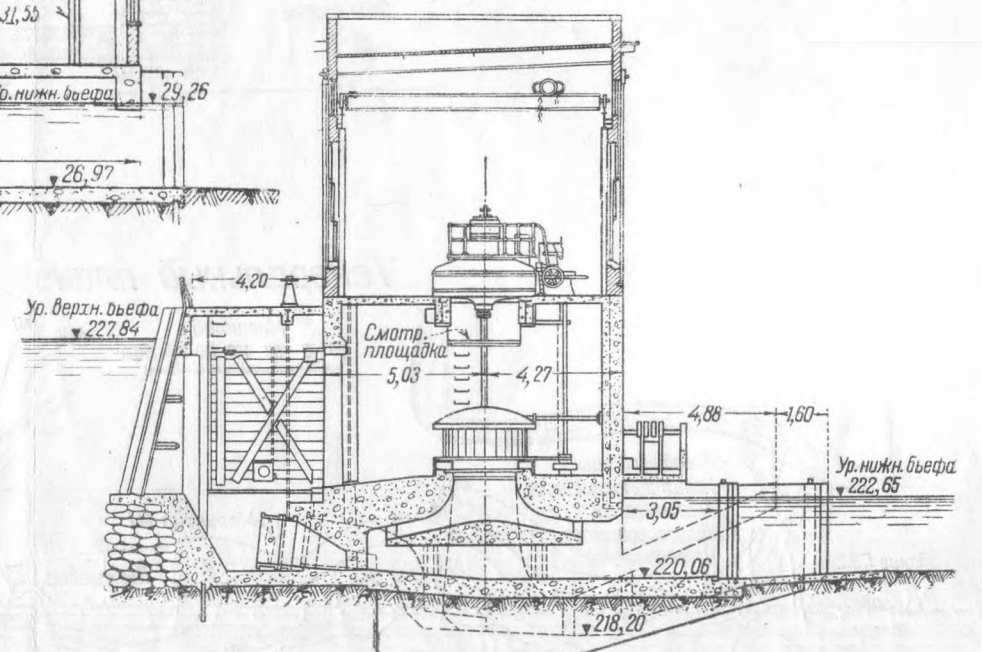
Фиг. 1.



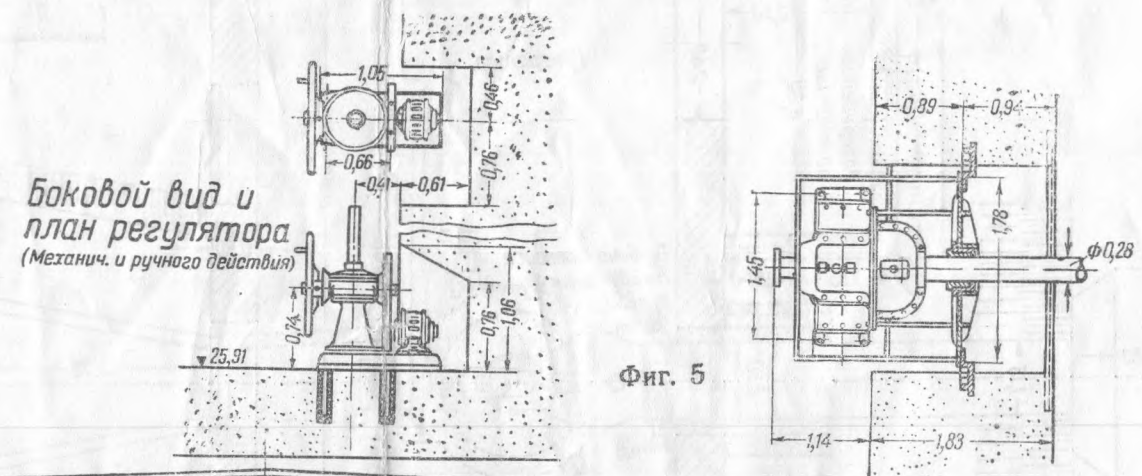
Фиг. 6.



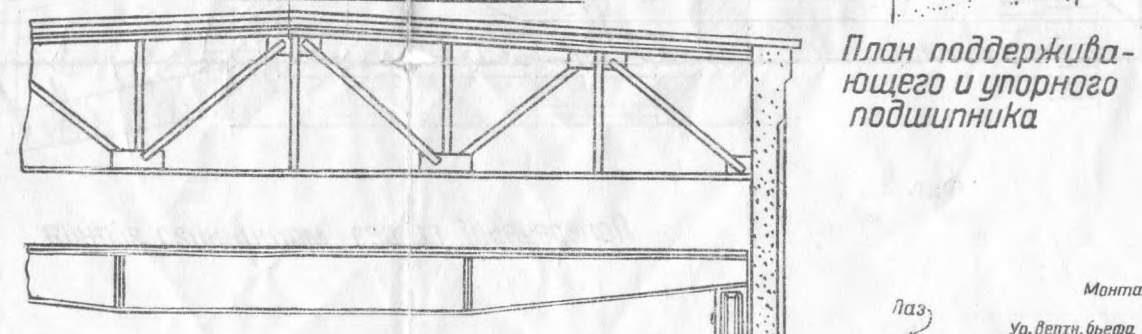
Фиг. 7.



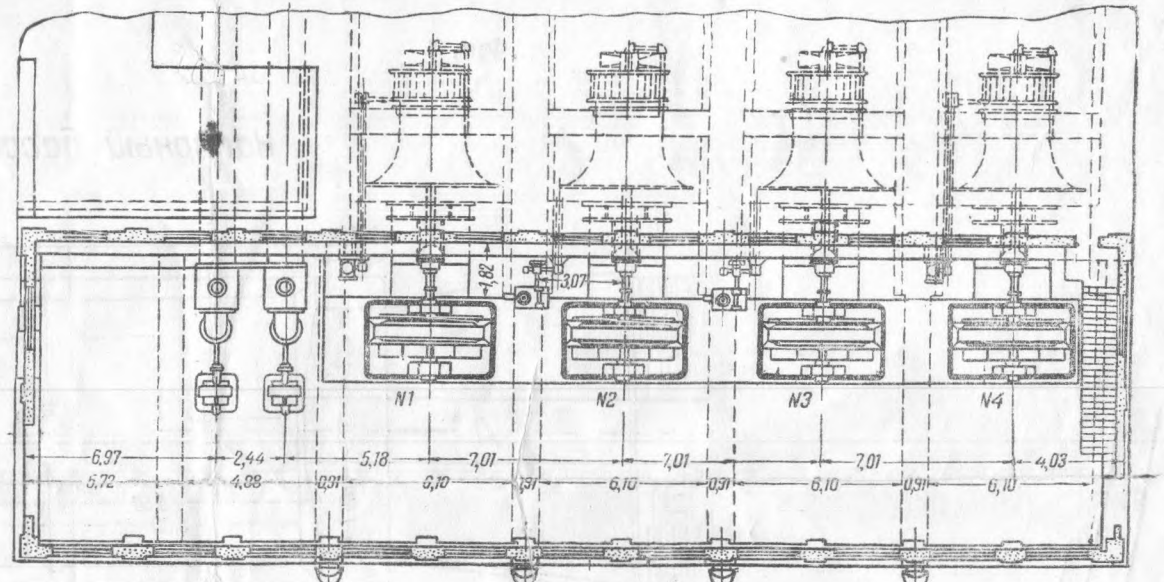
Фиг. 8.



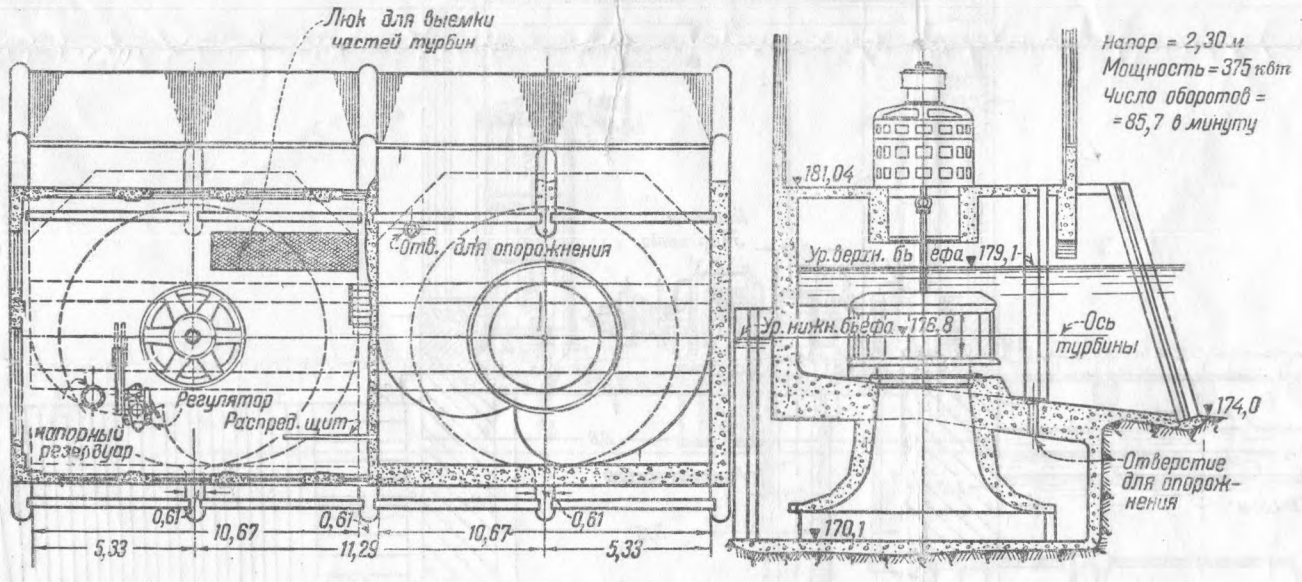
Фиг. 5.



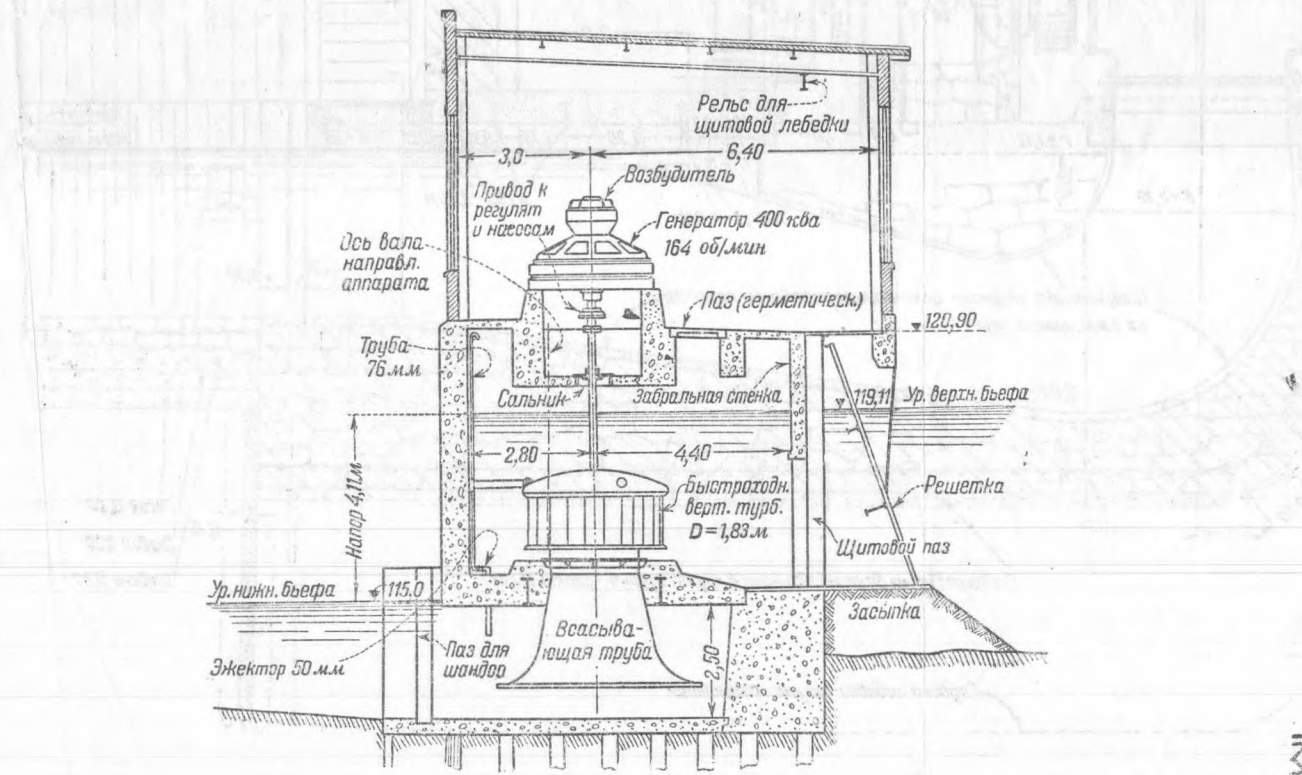
План поддерживающего и упорного подшипника



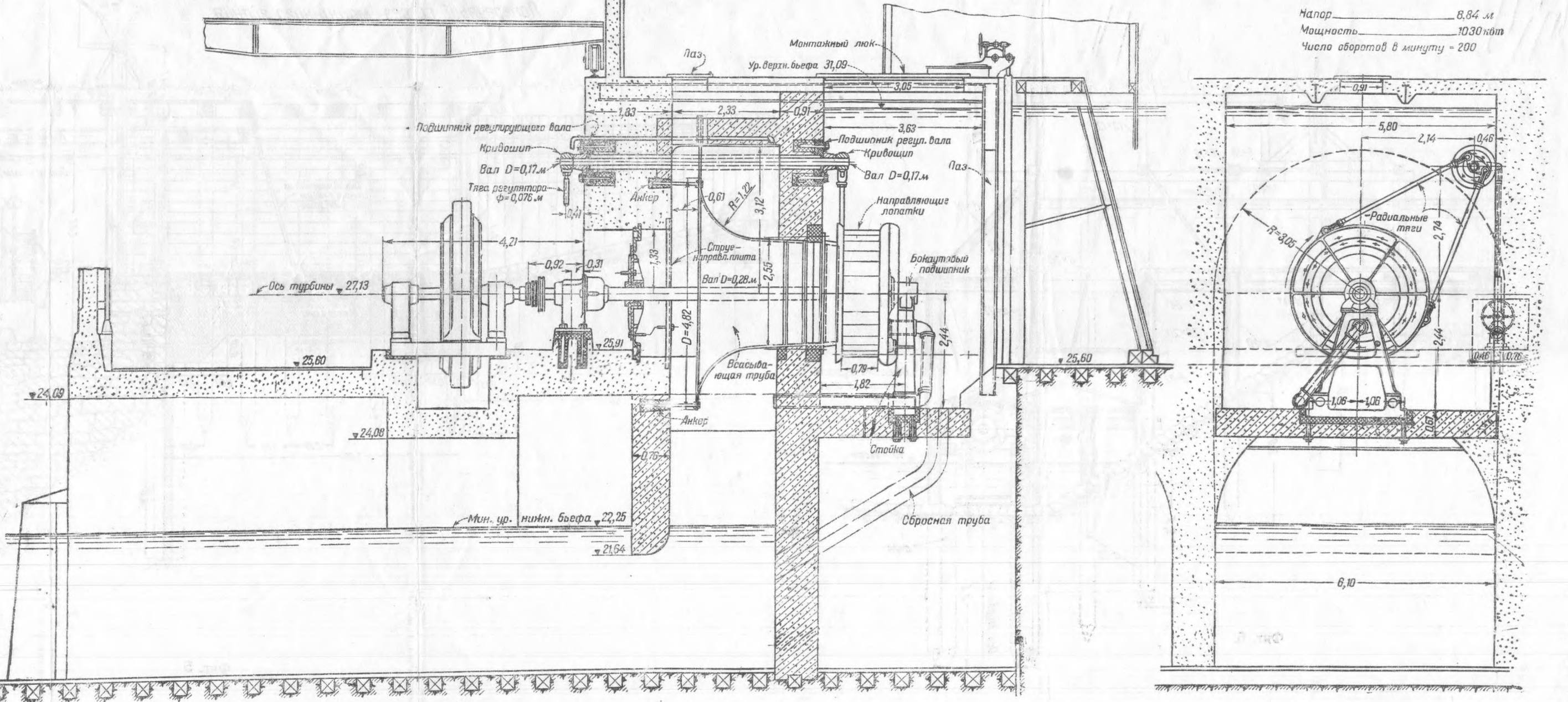
Напор = 6,84 м
Мощность = 1030 кВт
Число оборотов в минуту = 200



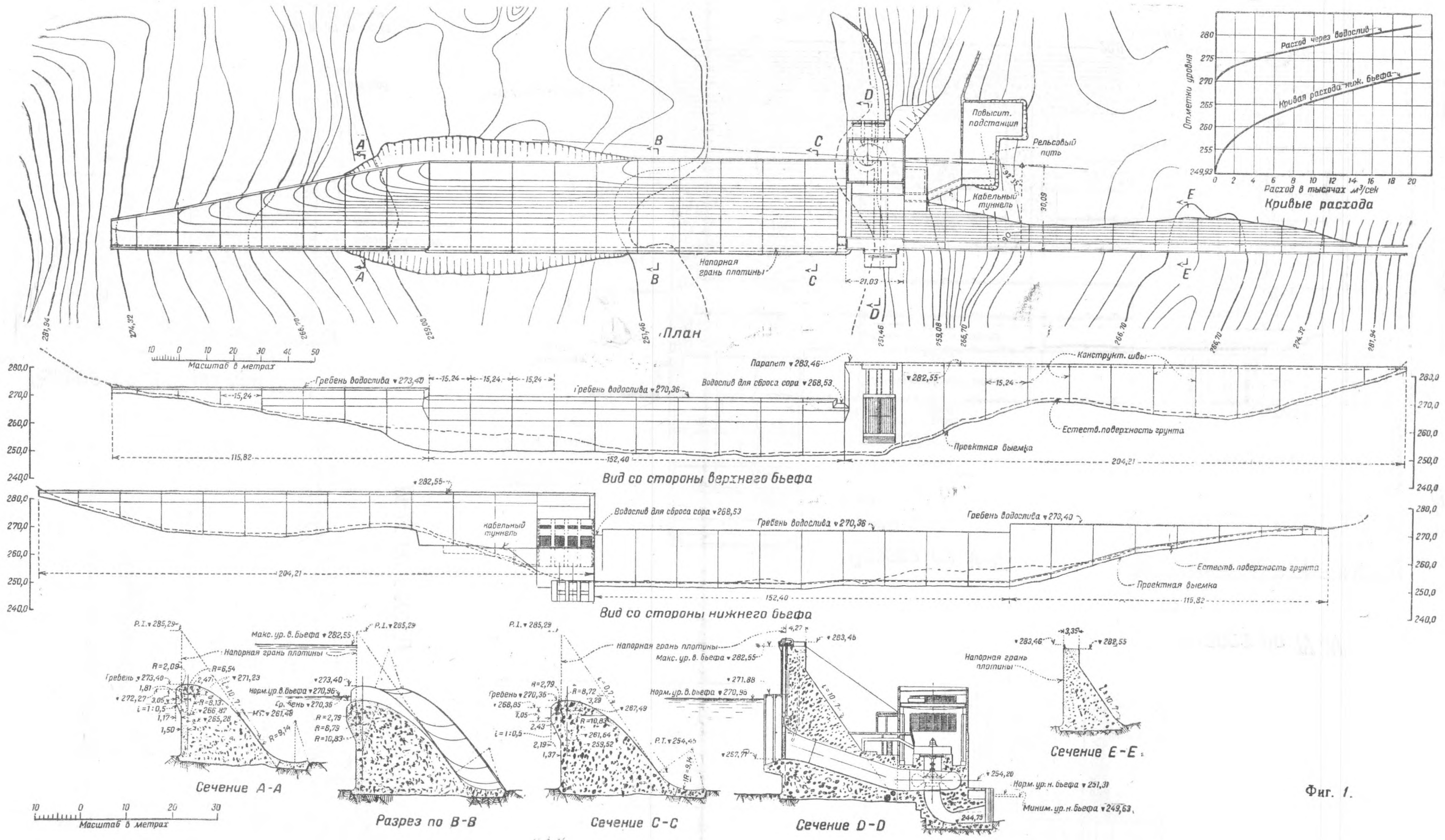
Фиг. 2.



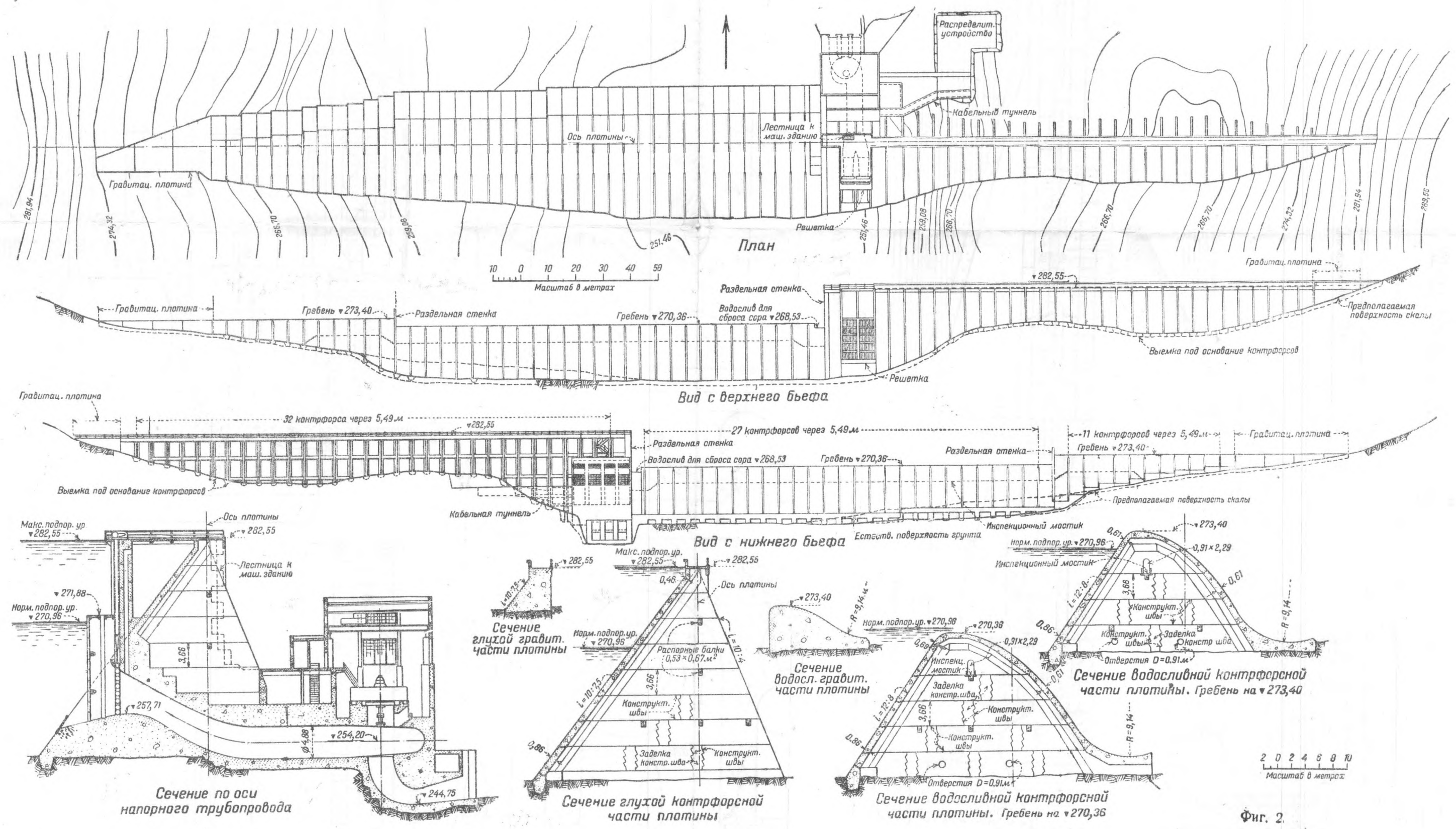
Фиг. 3.



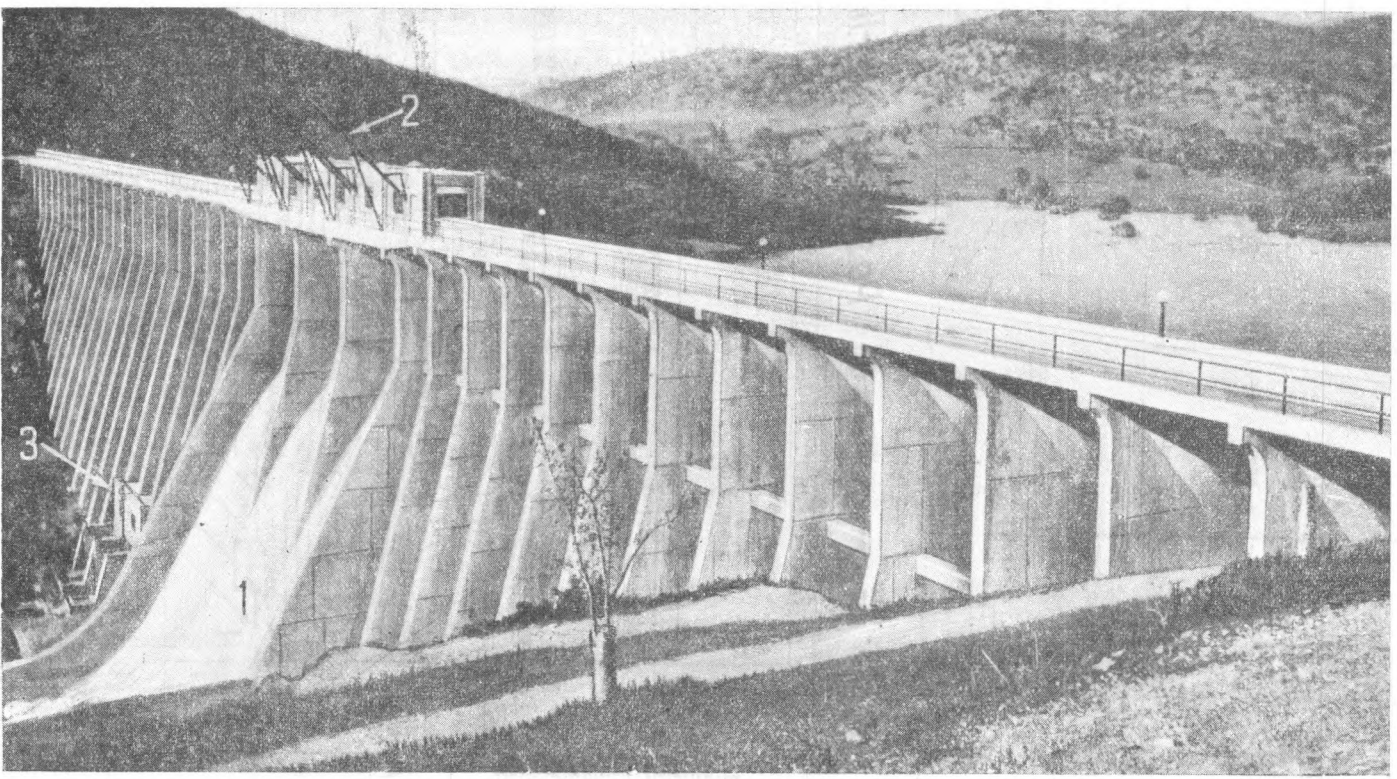
Фиг. 4.



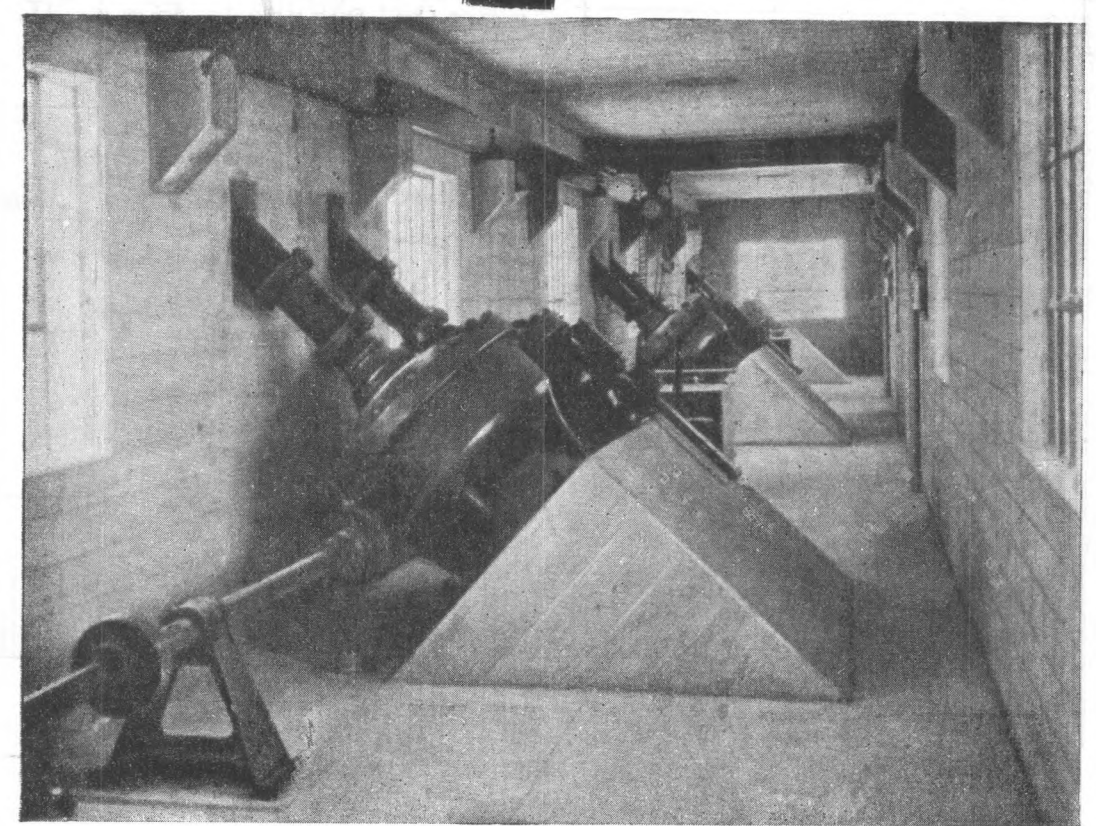
Фиг. 1.



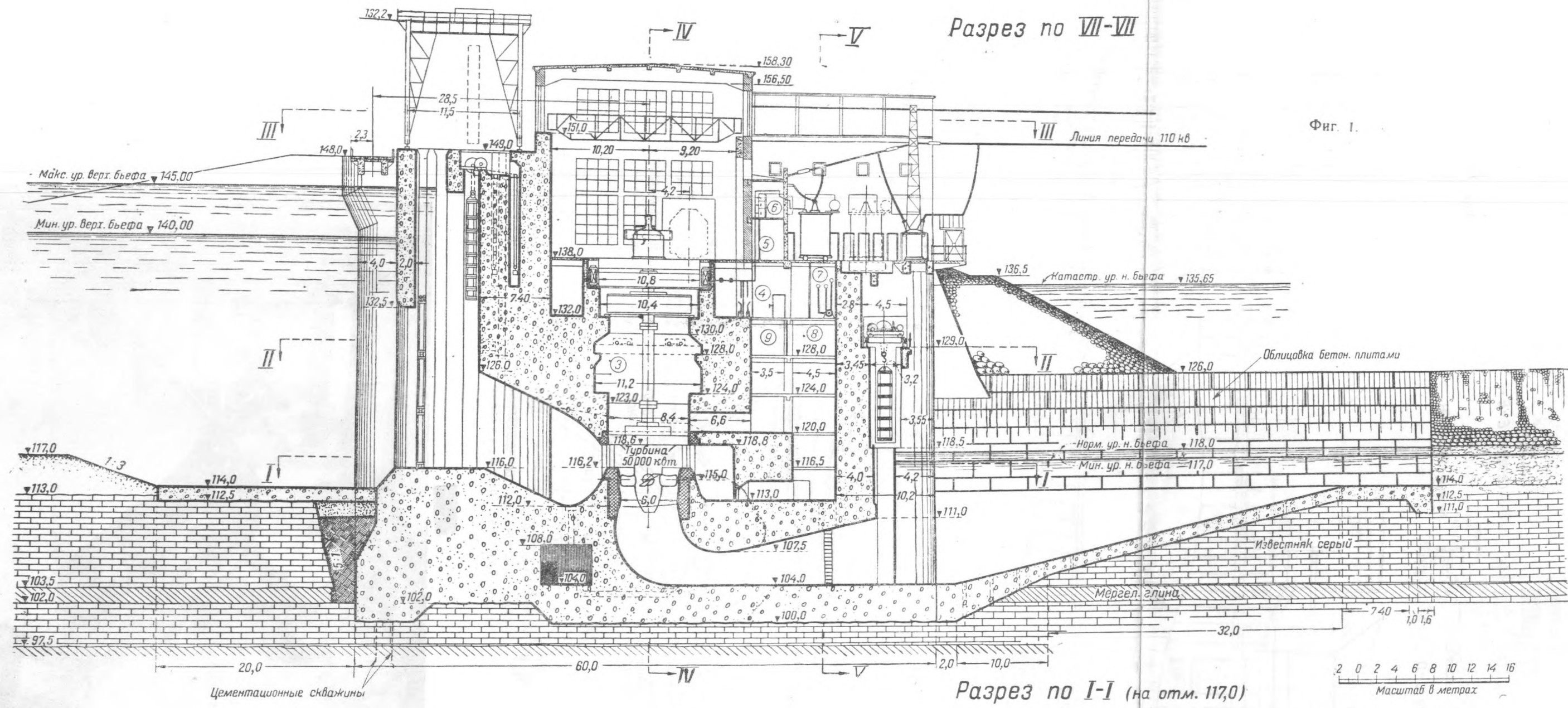
Фиг. 2.



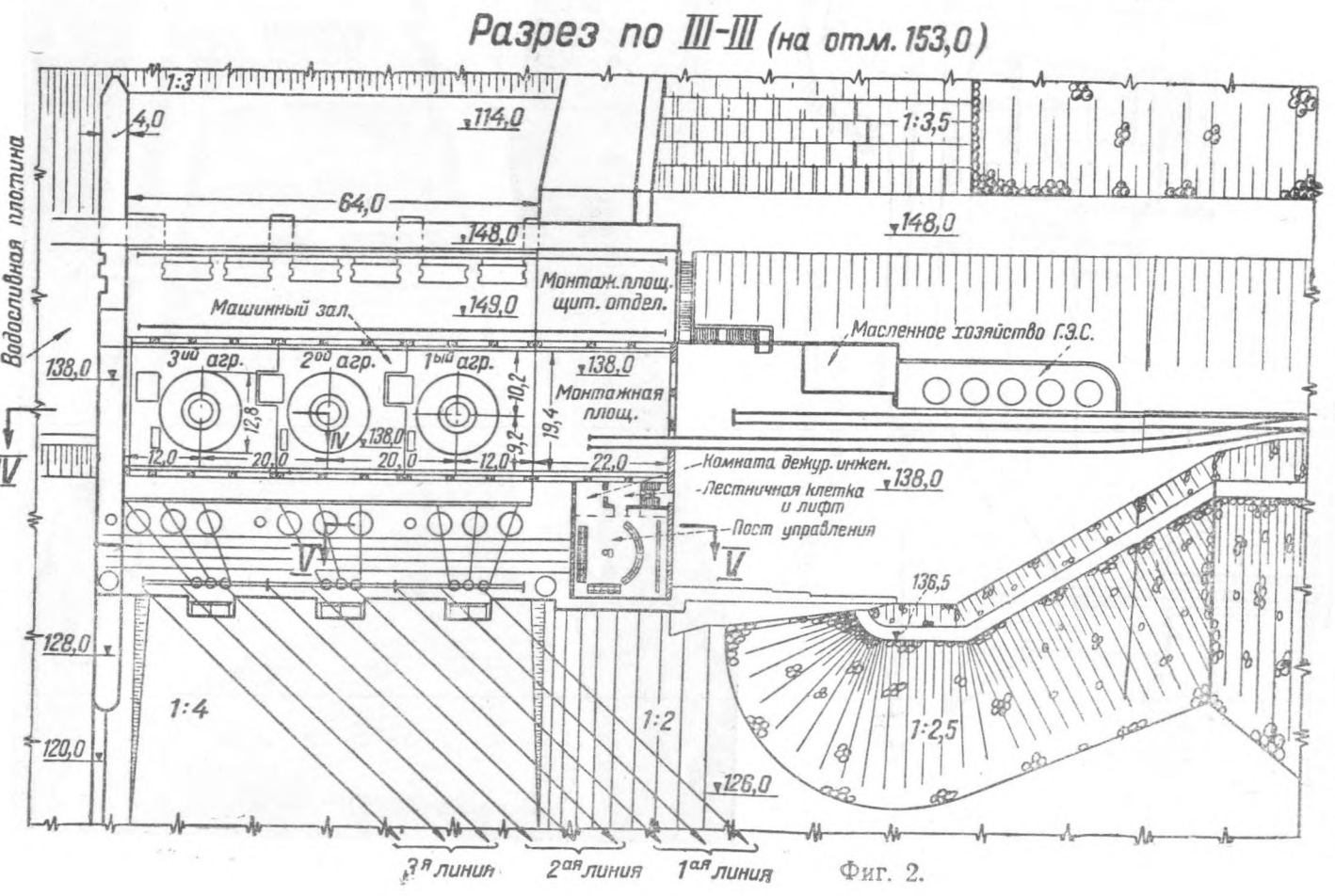
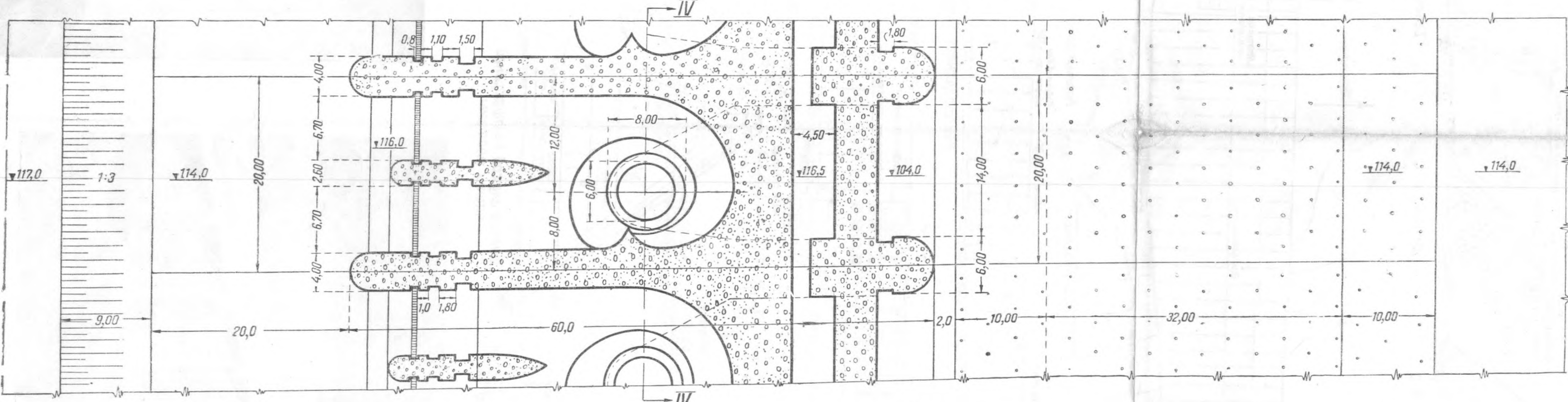
Фиг. 3.



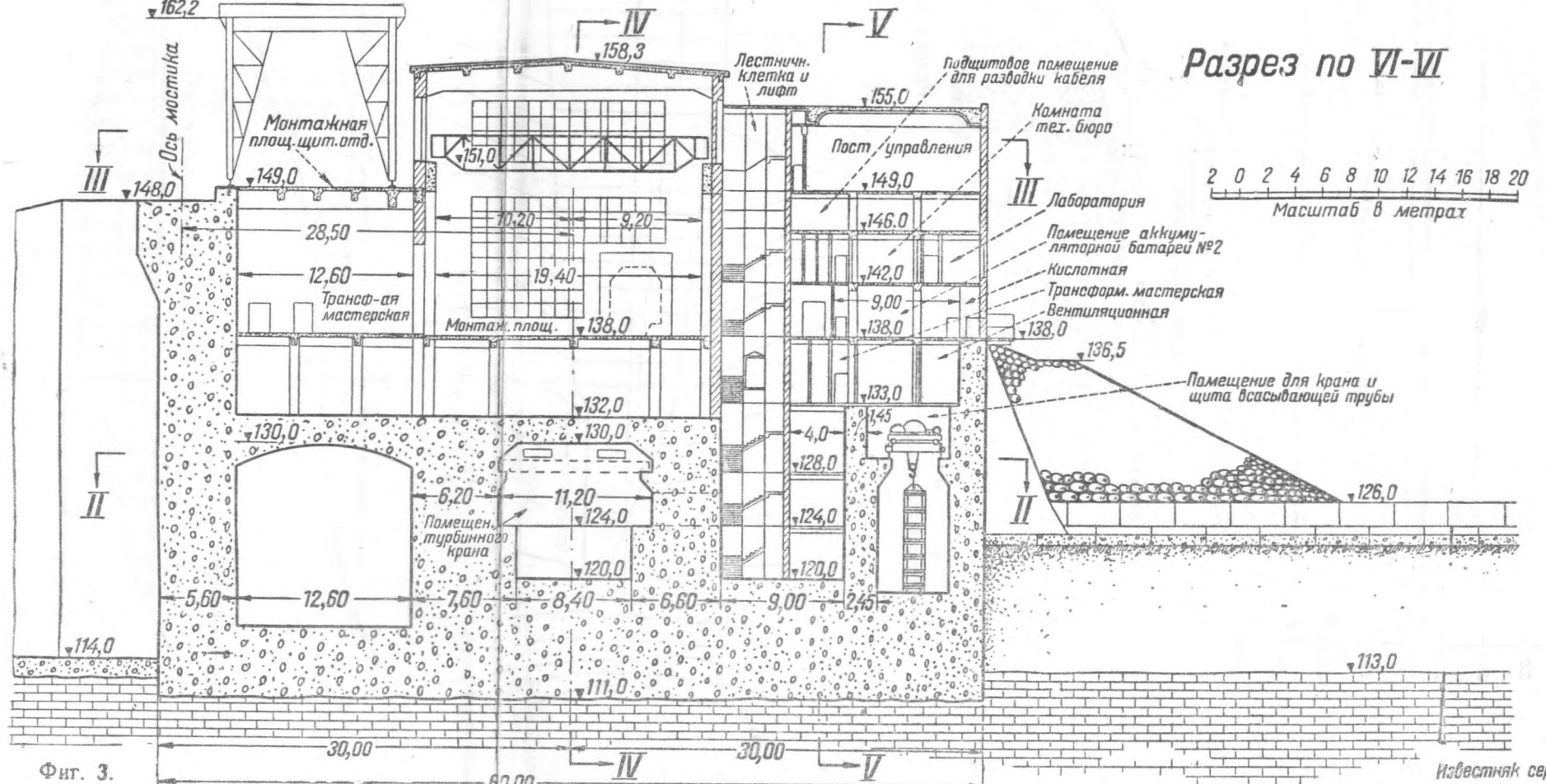
Фиг. 4.



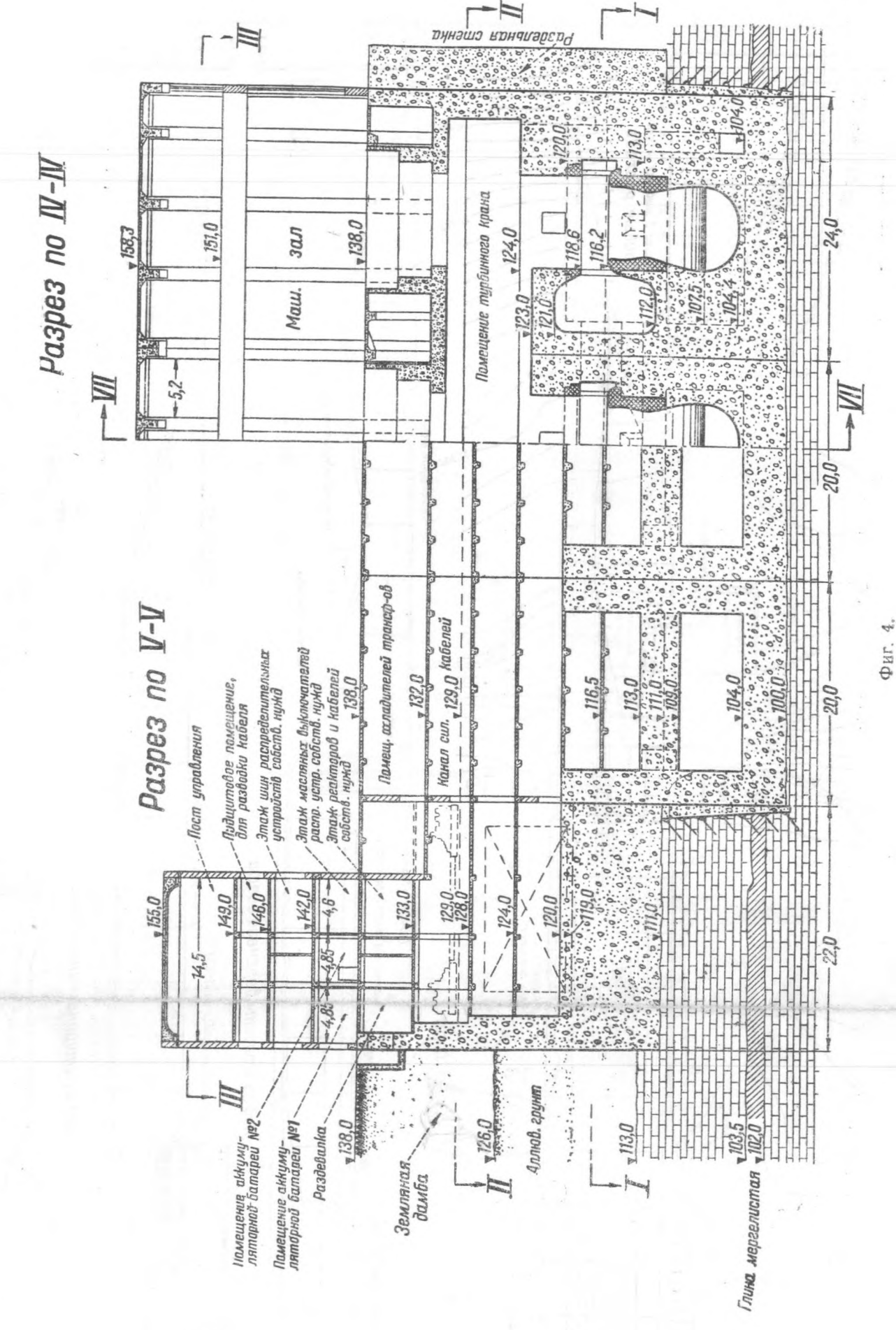
Фиг. 1.



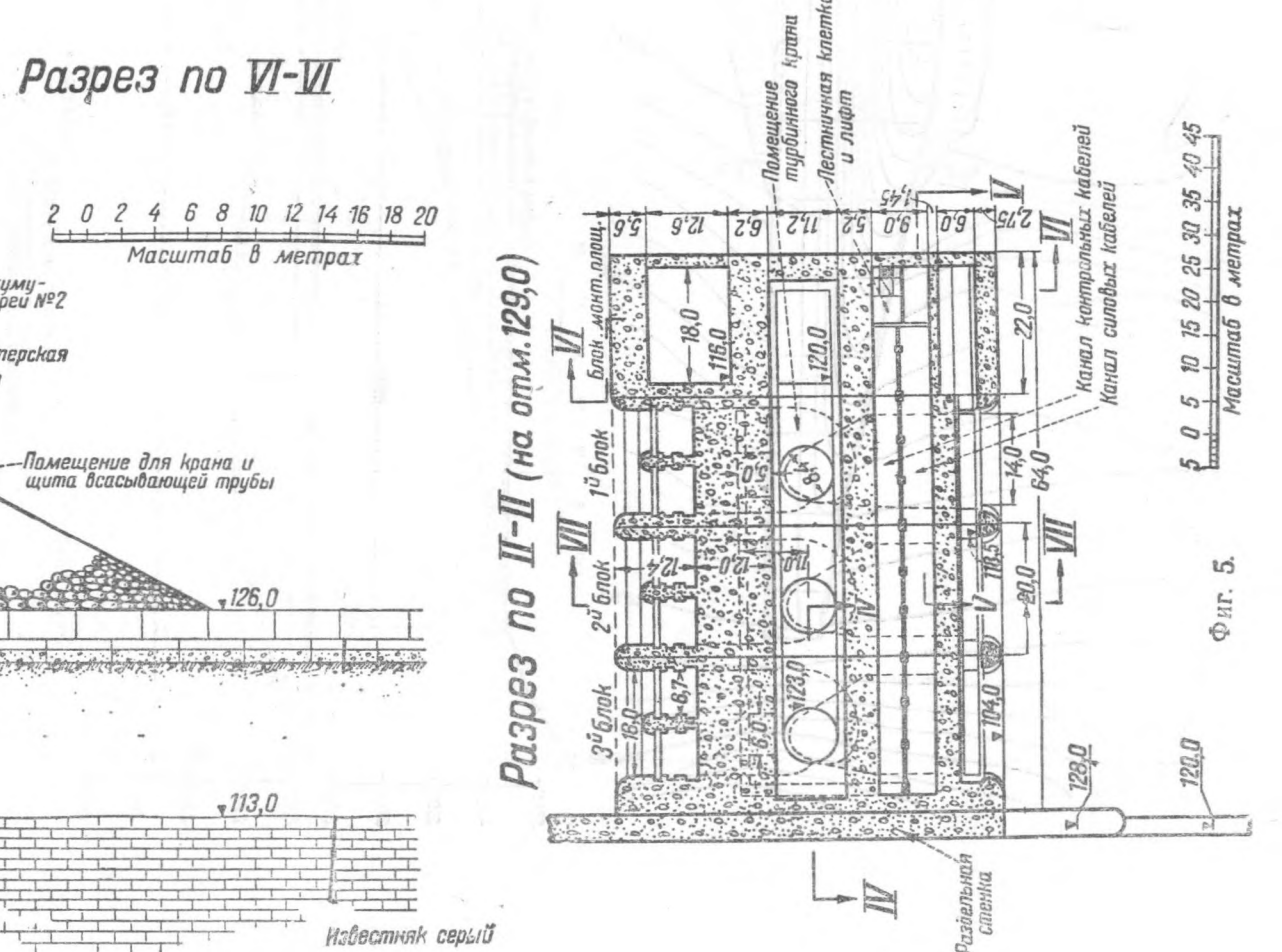
Фиг. 2.



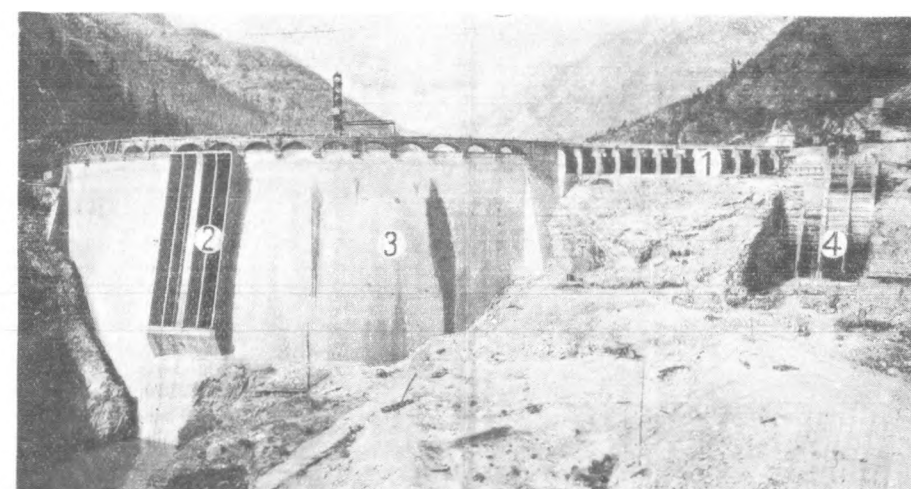
Фиг. 3.



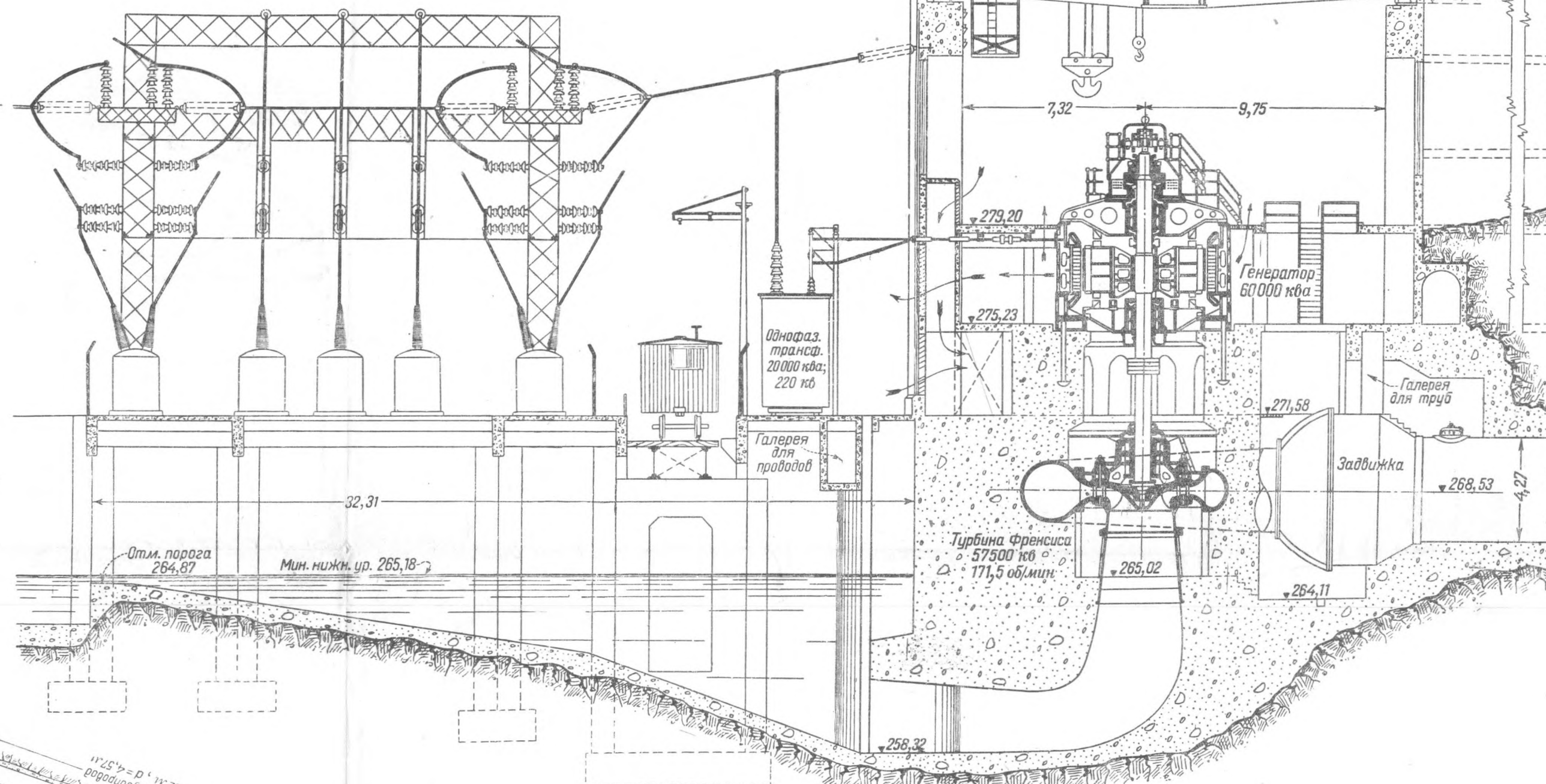
Фиг. 4.



Фиг. 5.

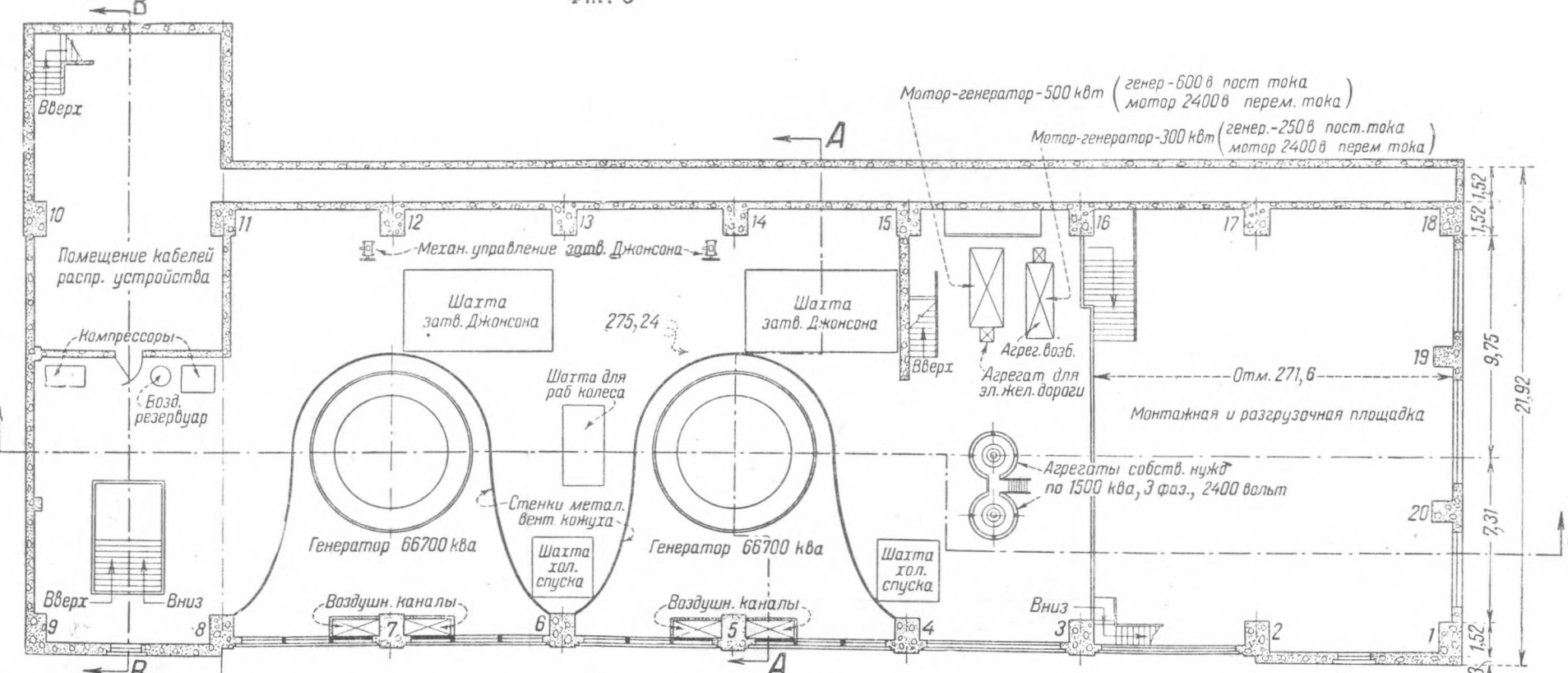


Фиг. 2

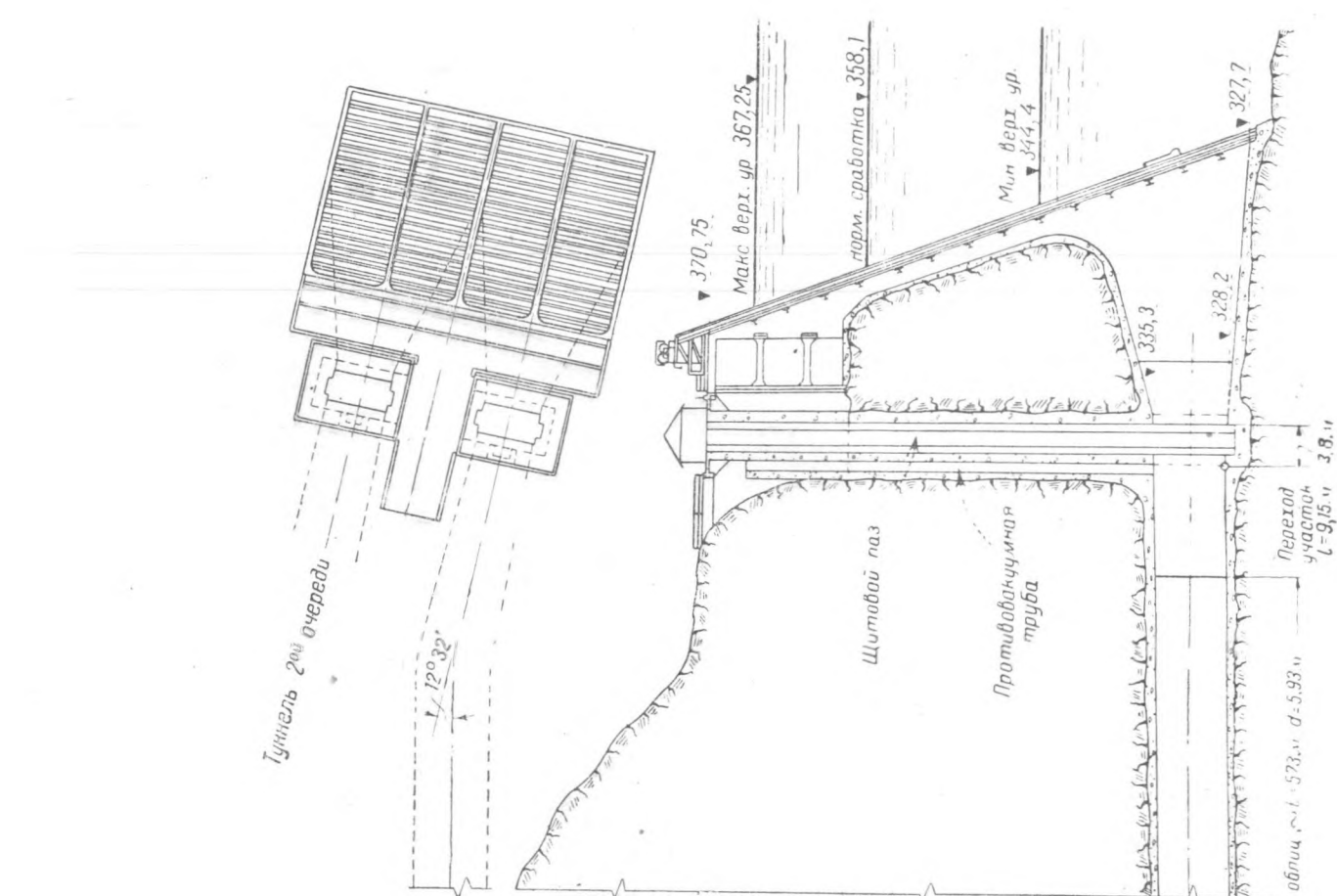


Сечение А-А

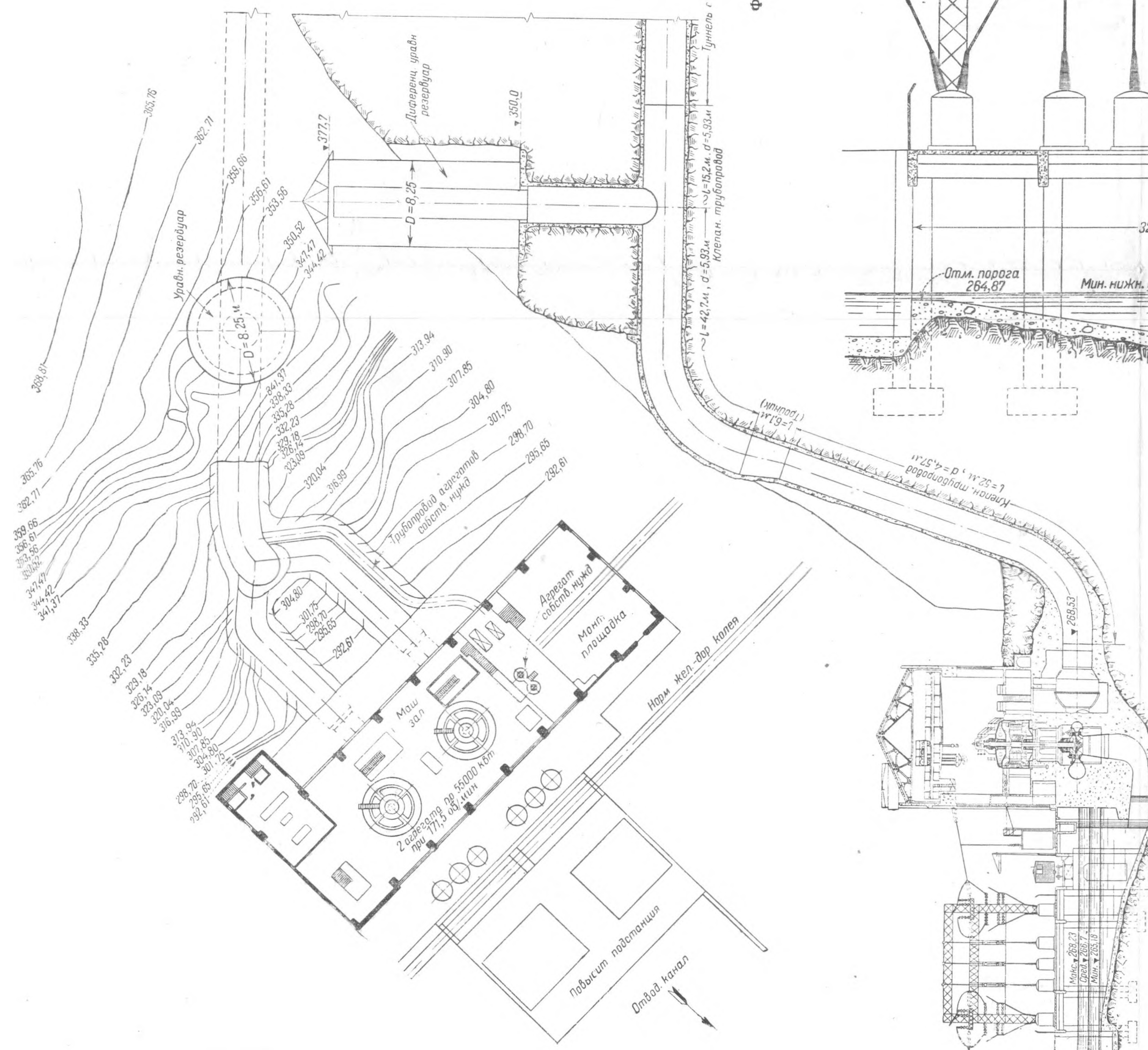
Фиг. 3

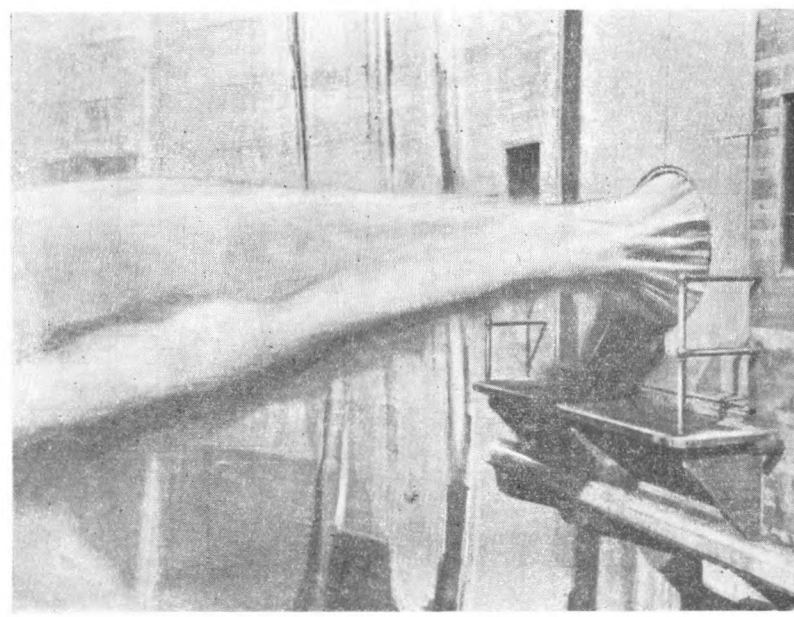
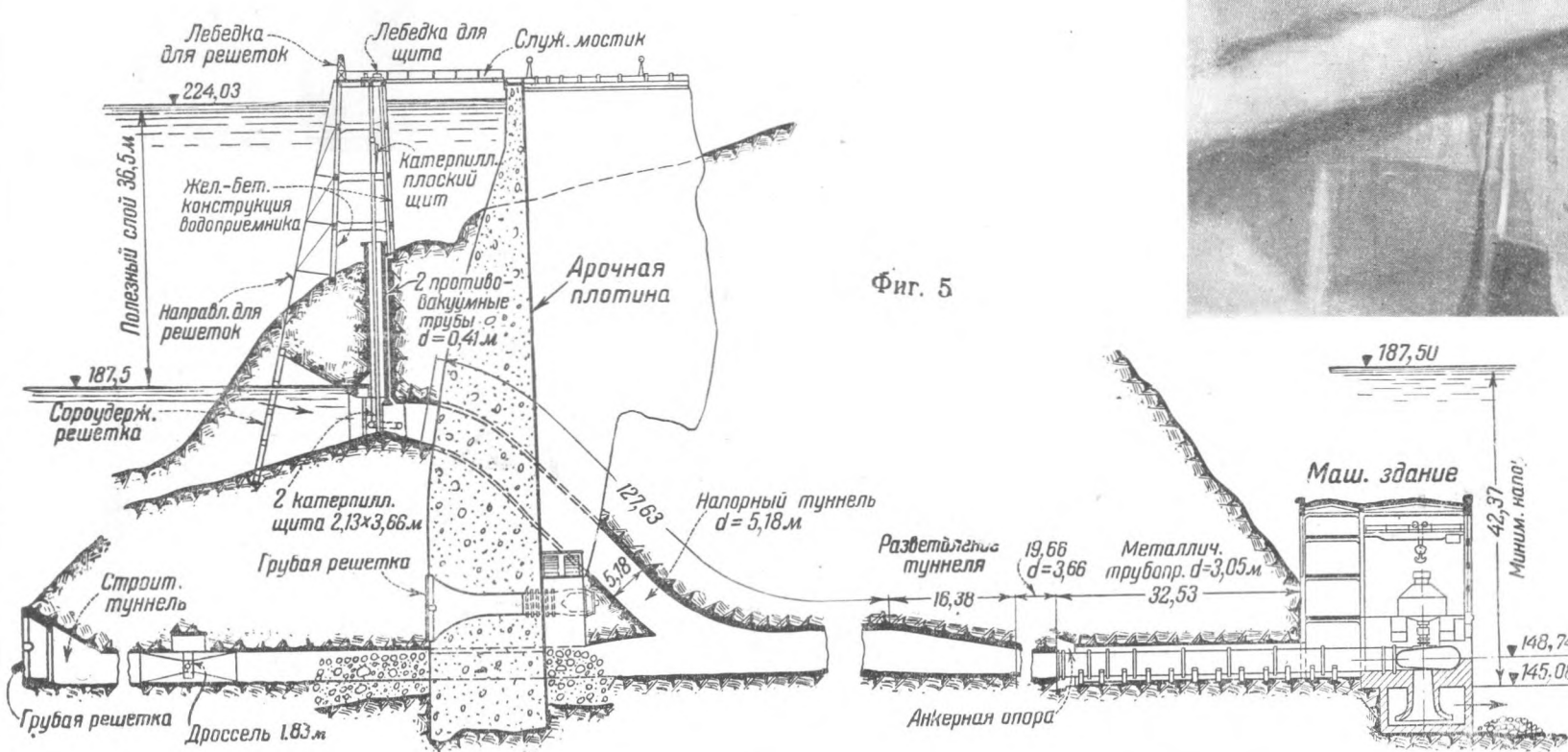
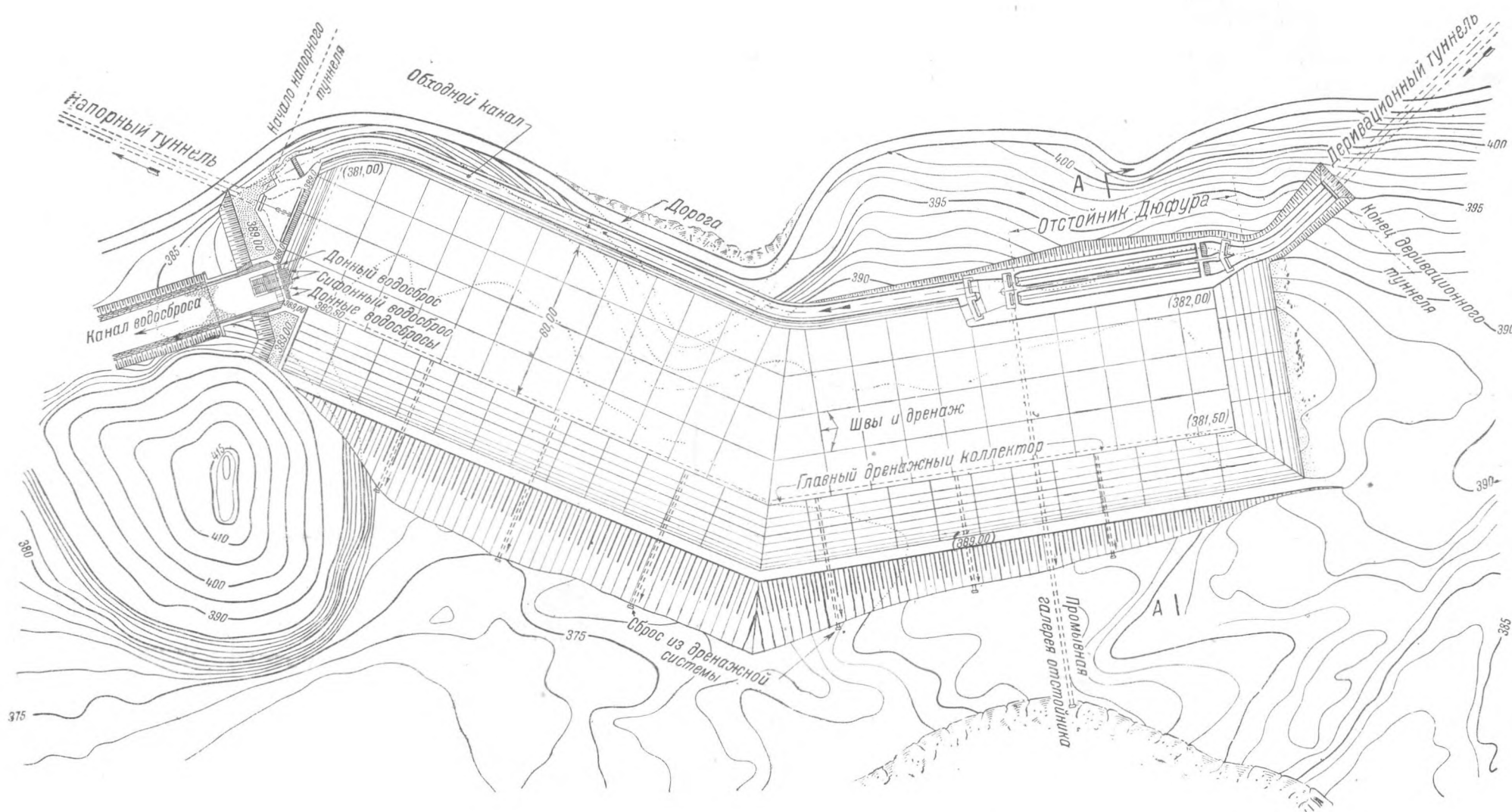


Фиг. 4



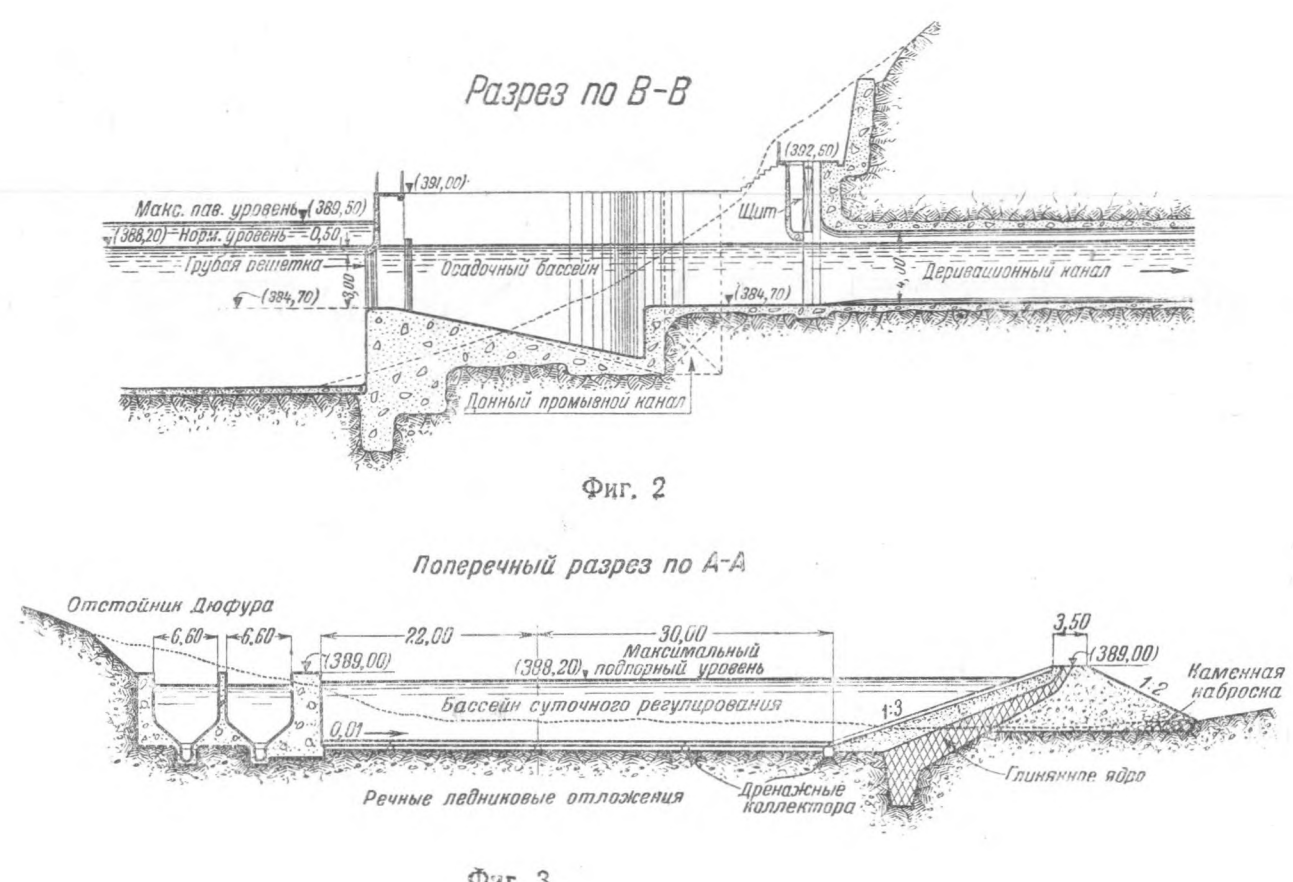
Фиг. 1





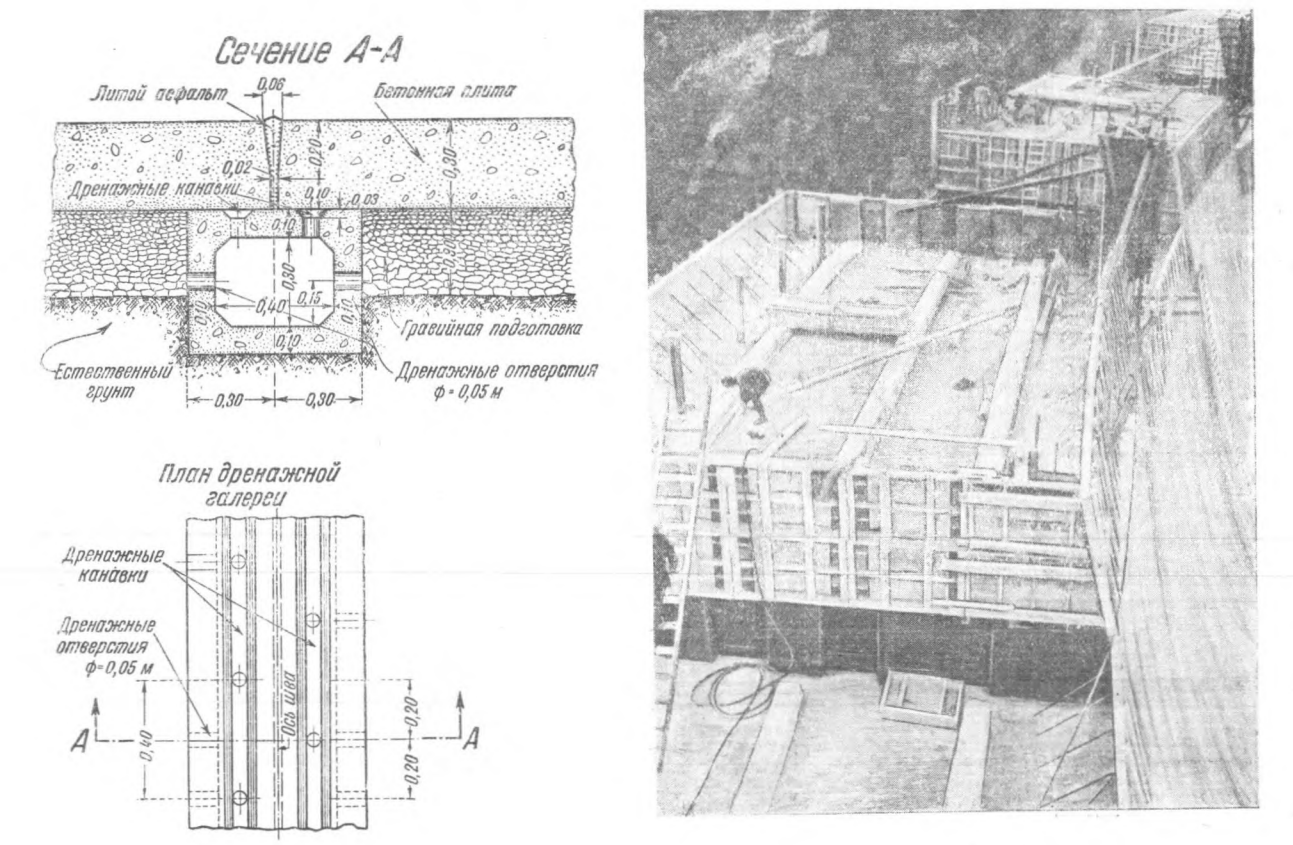
Фиг. 5

Фиг. 7



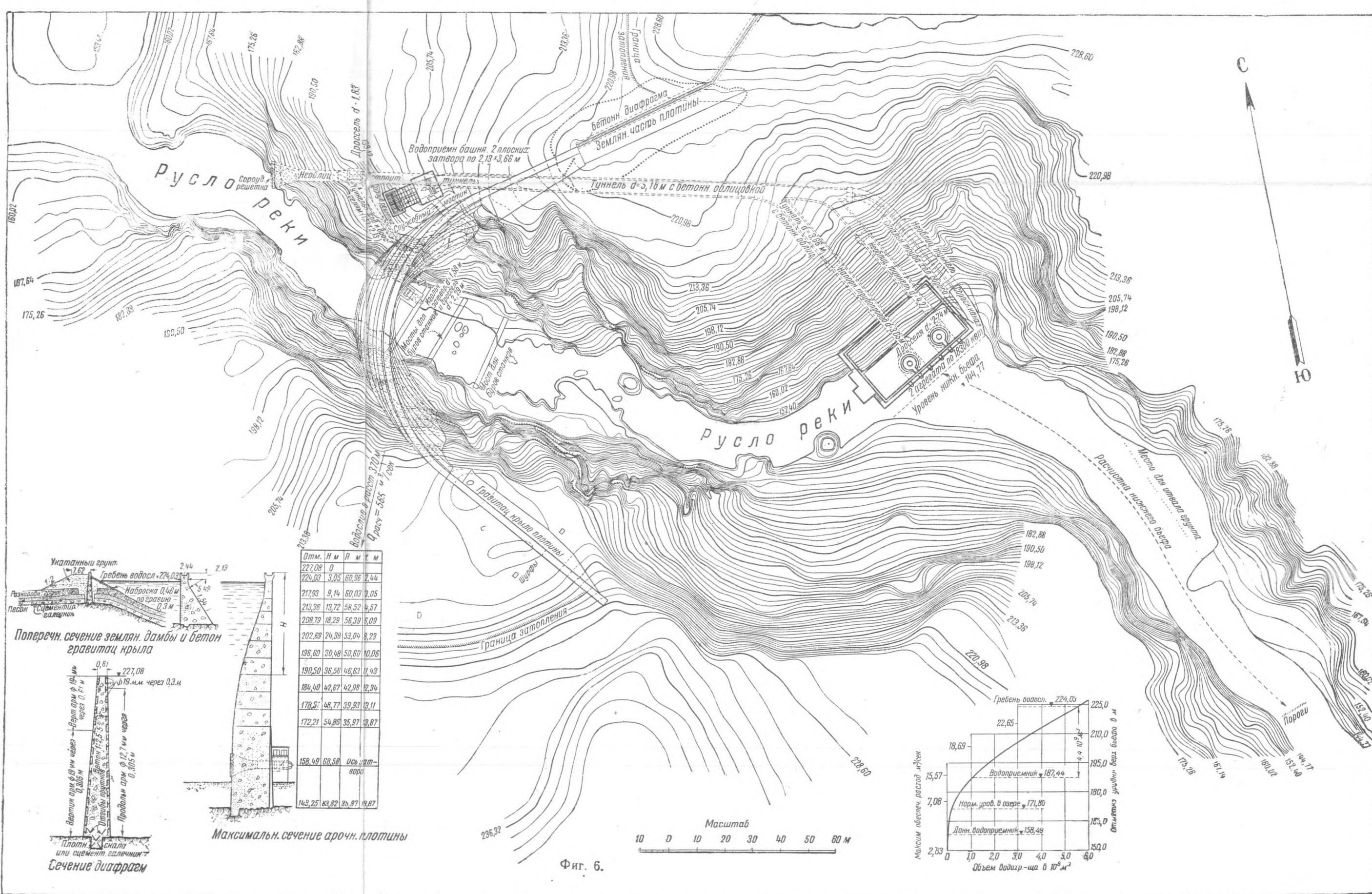
Фиг. 2

Фиг. 3

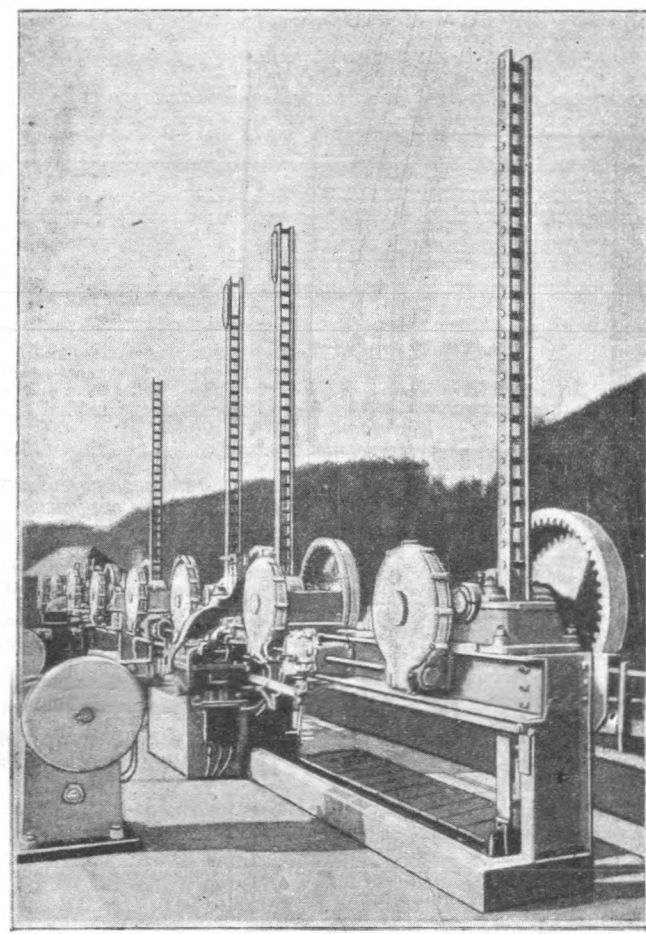


Фиг. 4

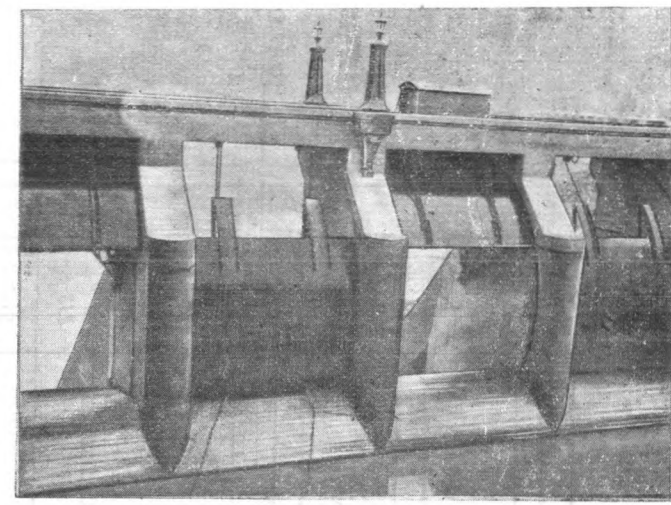
Фиг. 8



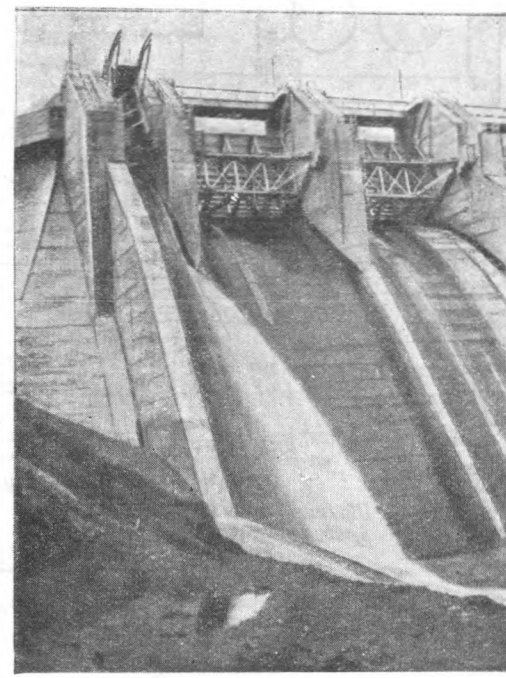
Фиг. 6



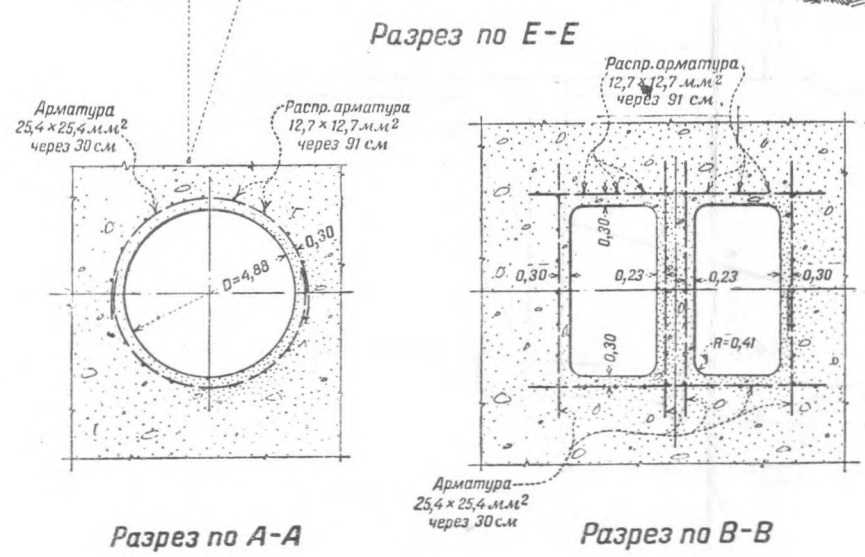
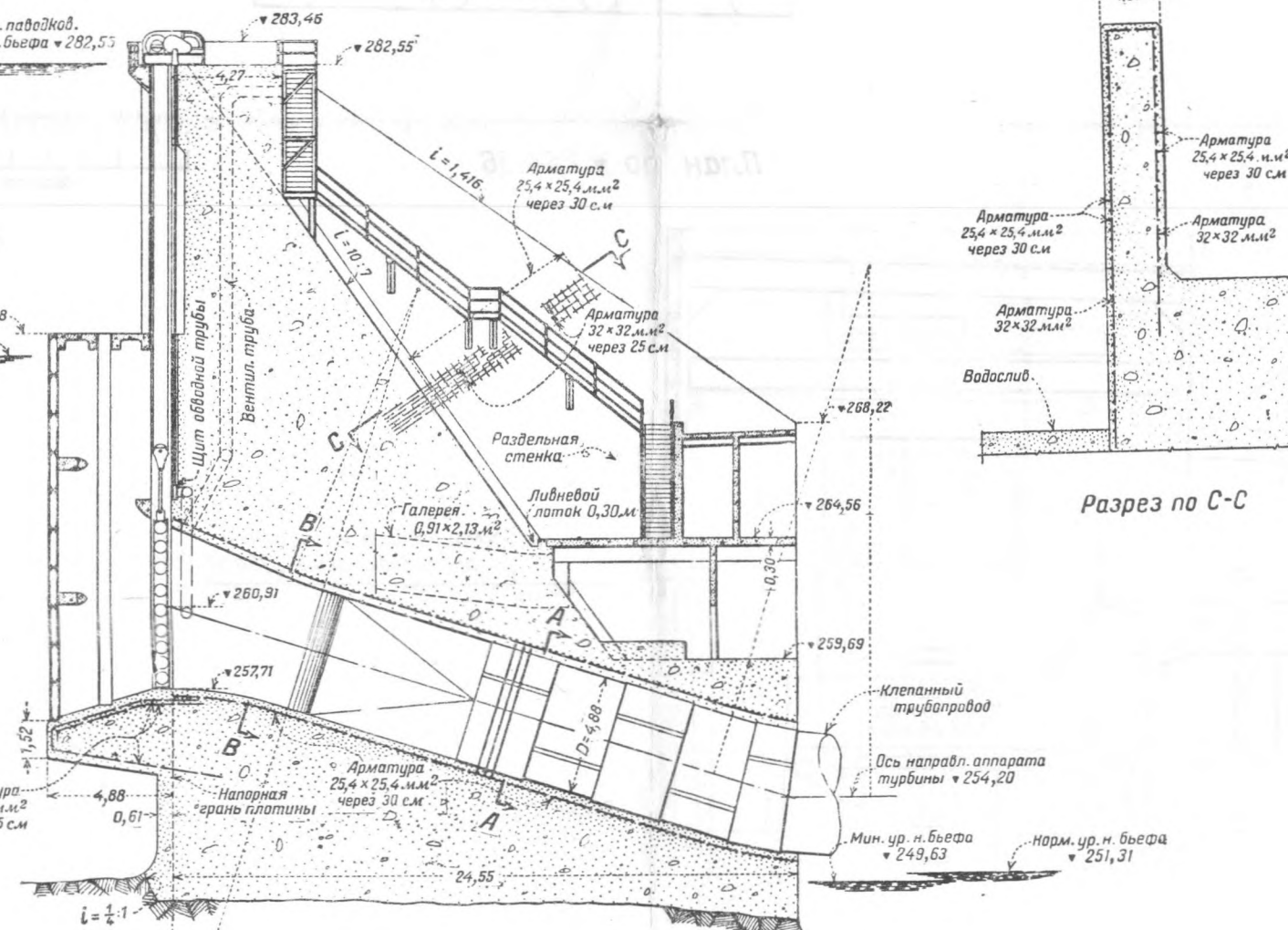
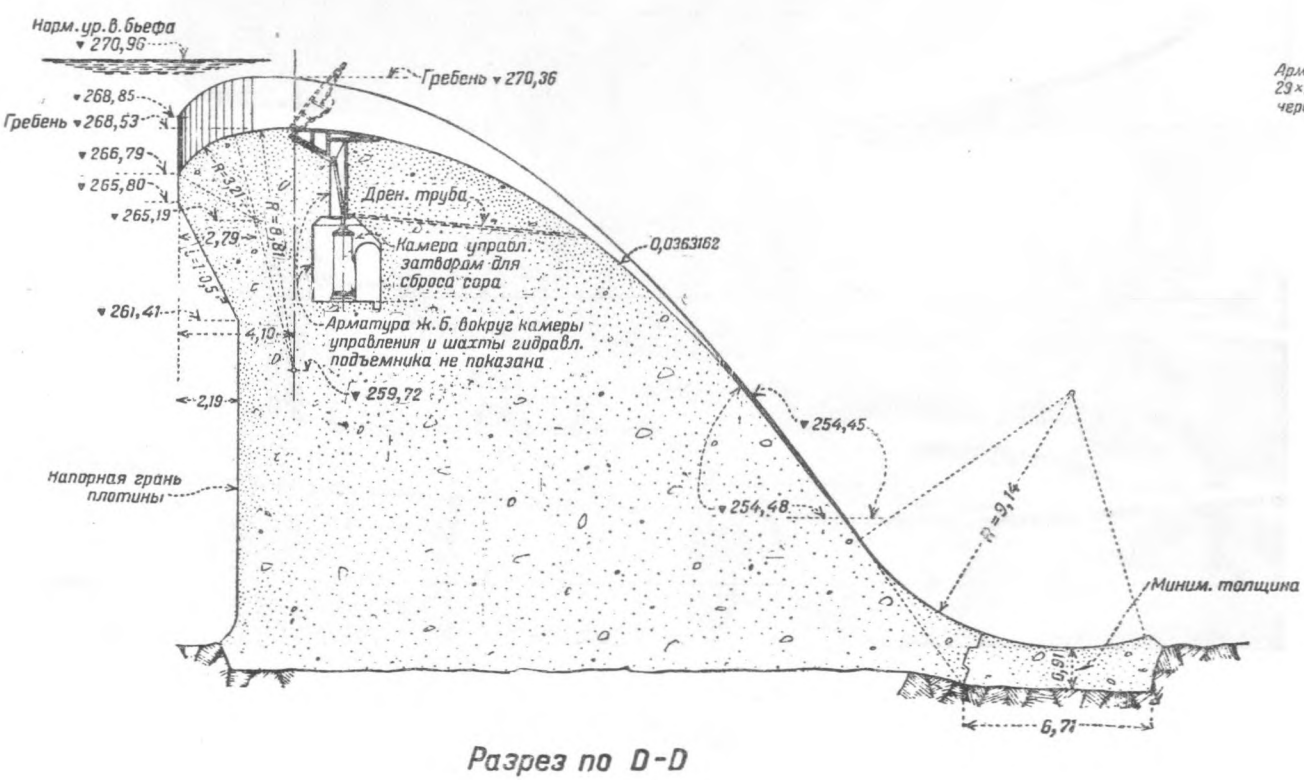
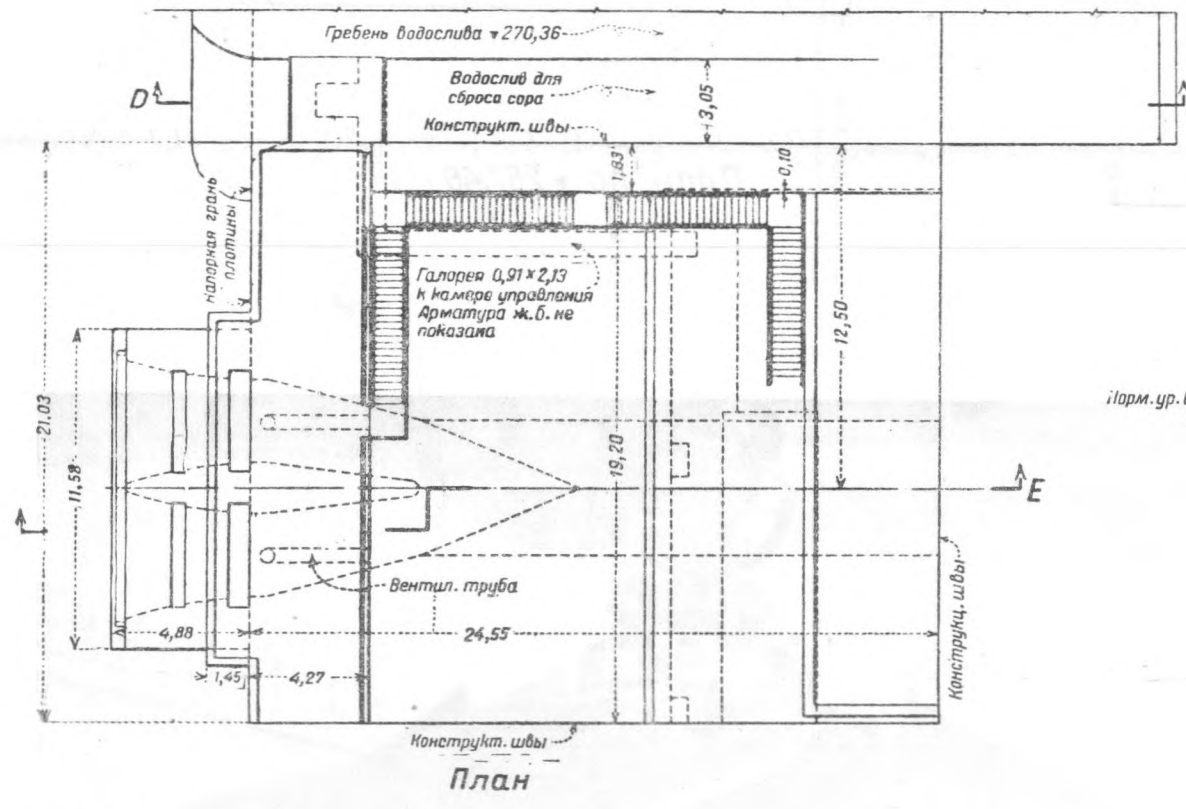
Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 1.

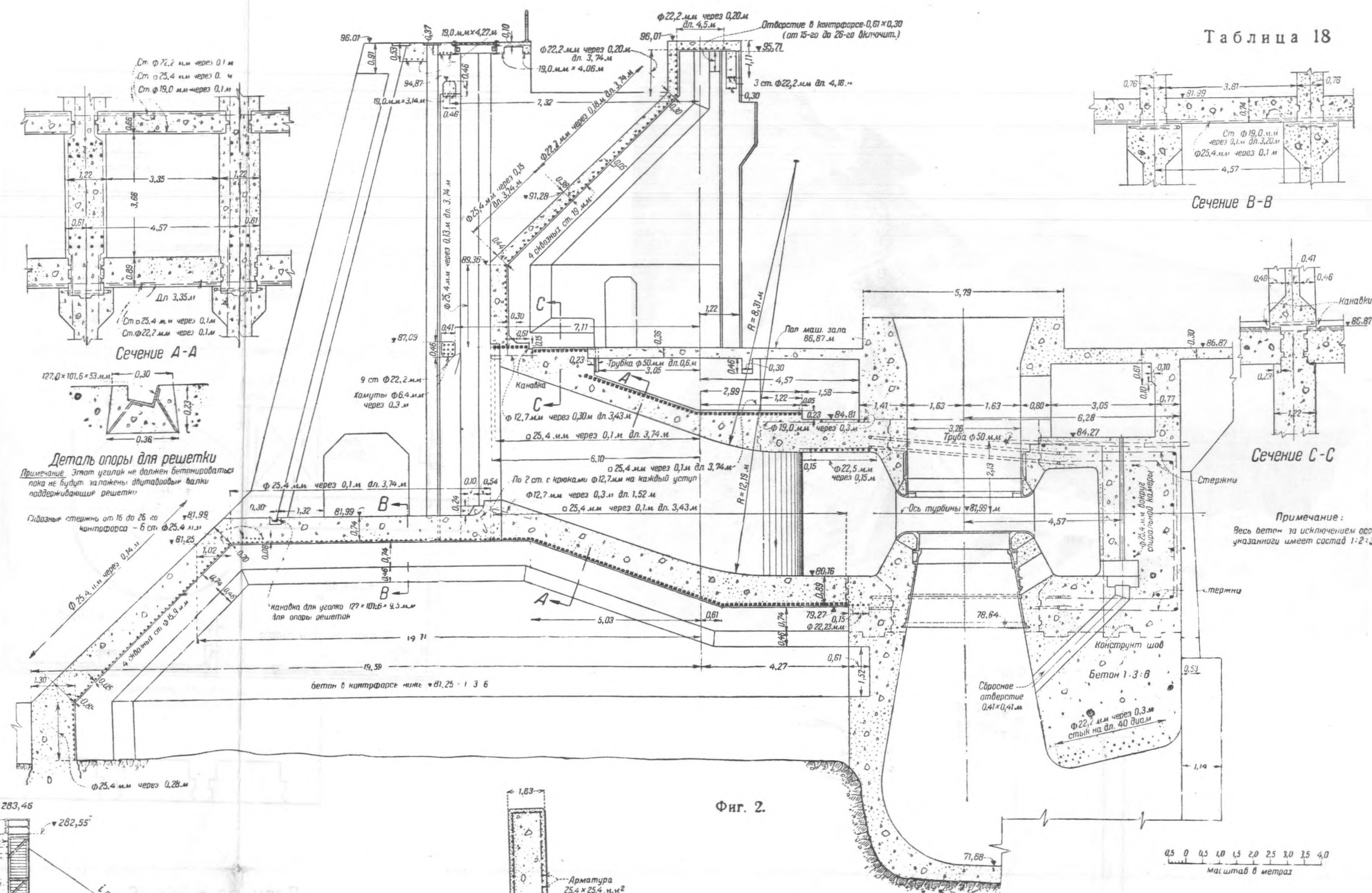
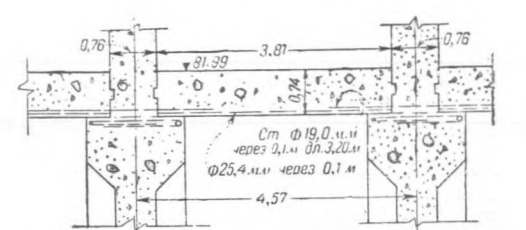
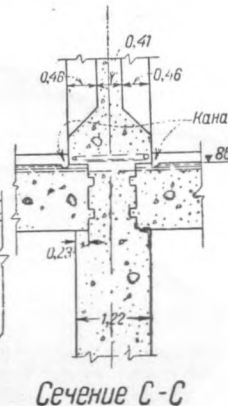


Таблица 18

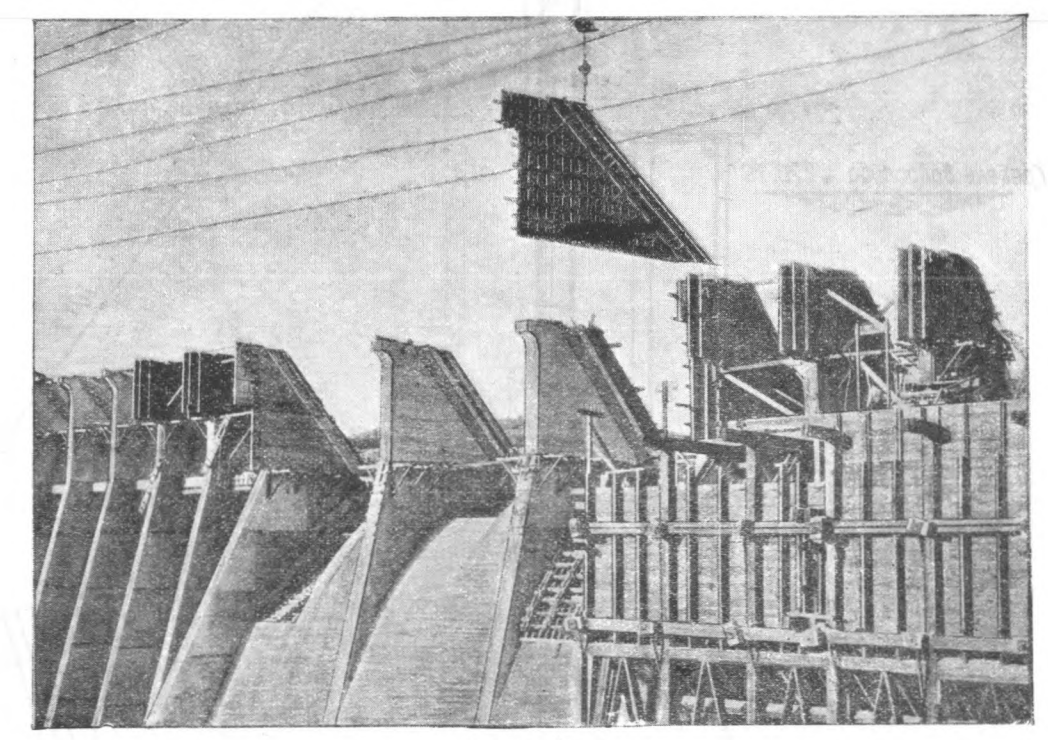


Сечение В-В

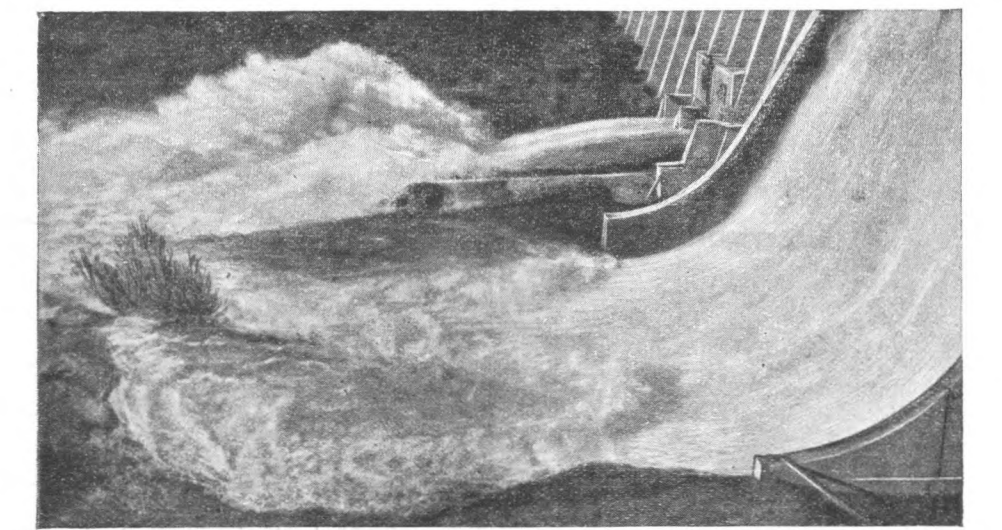


Сечение С-С

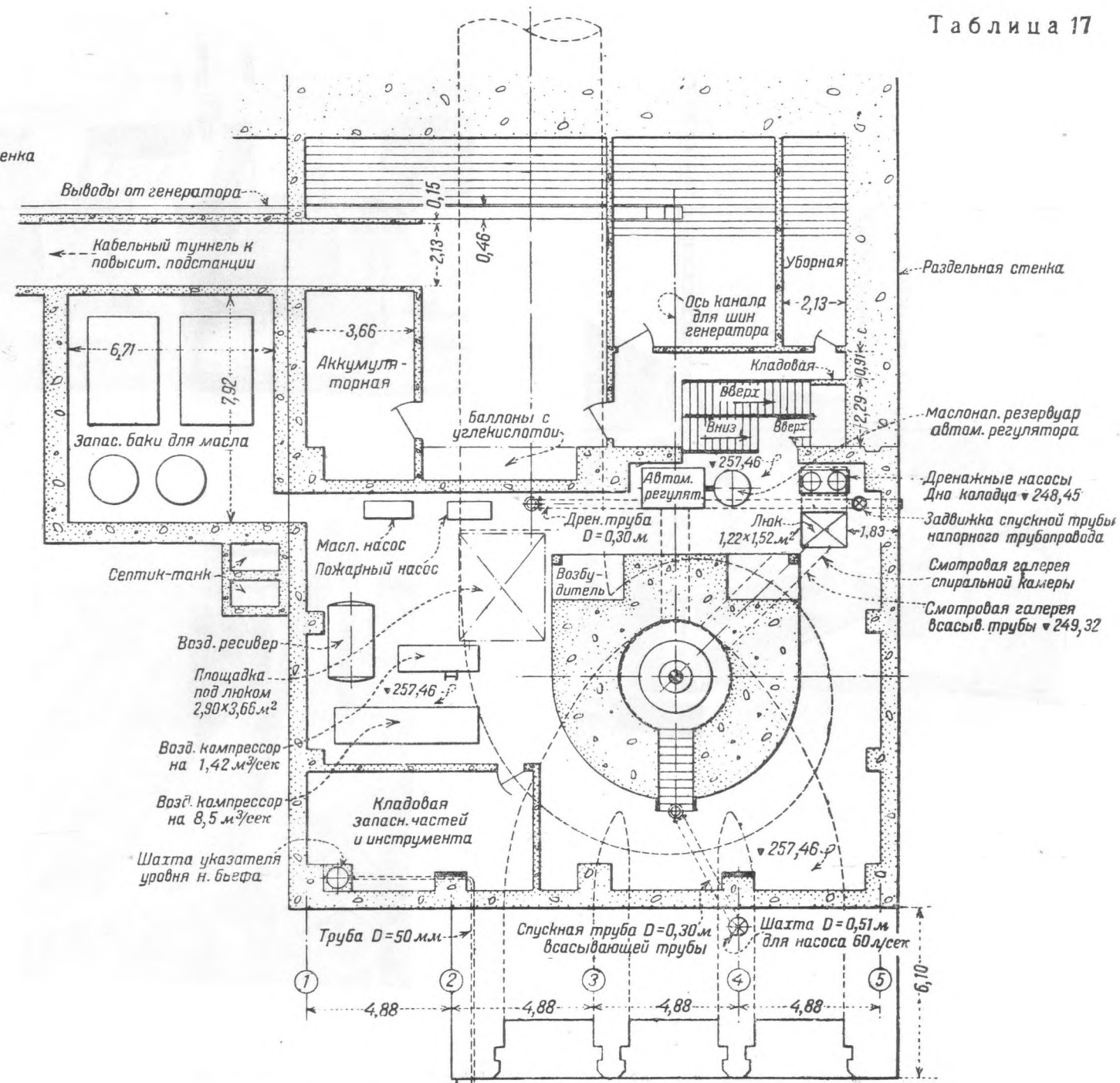
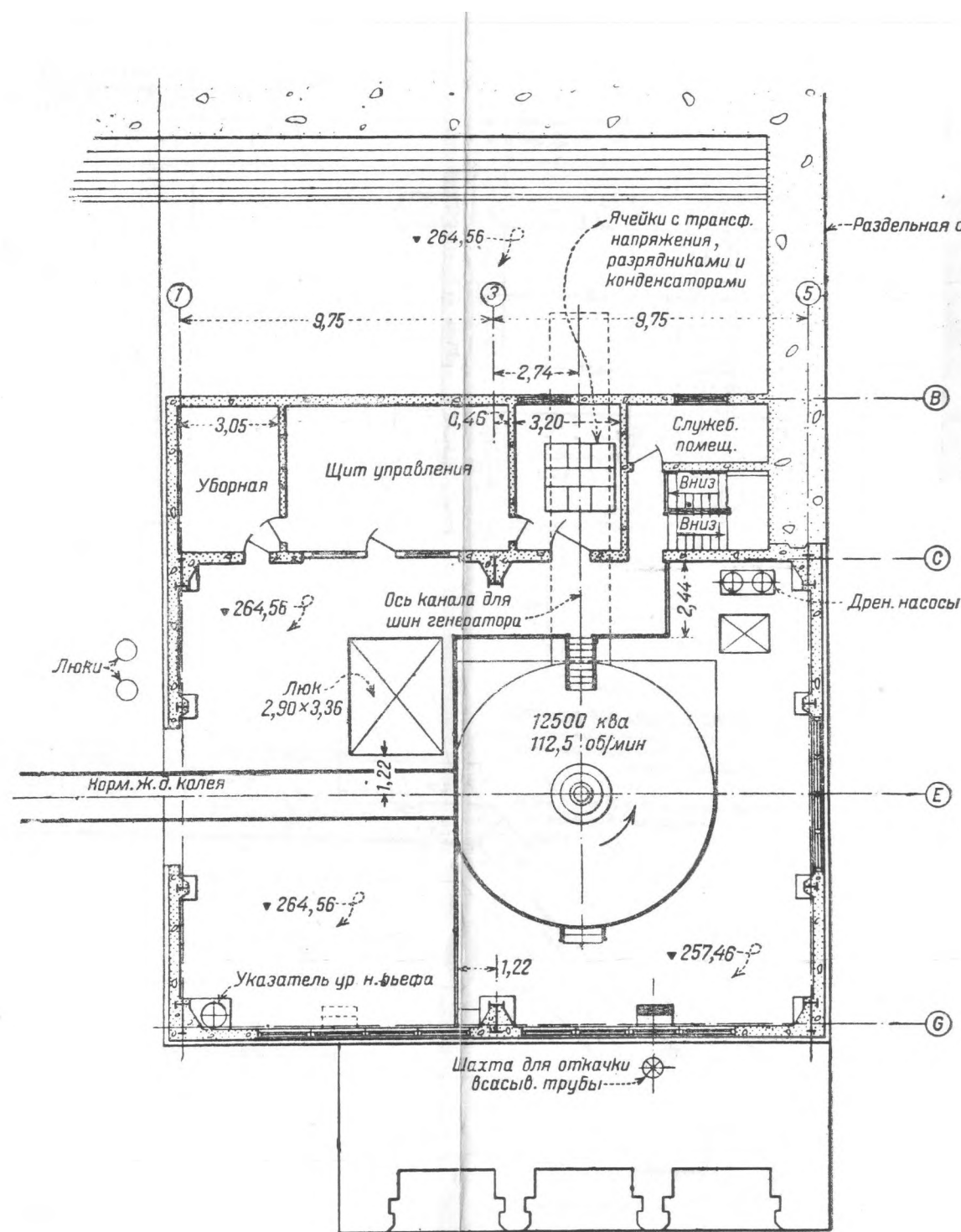
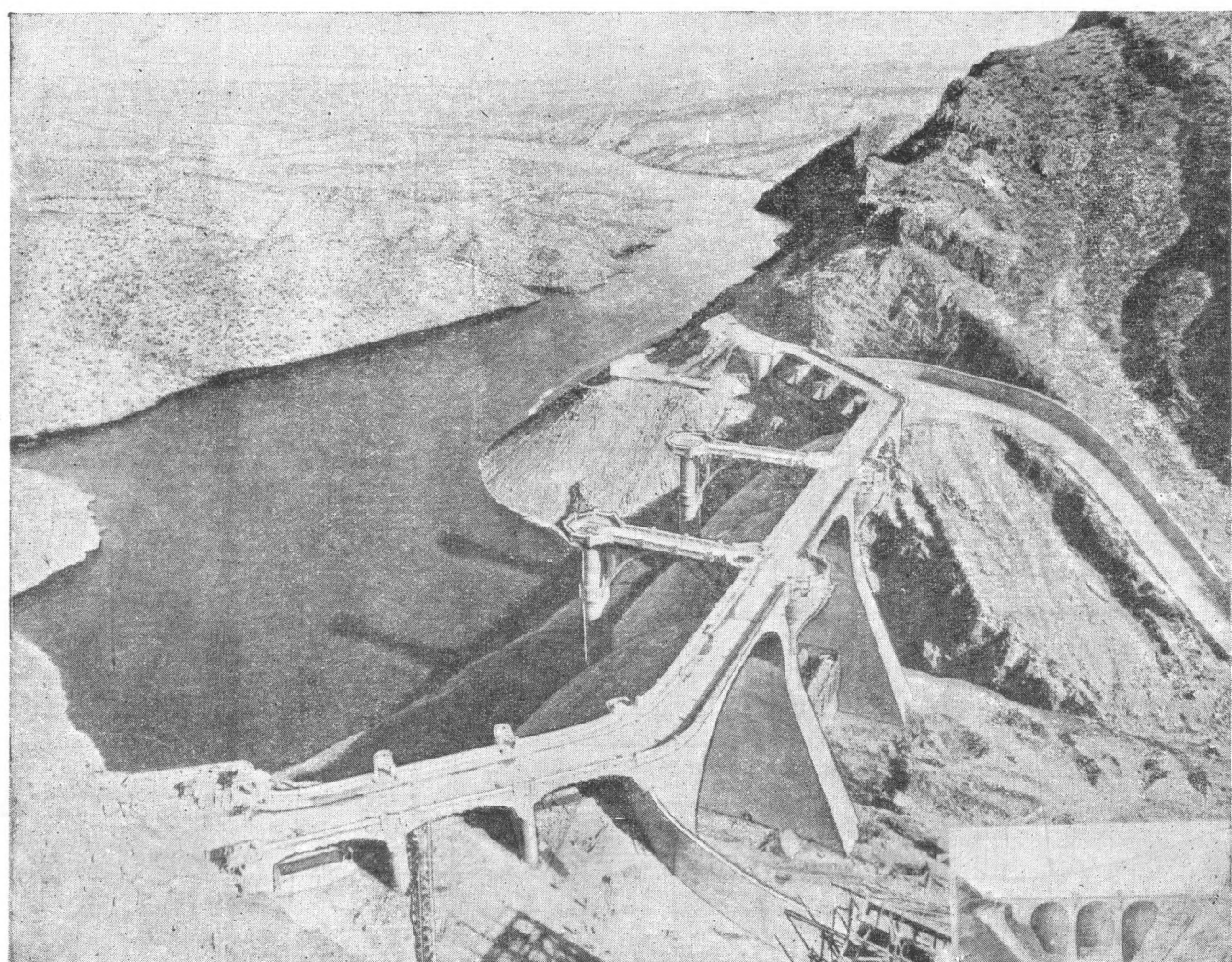
Примечание: Все детали за исключением особо указанного имеют состав 1:2:3



Фиг. 6.



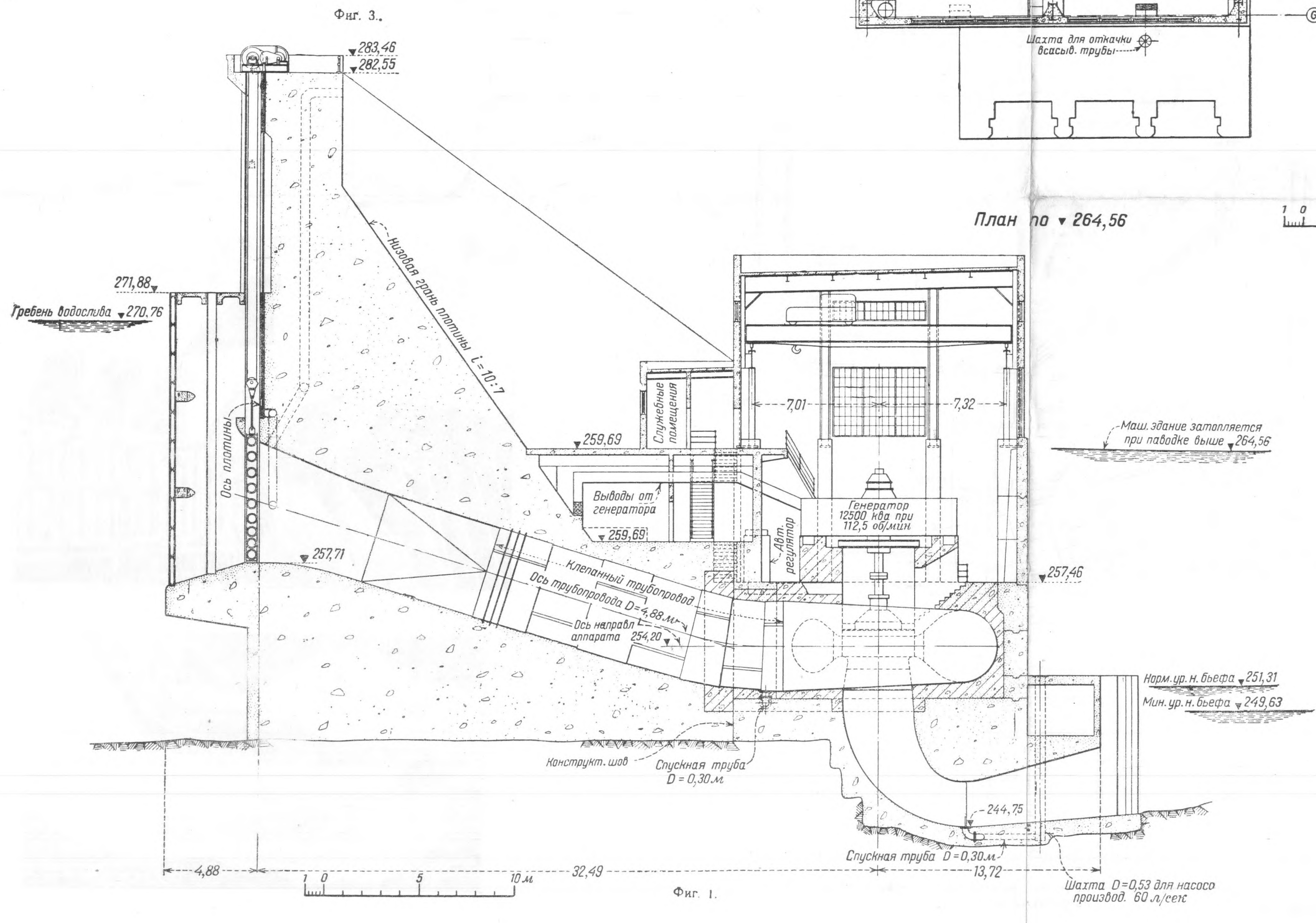
Фиг. 7.



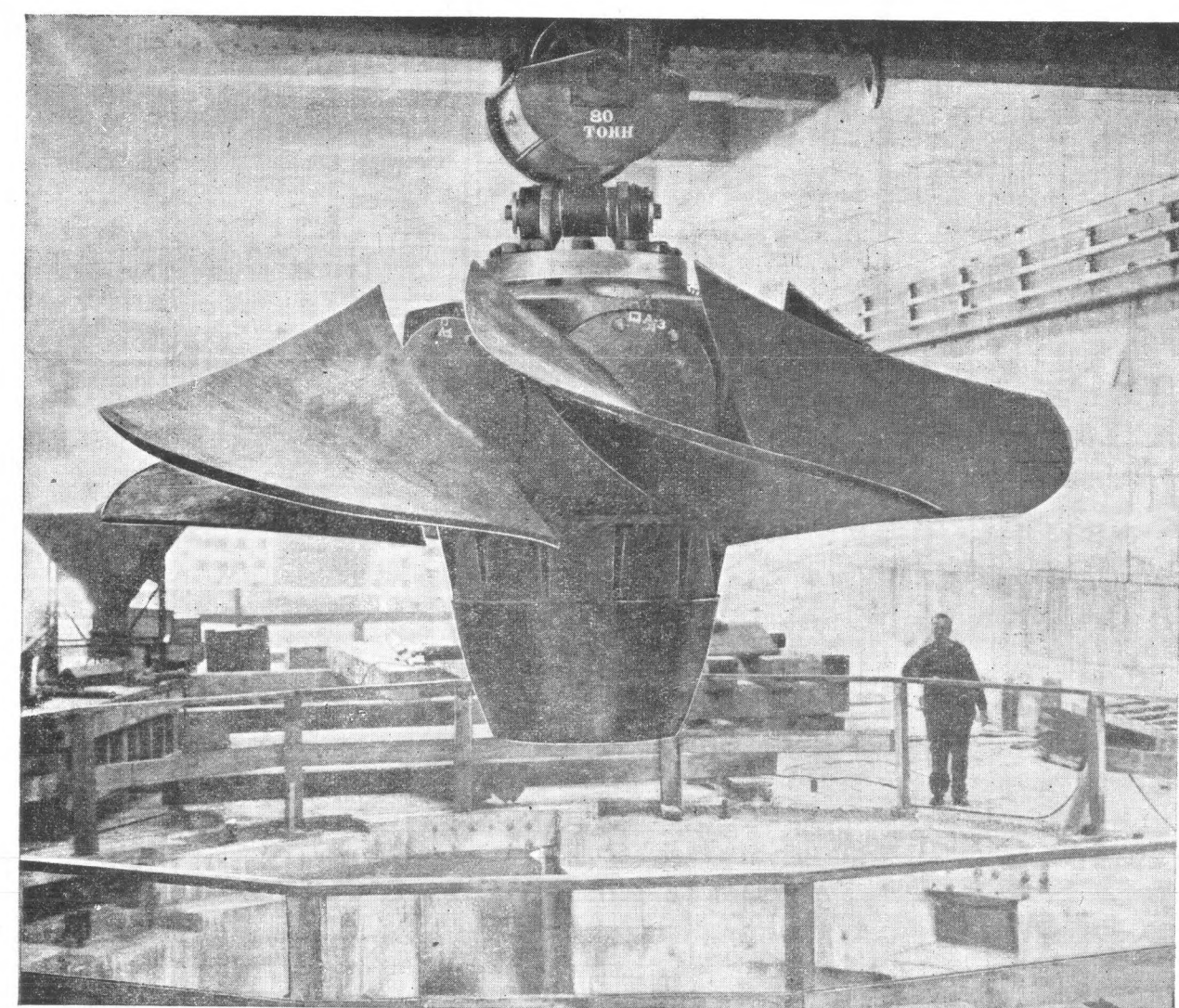
План по 264,56

План по 257,46

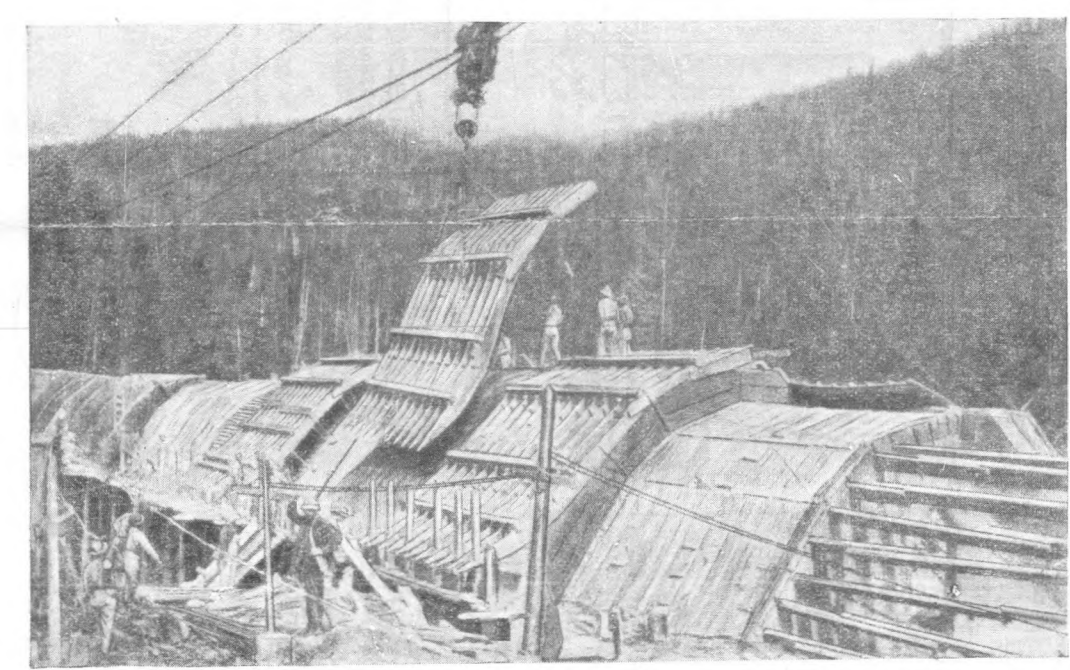
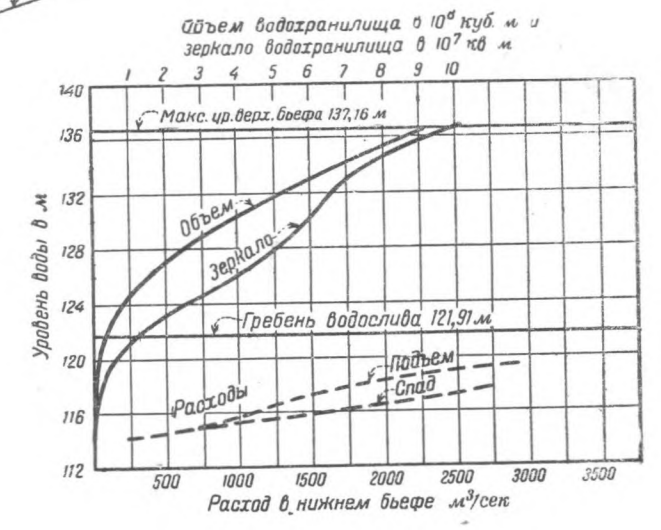
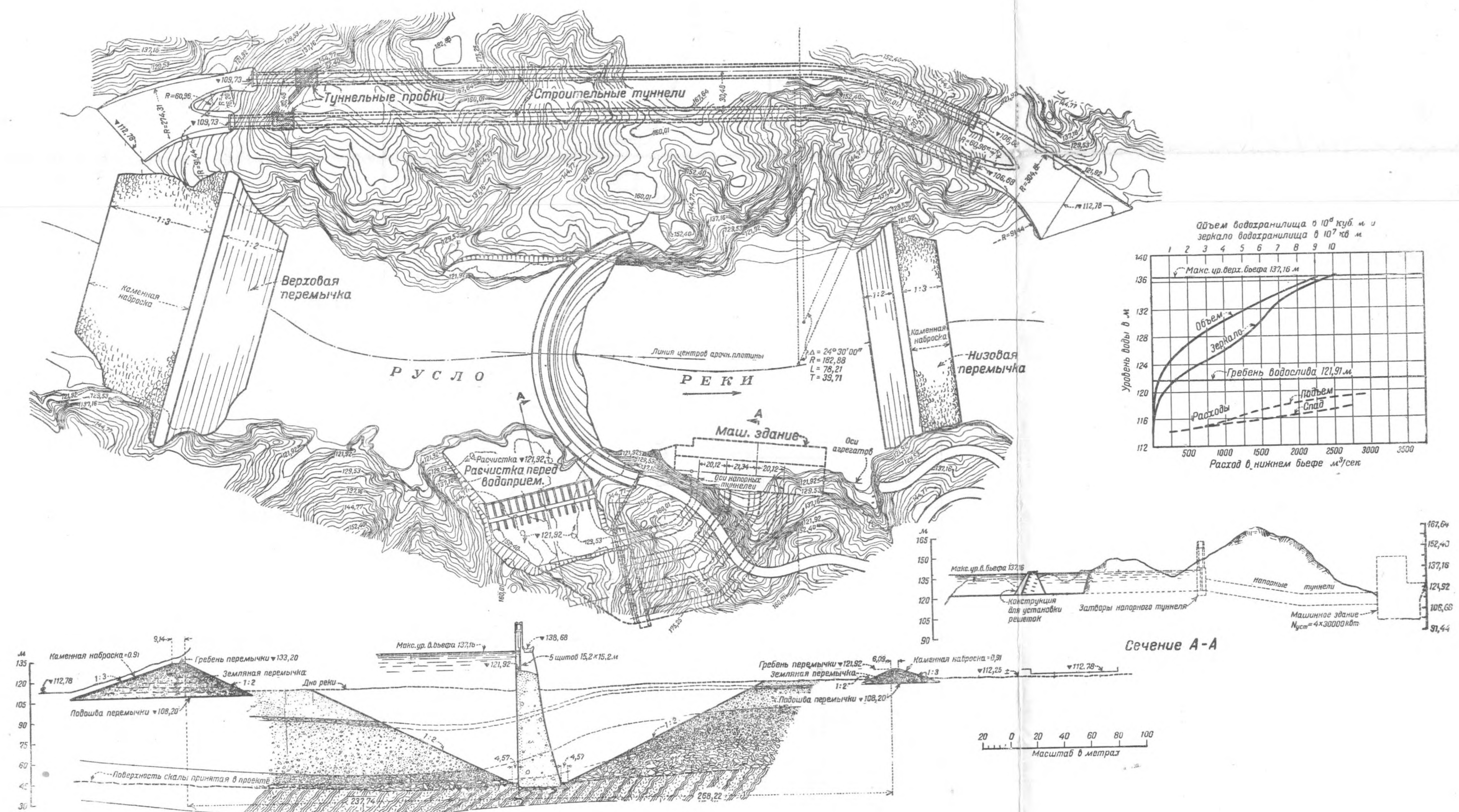
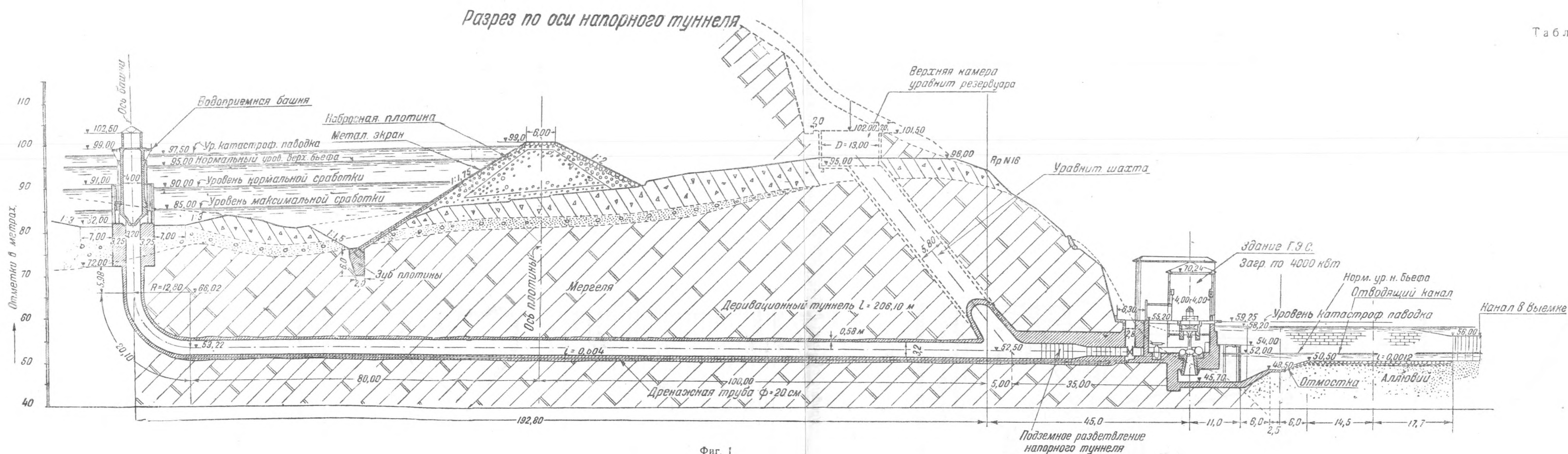
Фиг. 2.



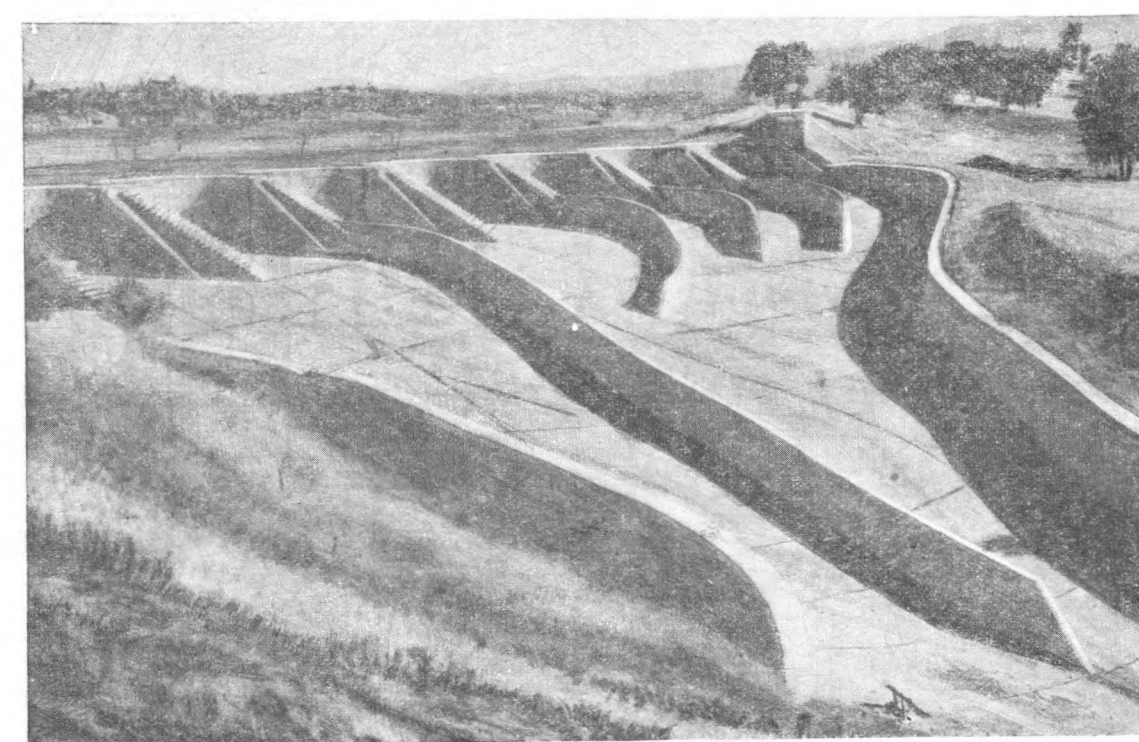
Фиг. 1.



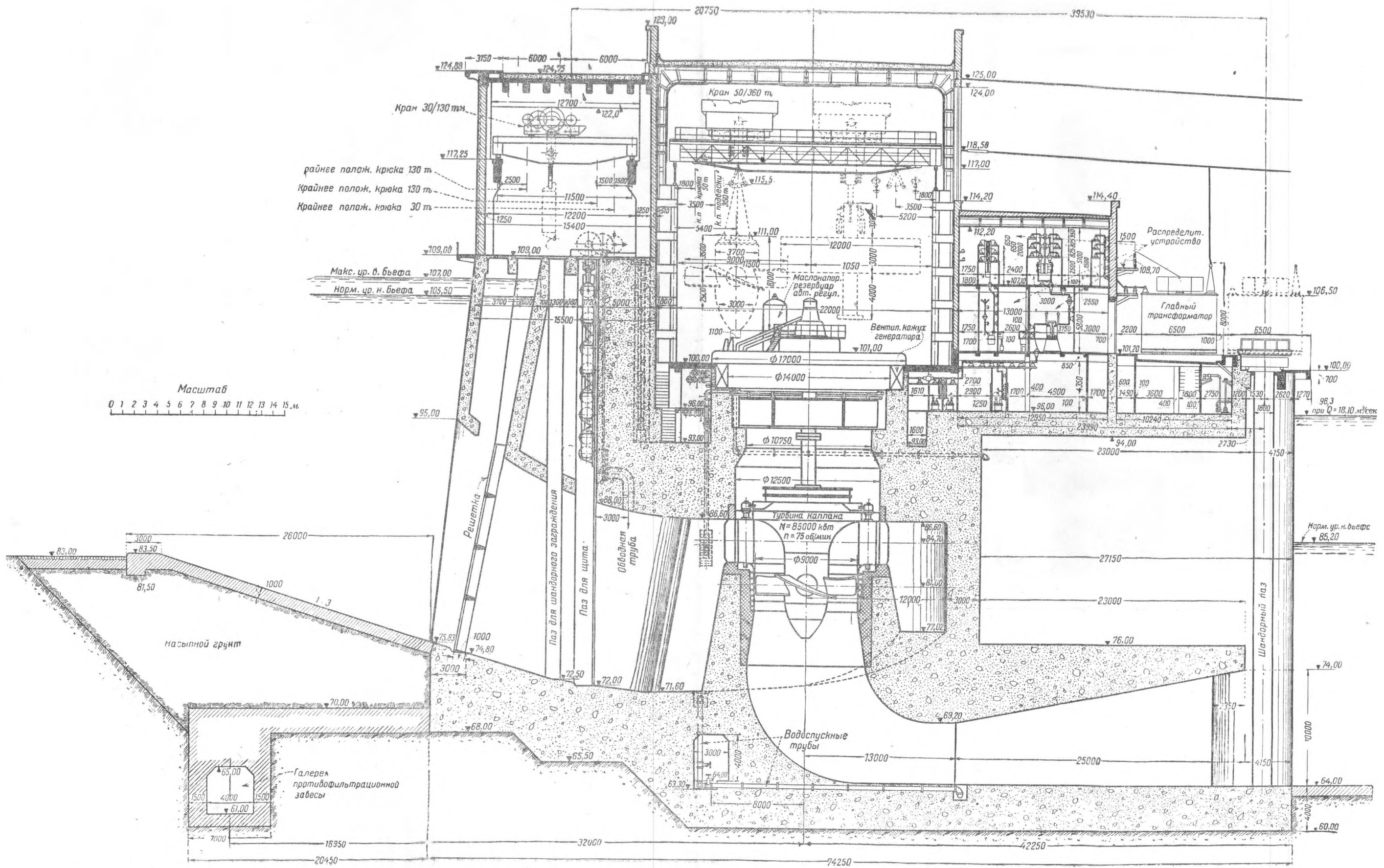
Фиг. 4.



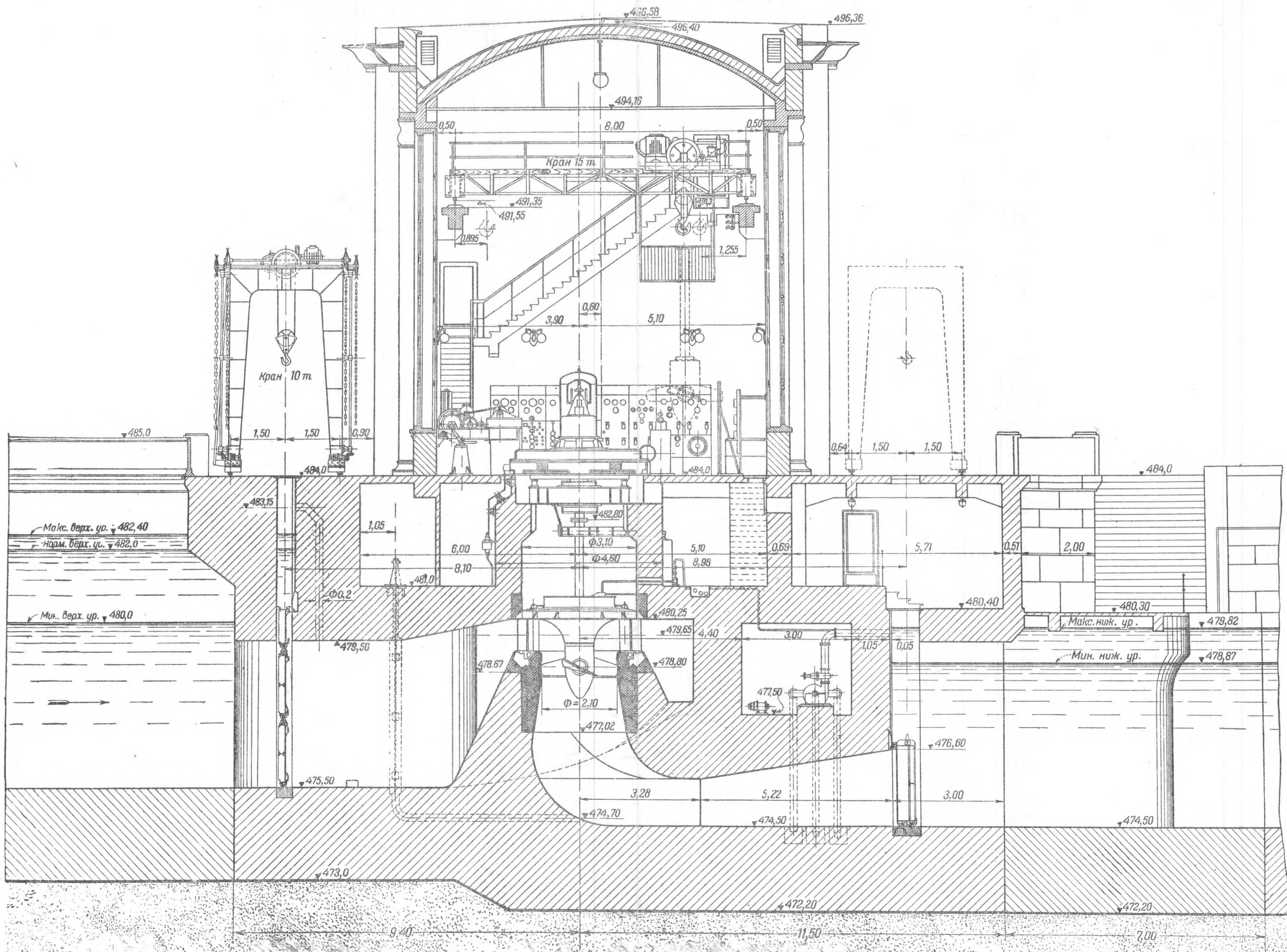
Фиг. 3



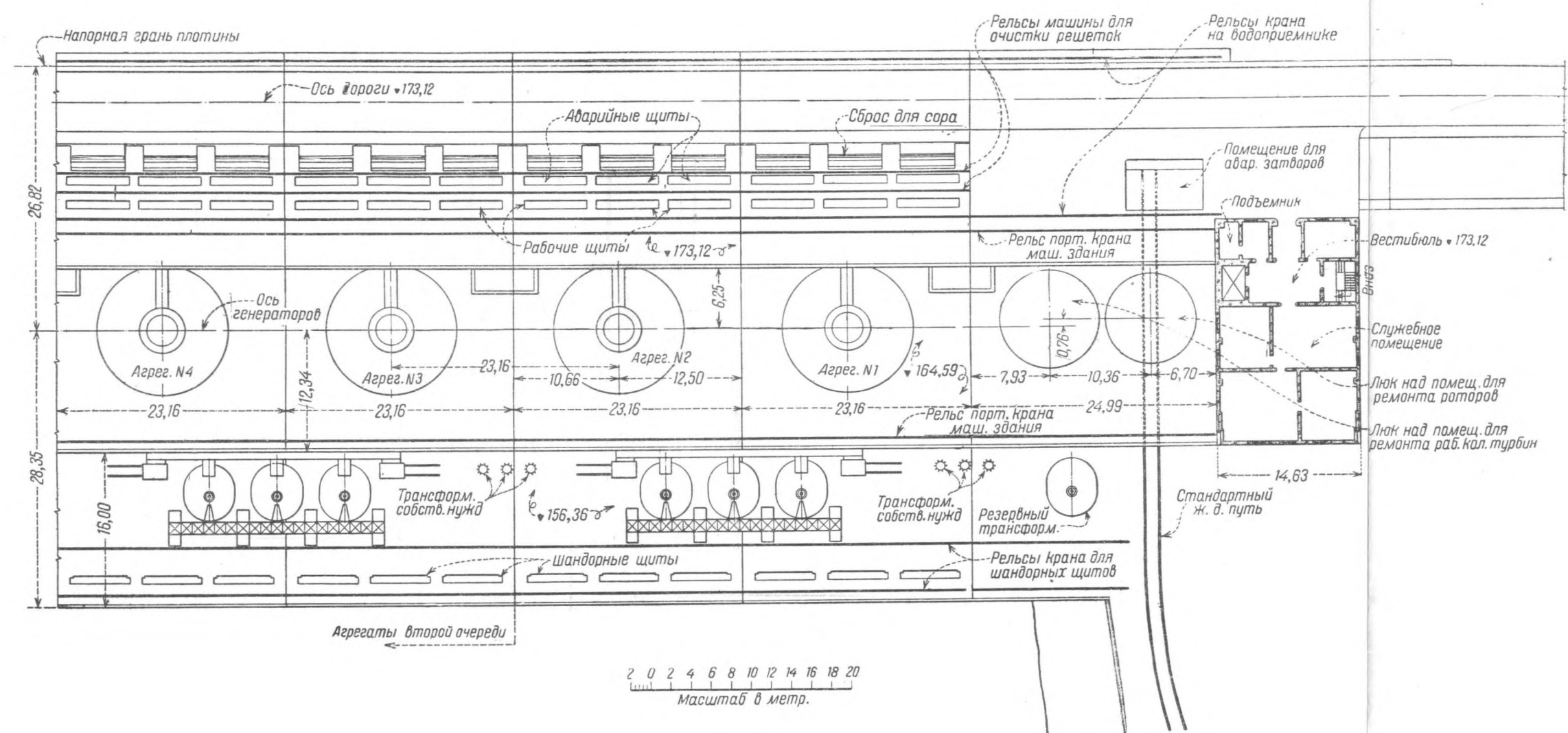
Фиг. 4



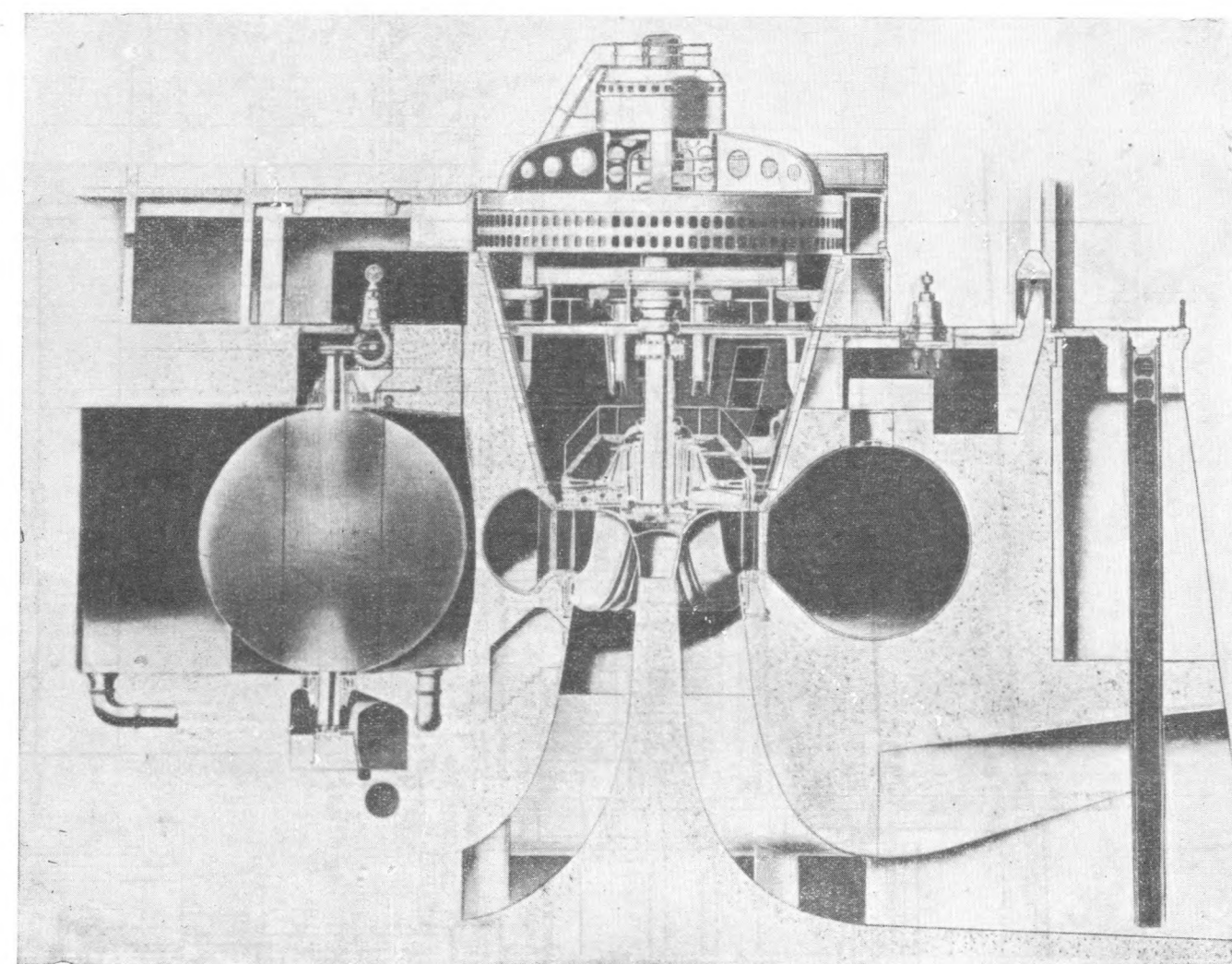
Фиг. 1.



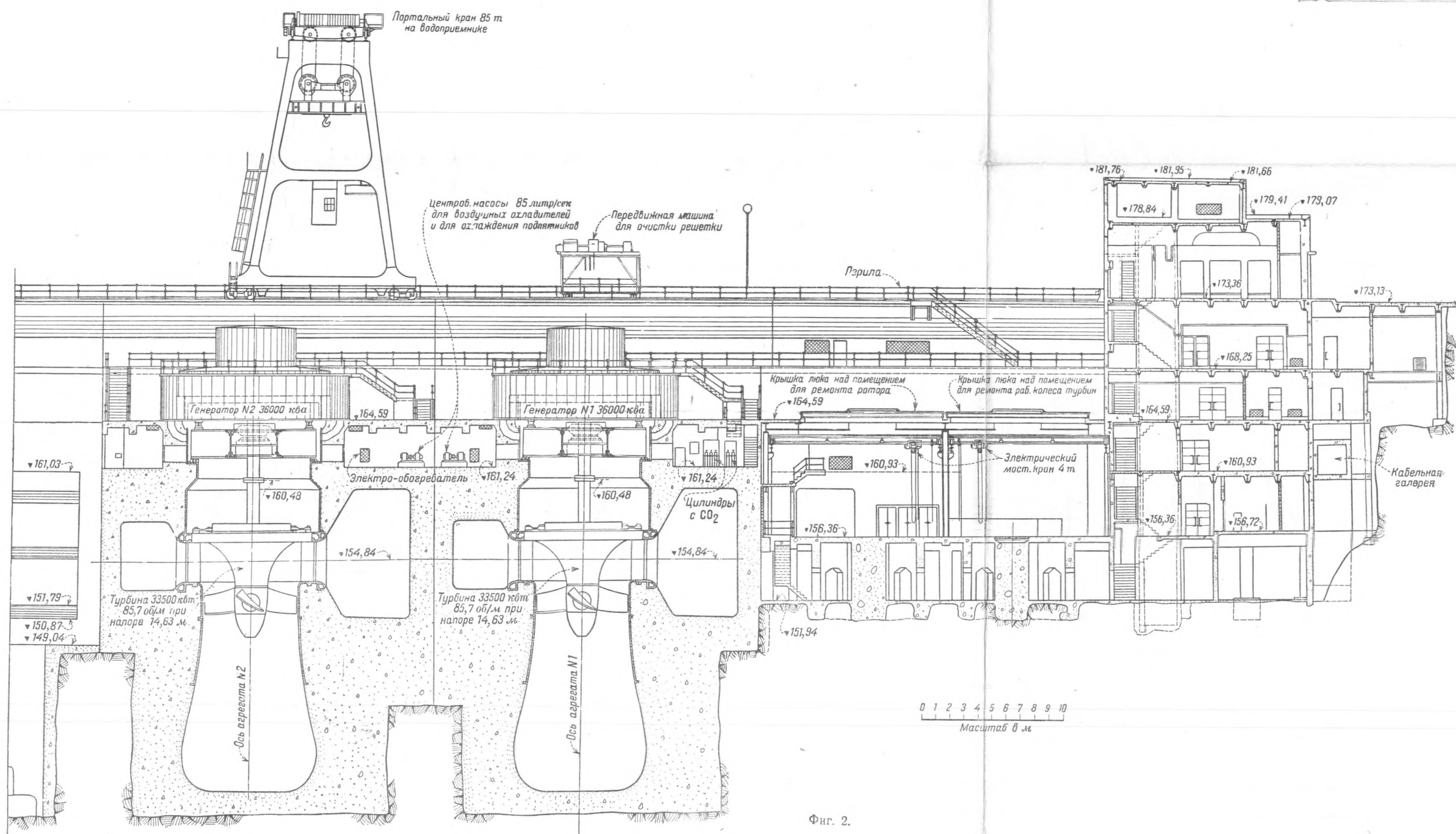
Фиг. 2.



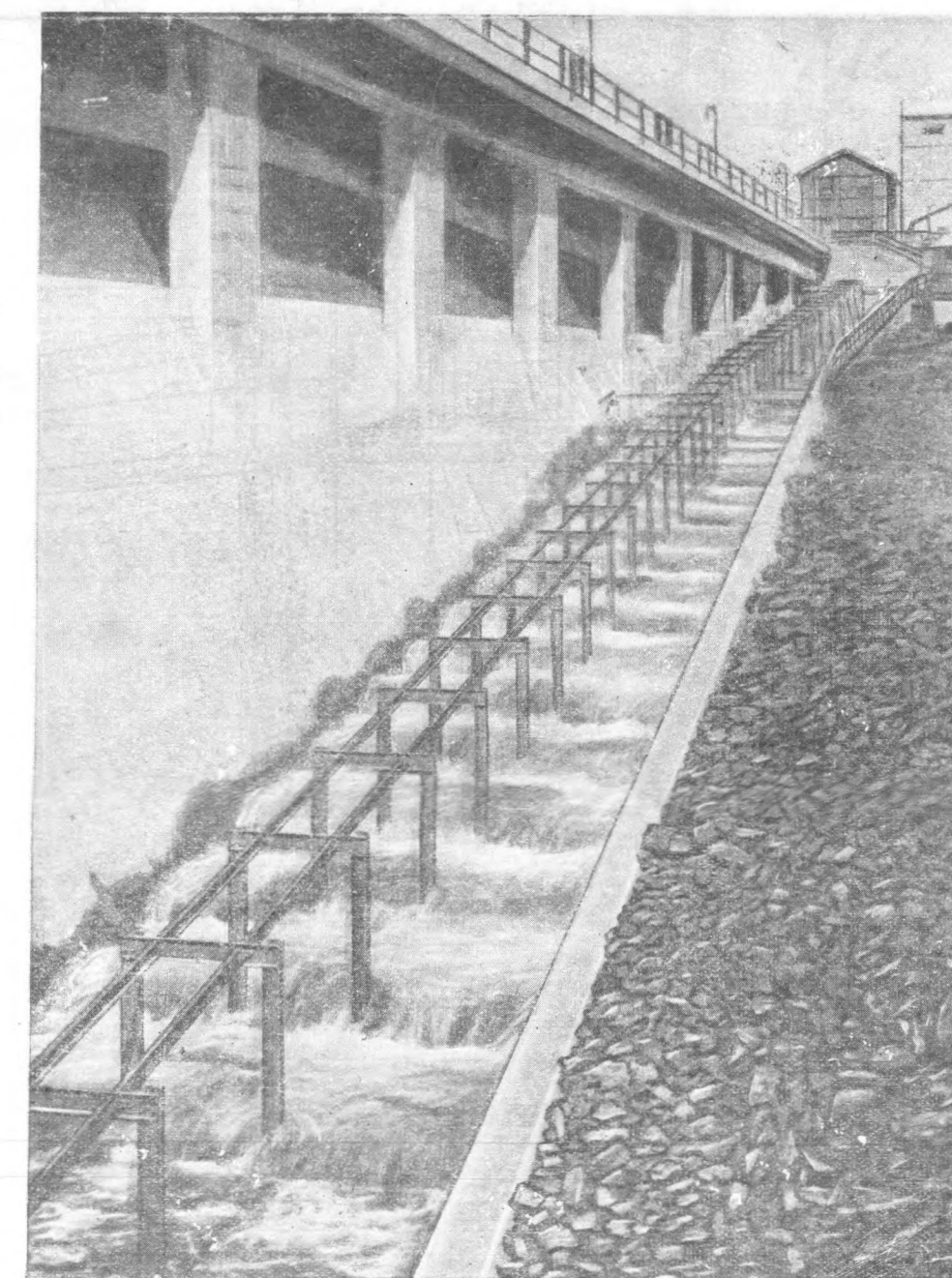
Фиг. 1.



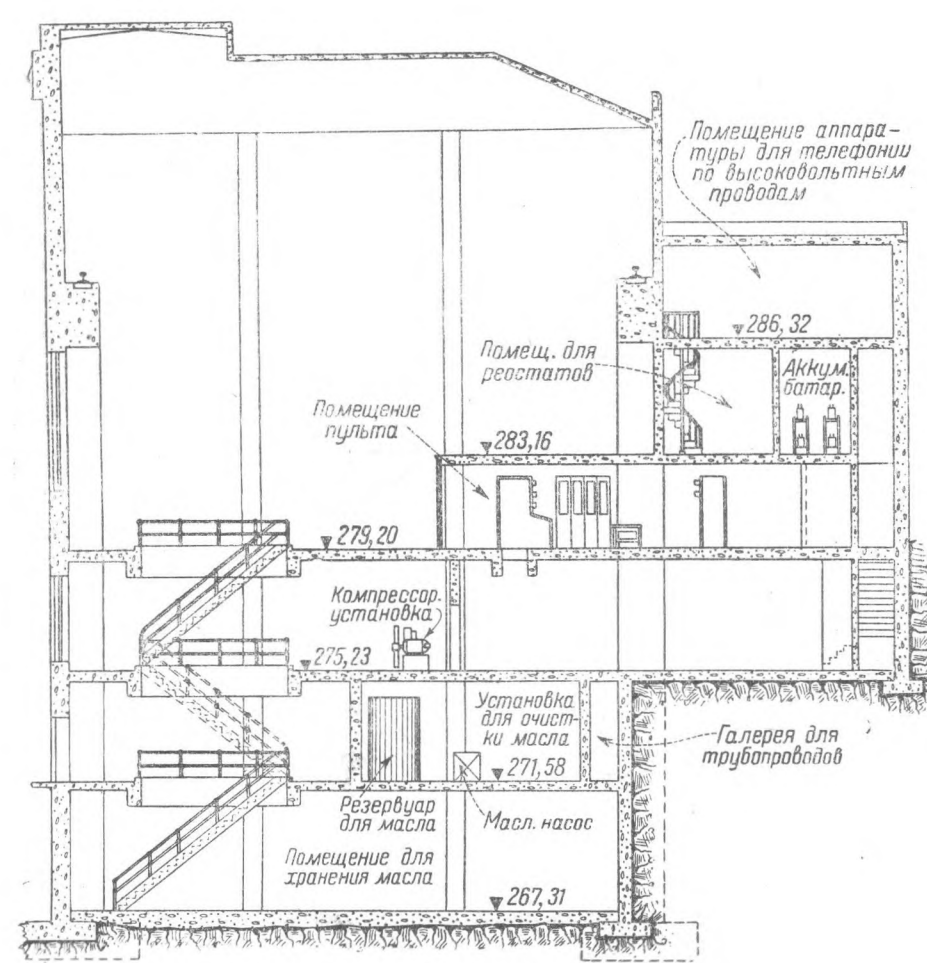
Фиг. 3.



Фиг. 2.

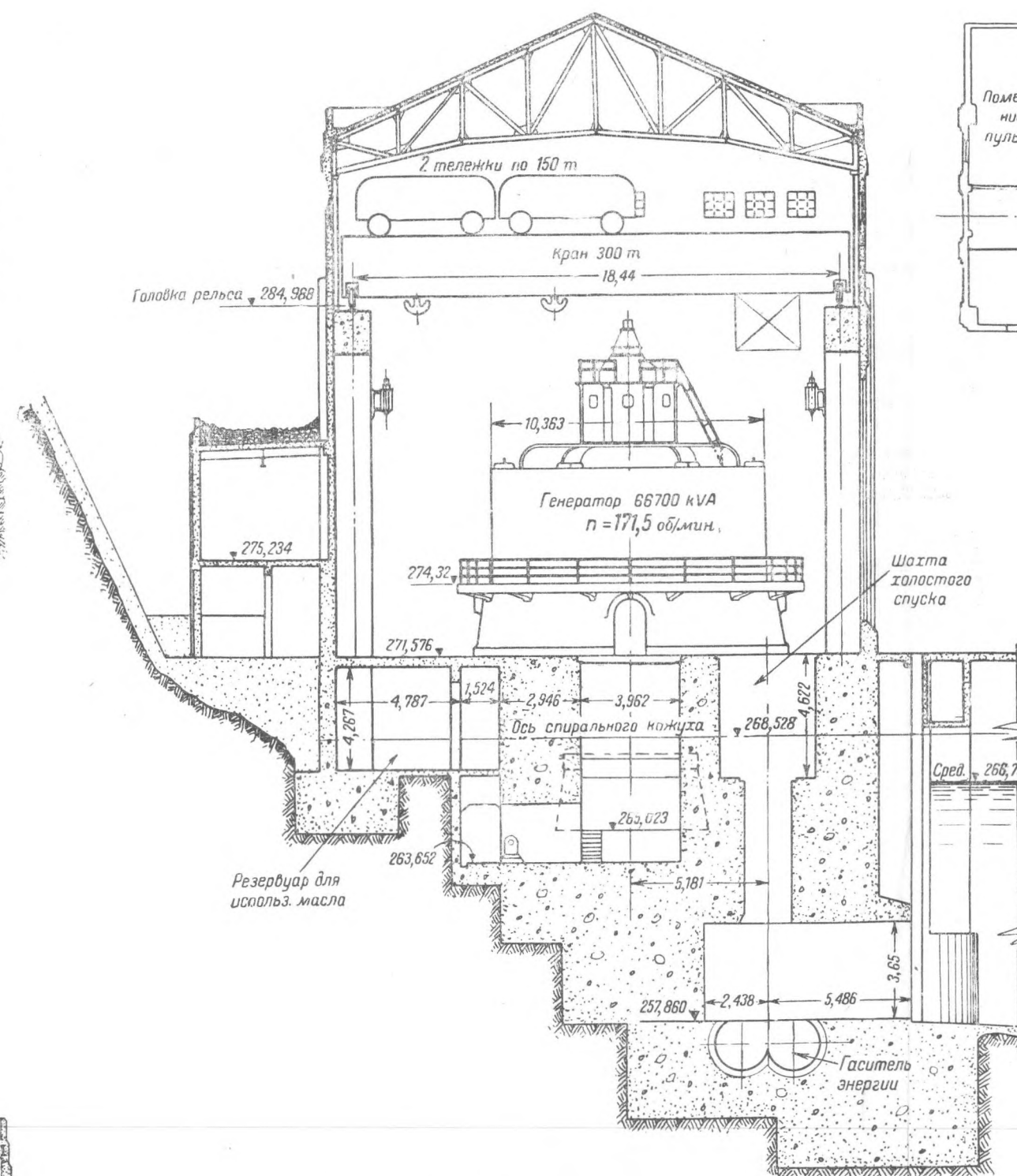


Фиг. 4.



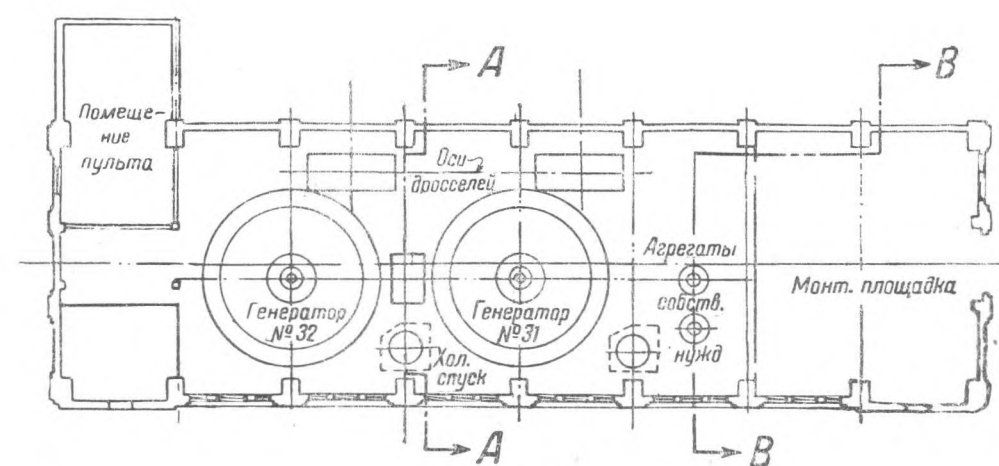
Сечение В-В

Фиг. 1



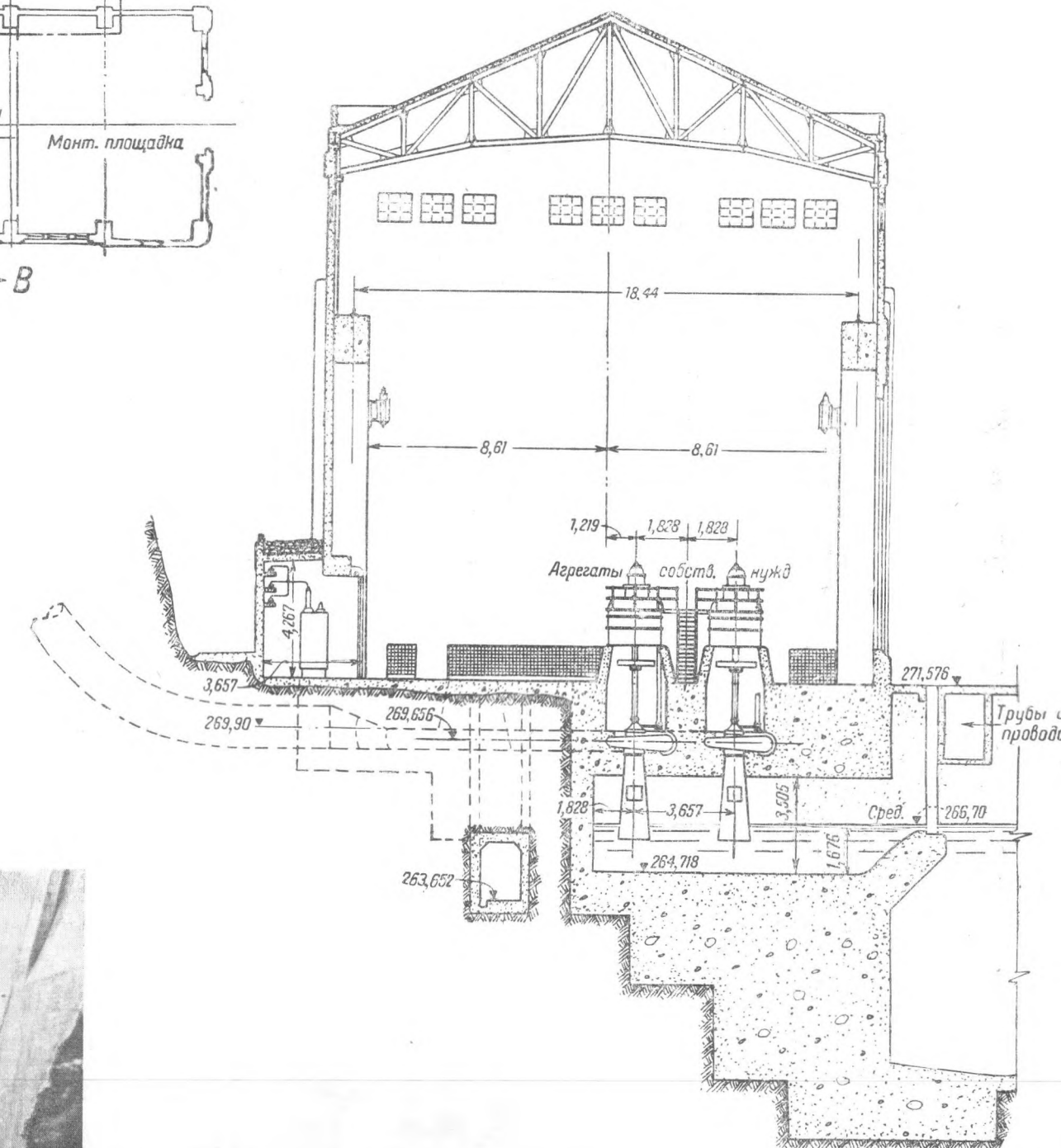
Поперечное сечение по А-А

Фиг. 3.



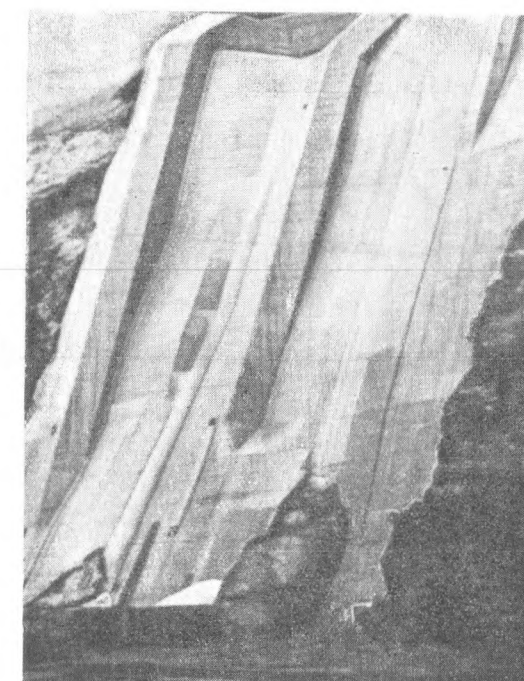
План на отм. 271,58

Фиг. 4.

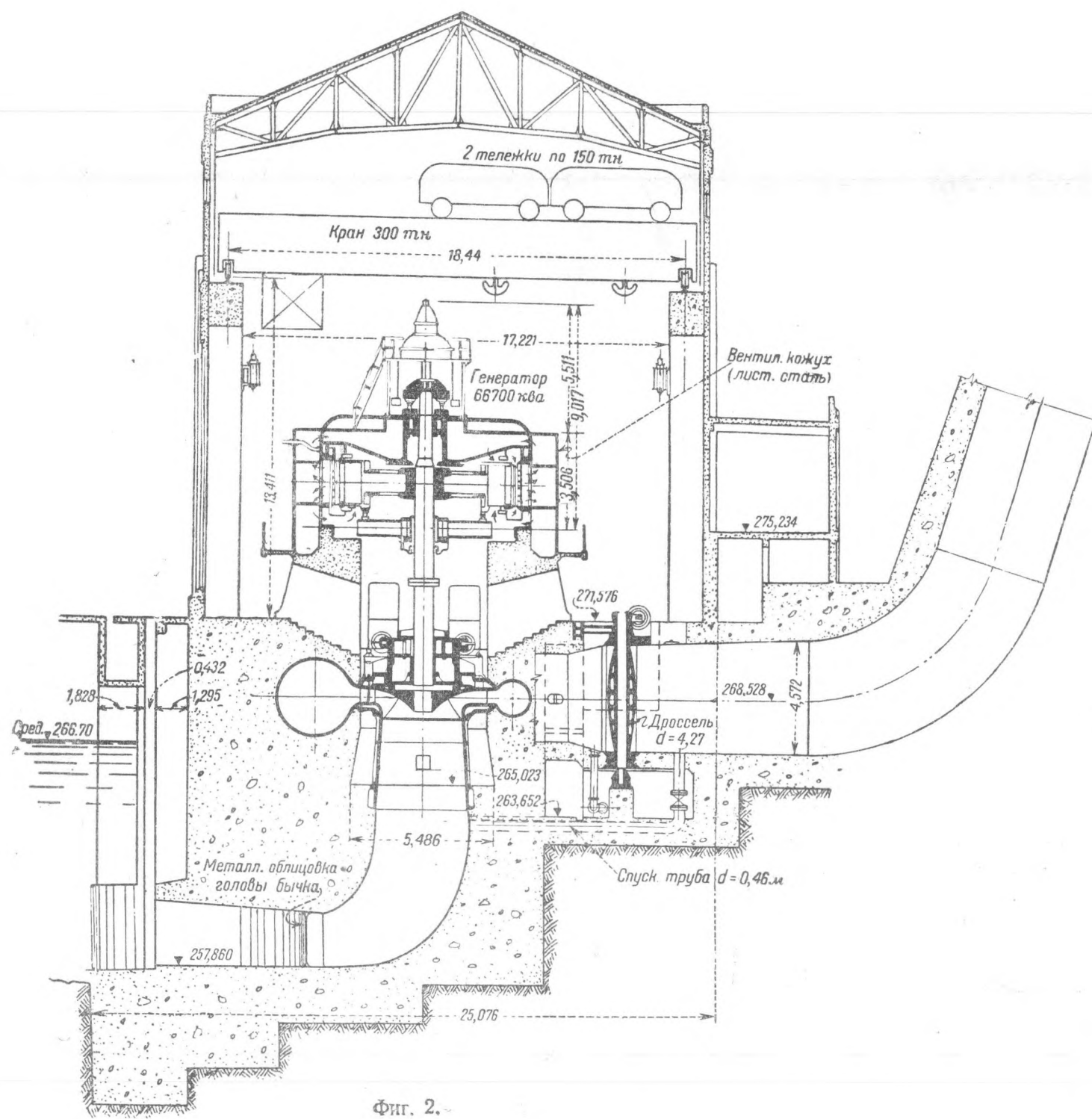


Поперечное сечение по В-В

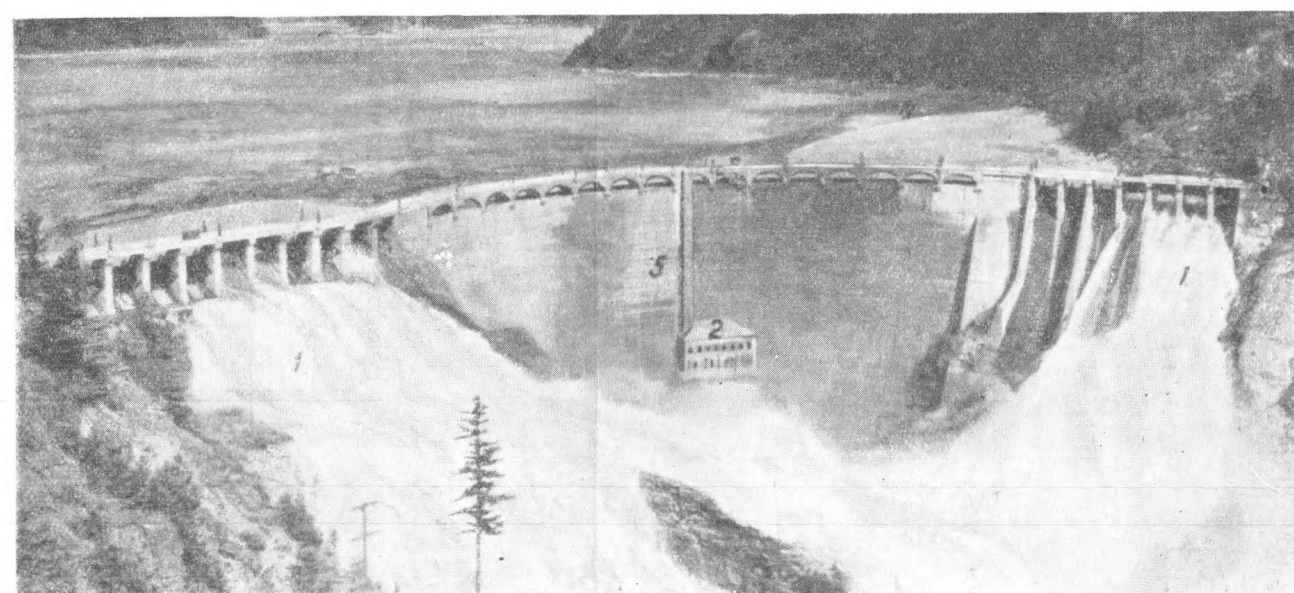
Фиг. 5



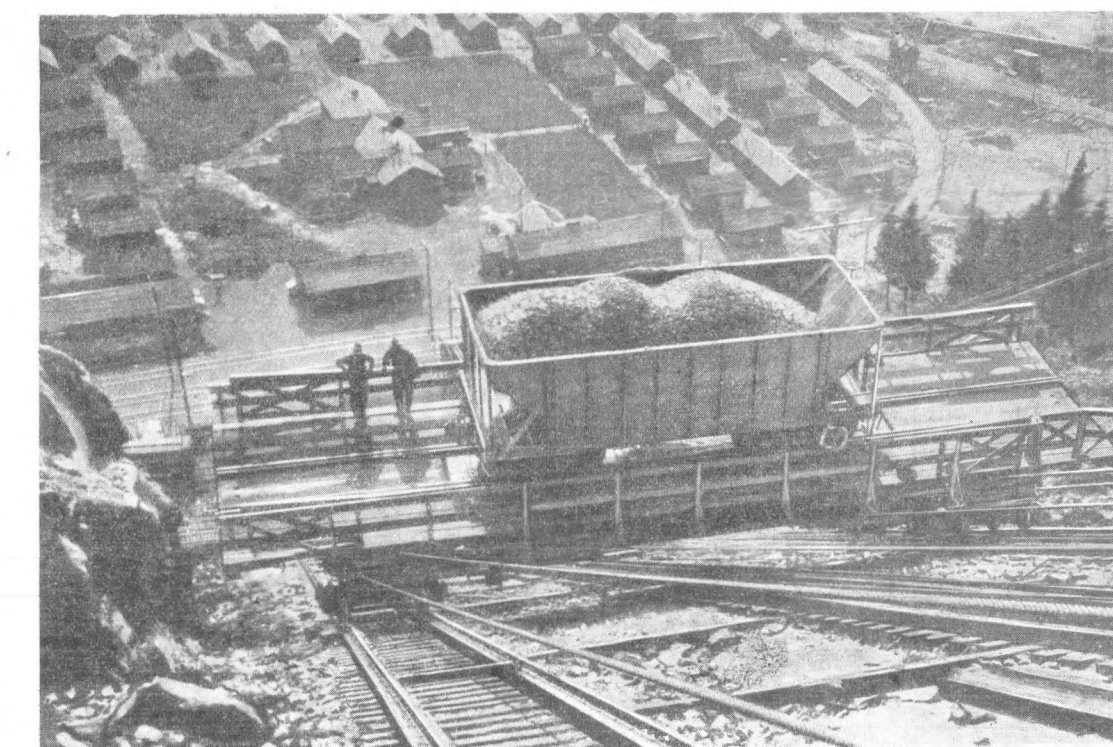
Фиг. 6.



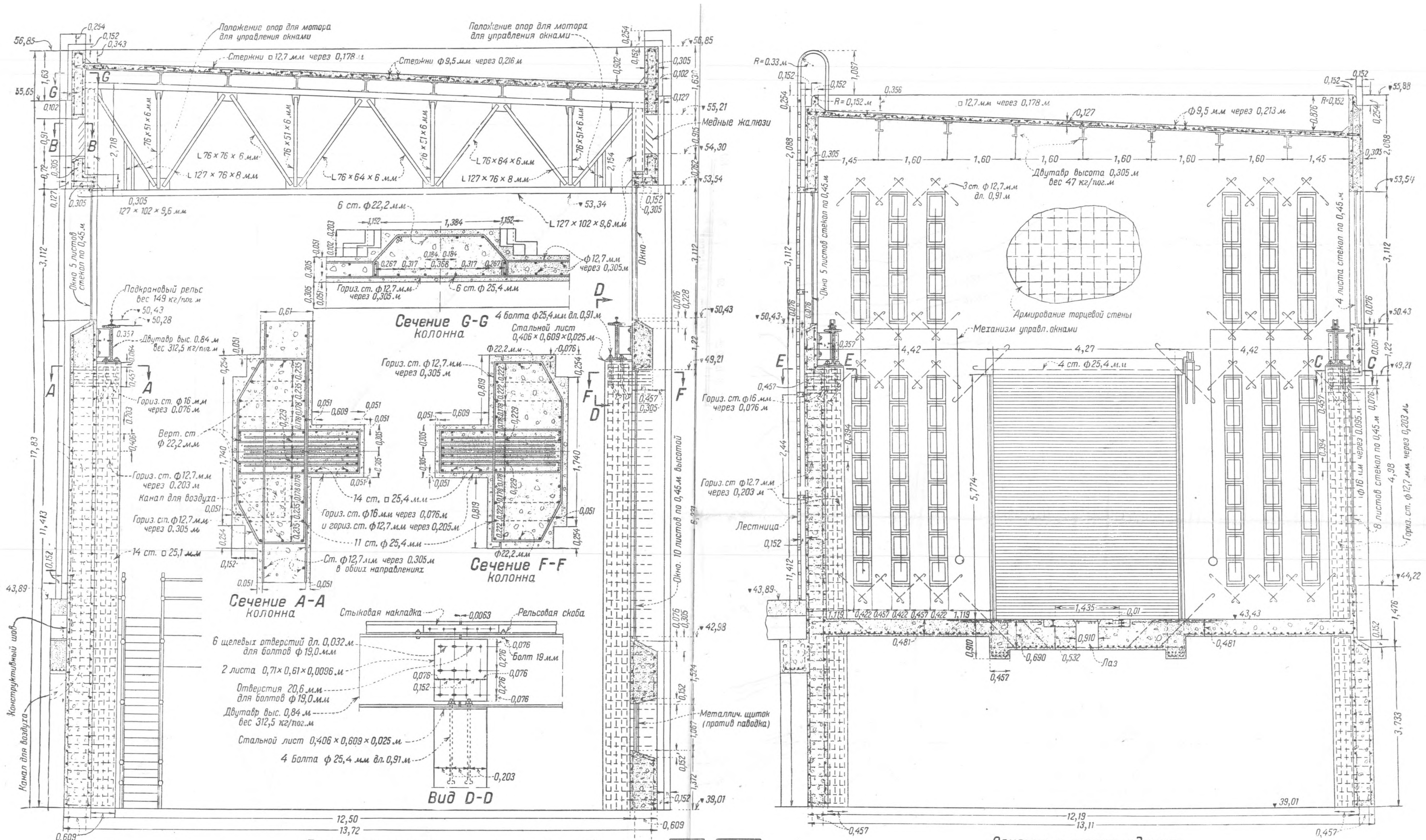
Фиг. 2.



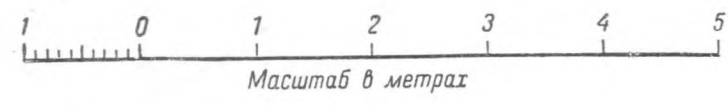
Фиг. 7.

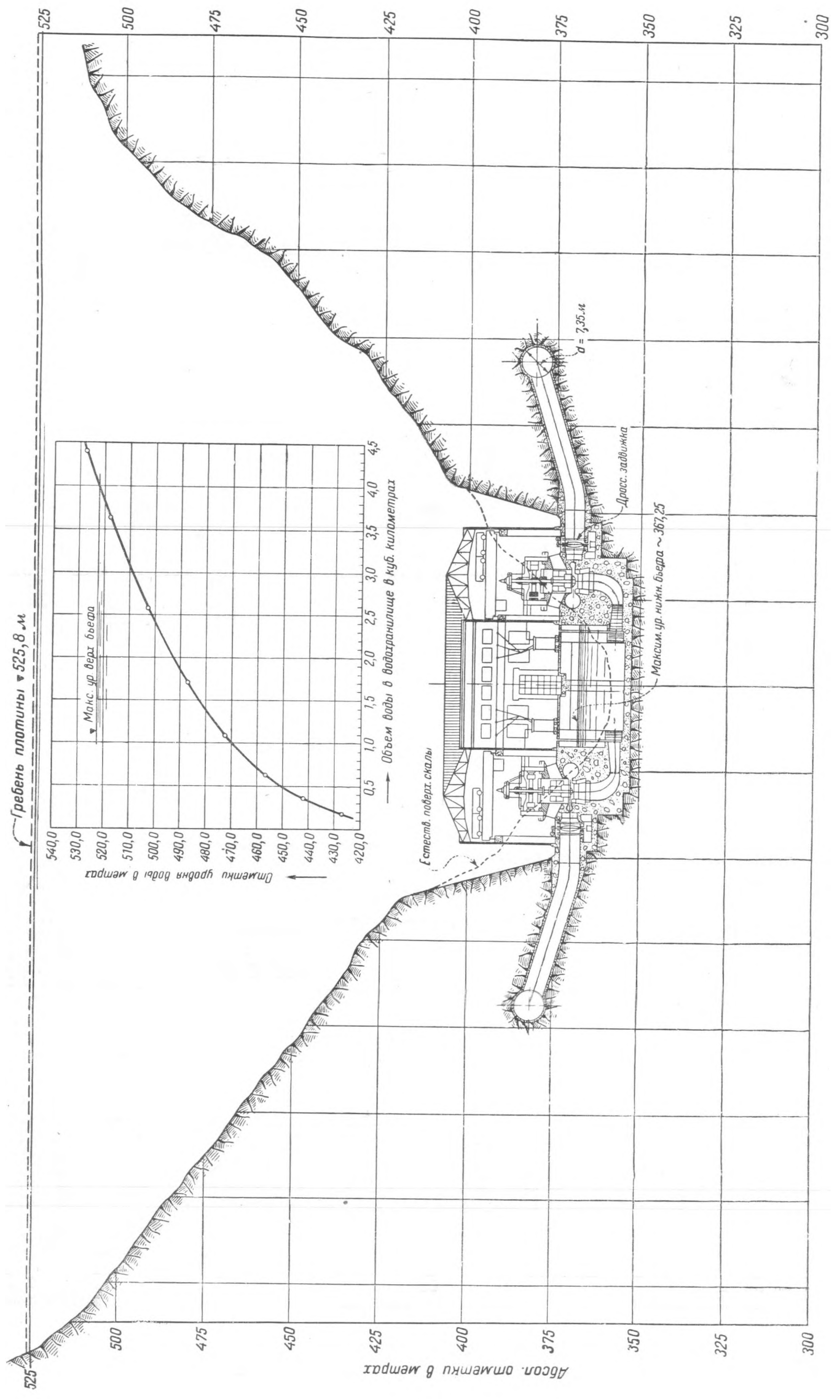
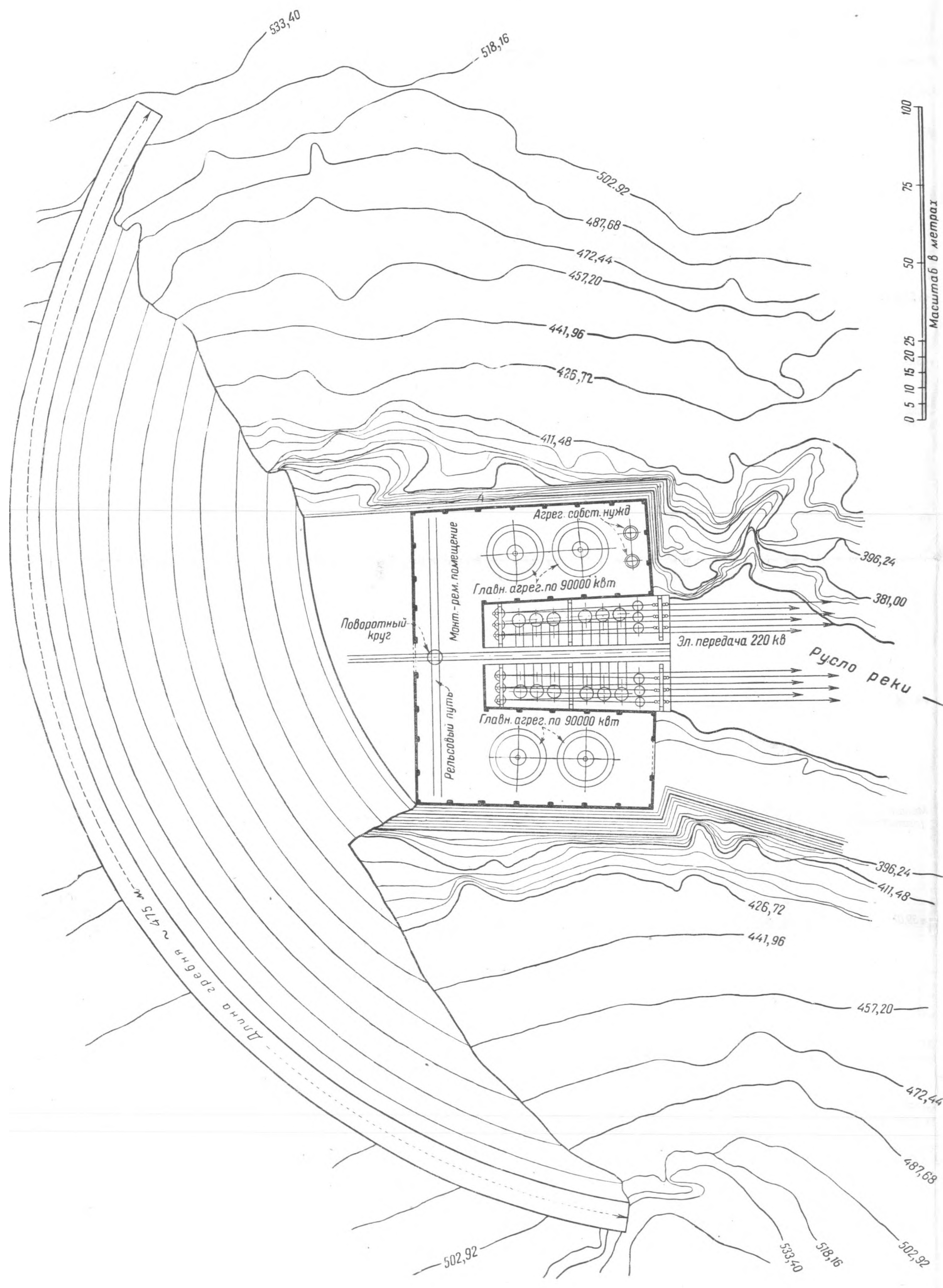


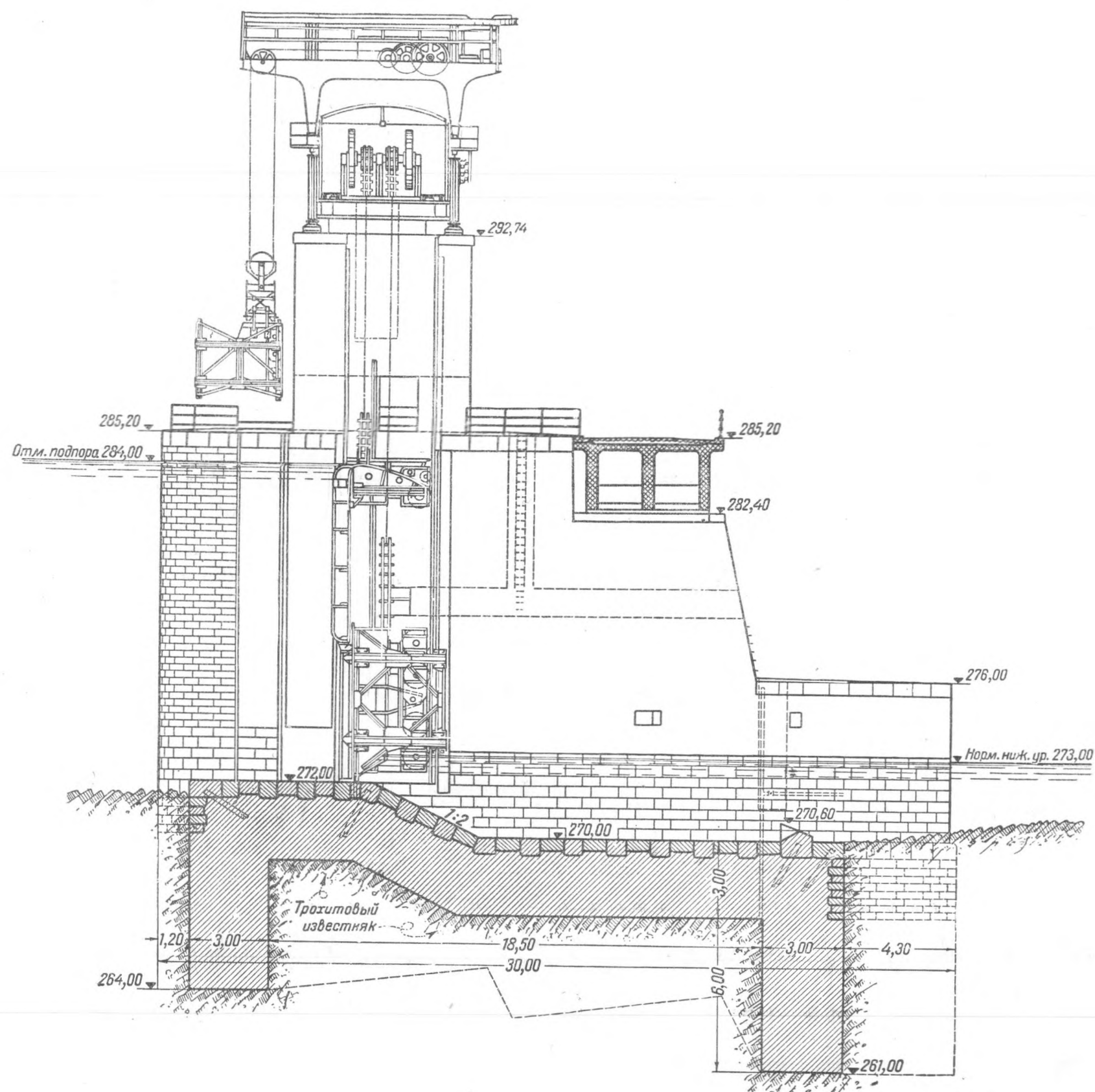
Фиг. 8



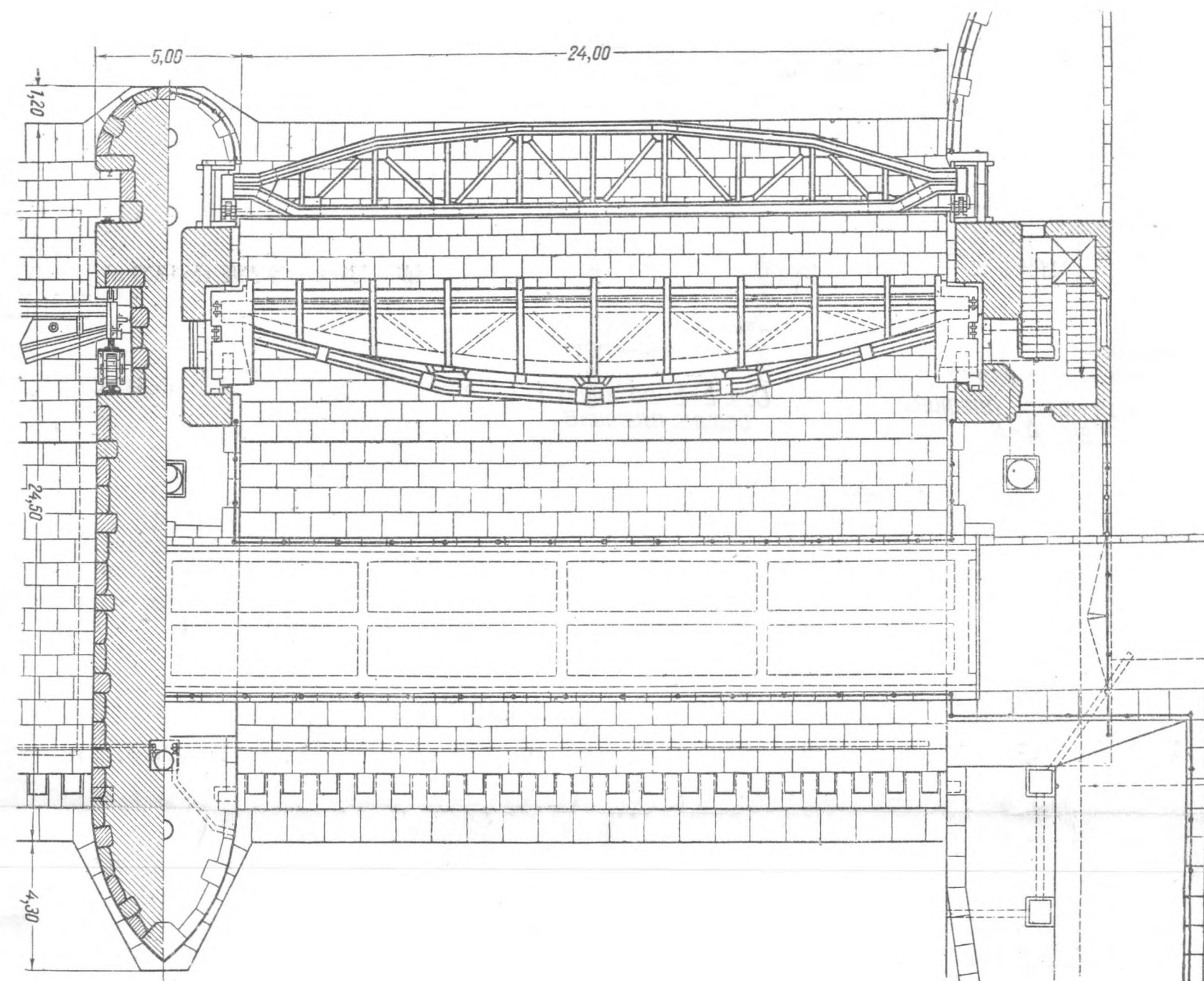
Примечание :
 Услы, притолки, носки и пороги всех отверстий должны быть армированы 3 стержнями ф12,7 мм. Все вертикальные и горизонтальные стержни должны быть ф12,7 мм и устанавливаться через 0,305 м, если нет специальных указаний. Горизонтальные стержни стыкуются в наслестку на длине в 40 диаметров, а вертикальные на длине 30 диаметров.



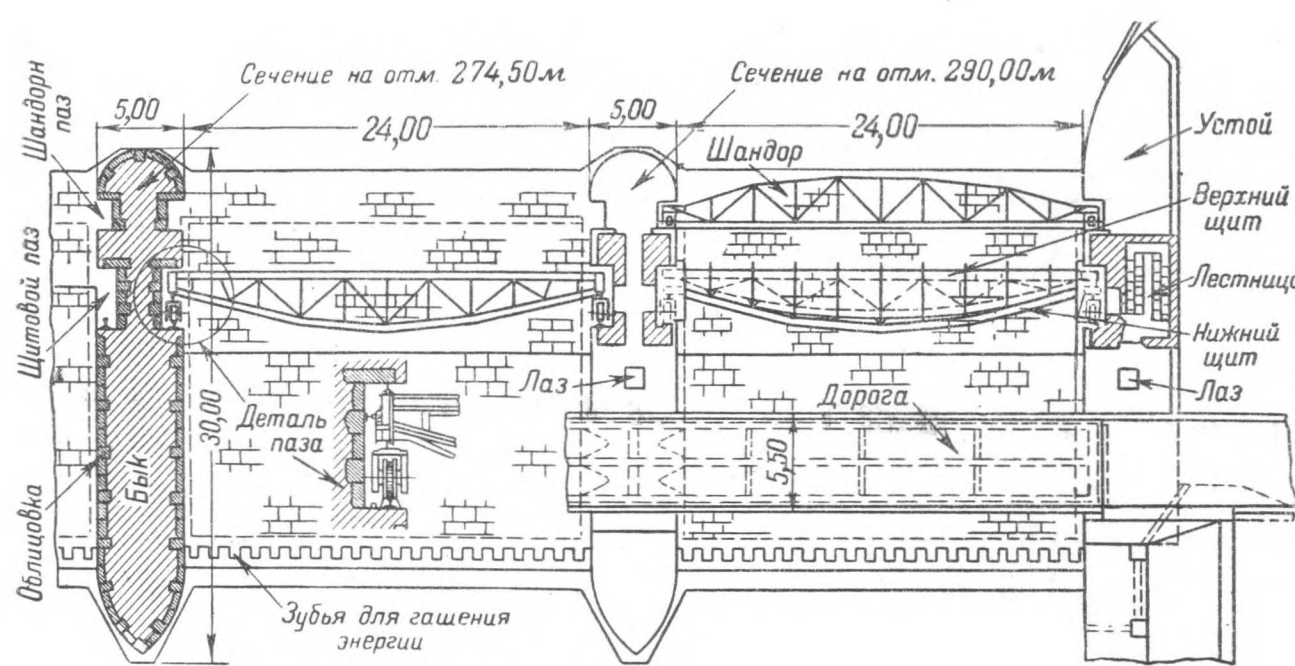




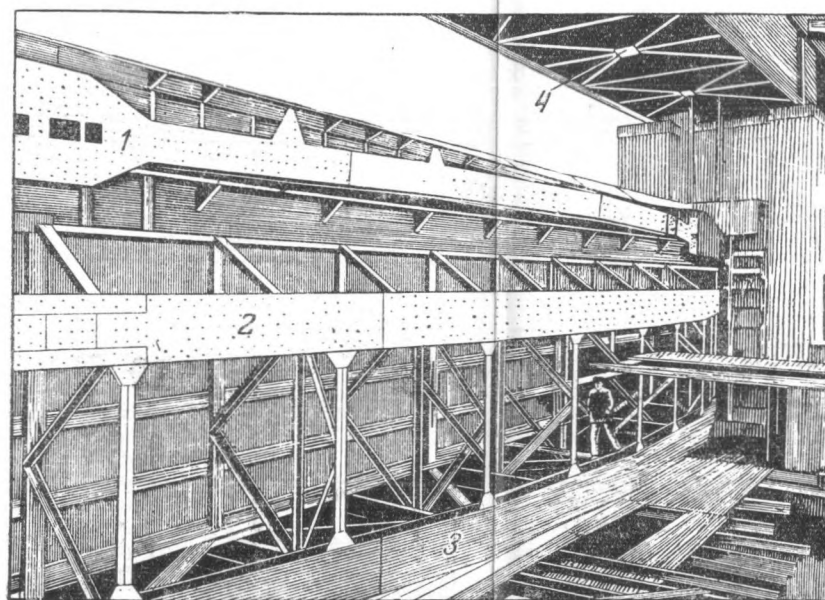
Фиг. 1.



Фиг. 3.

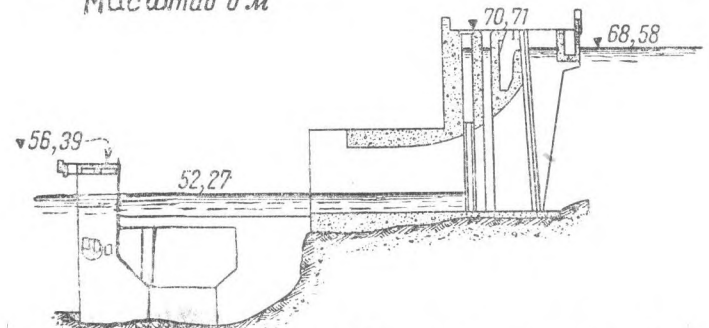


Фиг. 2.

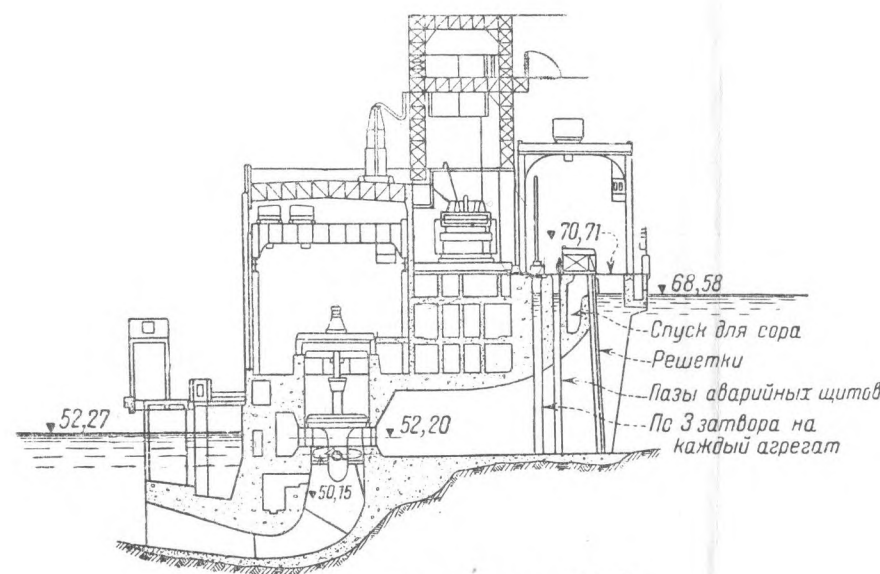


Фиг. 4.

5 0 5 10 15 20 25 30
Масштаб в м

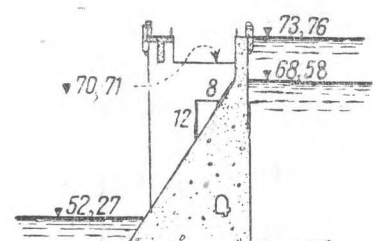


Сечение по агрег. второй очереди J-J

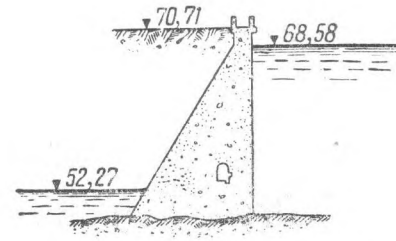


Сеч. машинного здания D-D

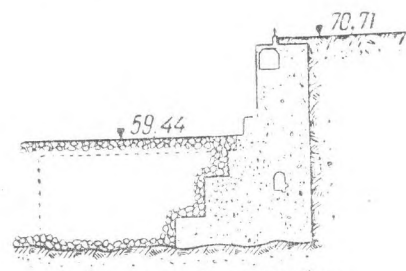
25 0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300
Масштаб в метрах



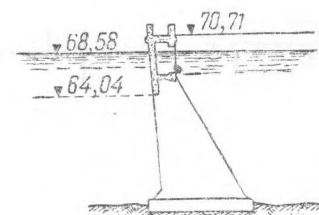
Глухая часть плотины Сеч. А-А



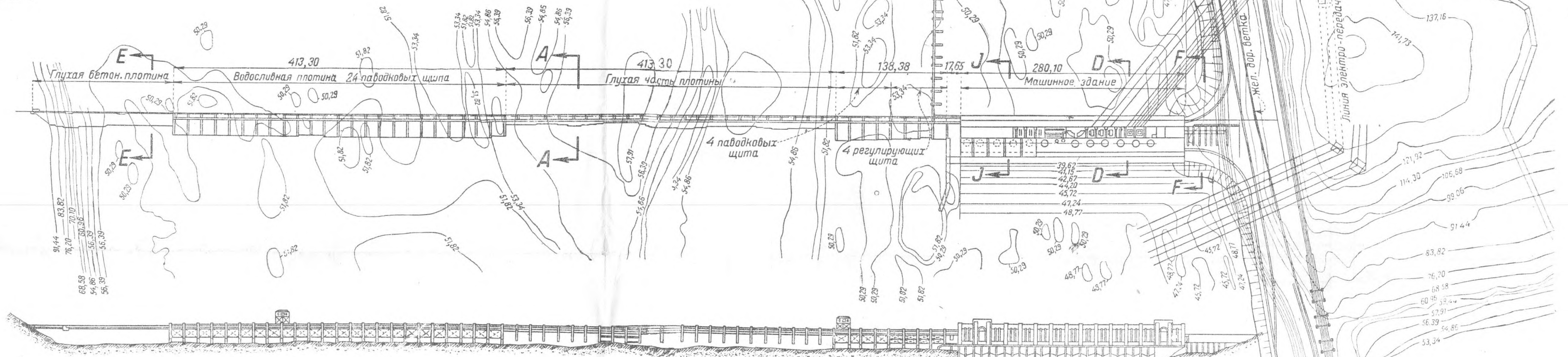
Сеч. Е-Е по глухой бетон. плотине



Подпорная стенка Сеч. F-F



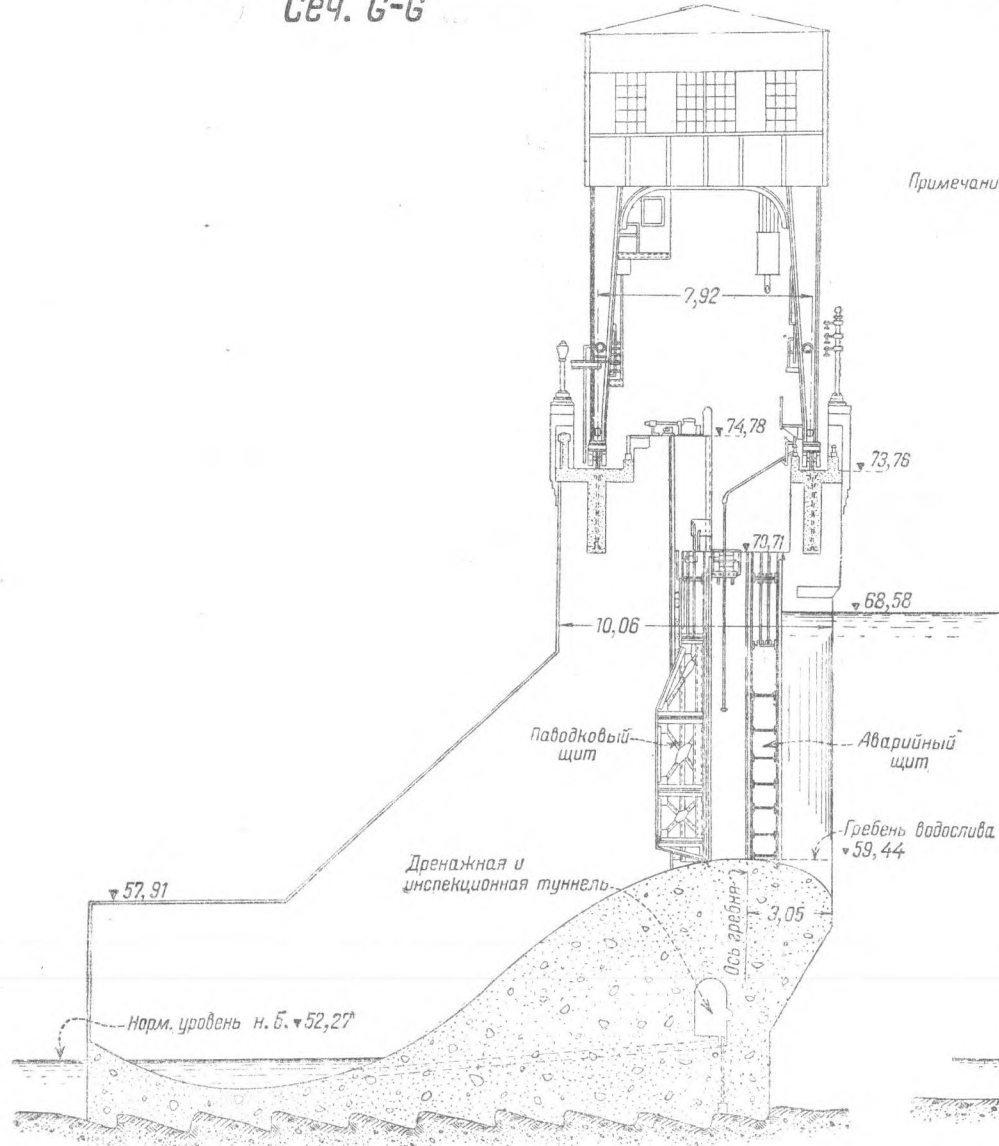
Ледозащитная стенка Сеч. G-G



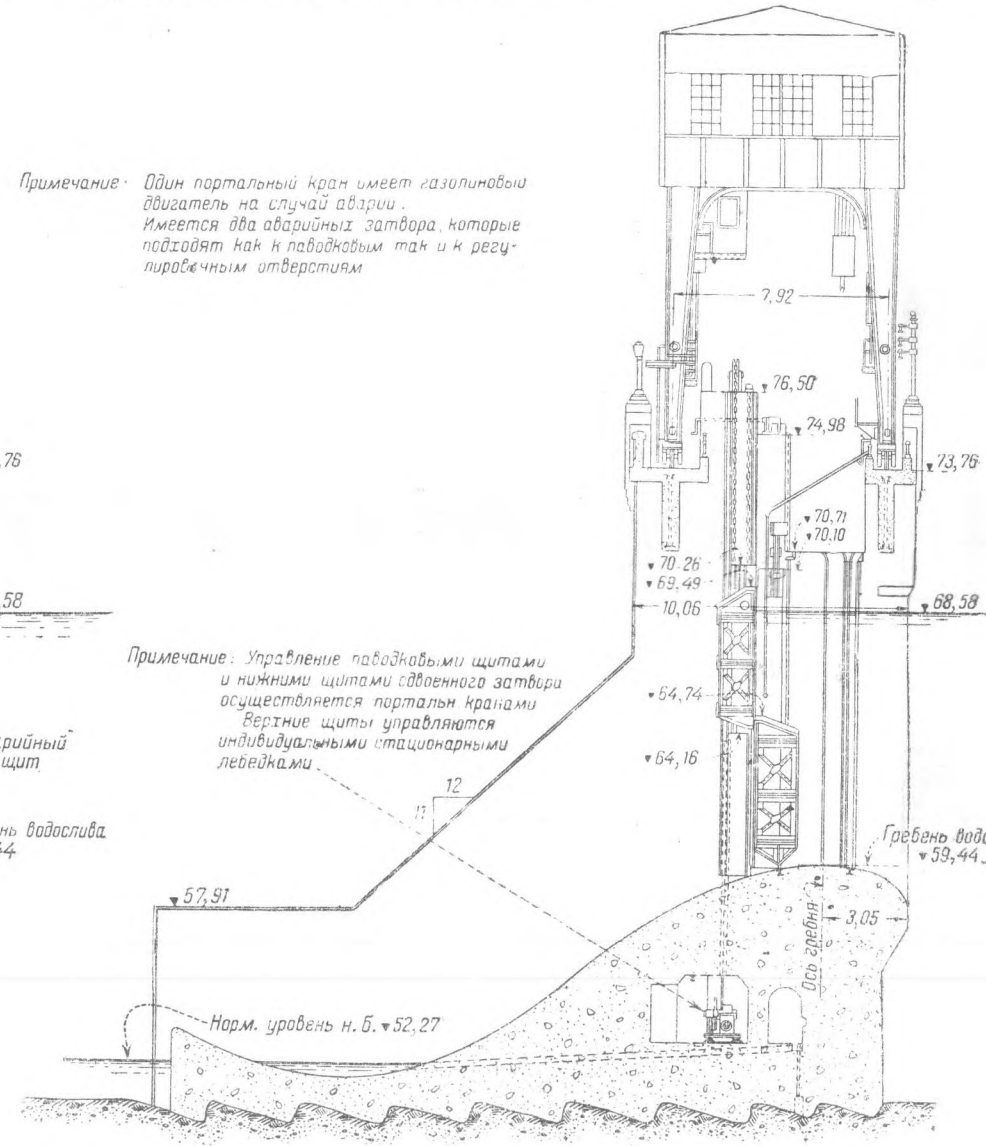
Вид с нижнего бьефа

Примечание: Один порталный кран имеет газотурбинный двигатель на случай аварии. Имеется два аварийных затвора, которые работают как и паводковые так и в регулировочном положении.

2 порталных крана по 150 т

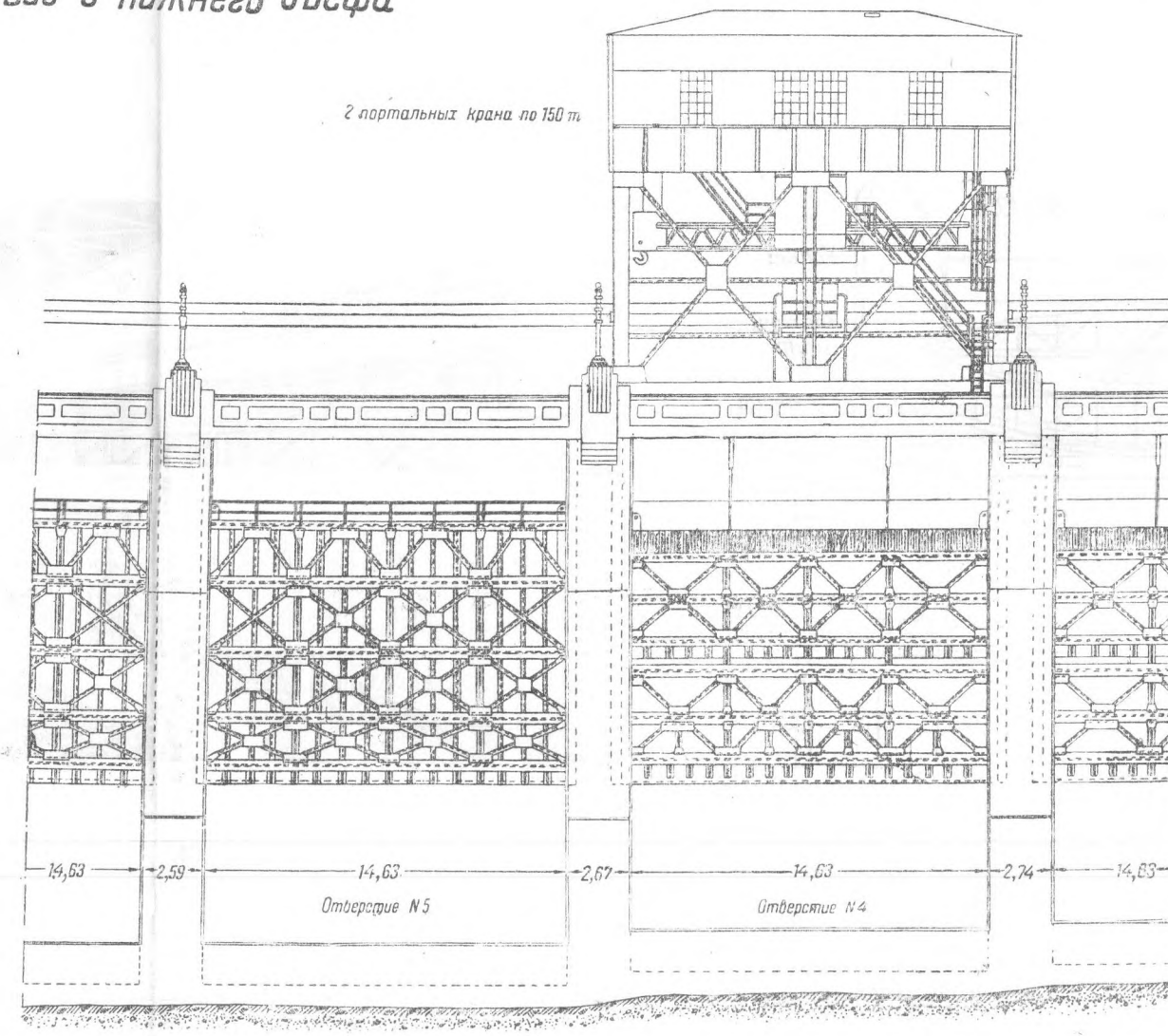


Сечение В-В. Паводковый щит



Сечение С-С регулир. щитов

Примечание: Управление паводковыми щитами и нижними щитами собственного затвора осуществляется порталом кранами. Верхние щиты управляются индивидуальными стационарными лебедками.

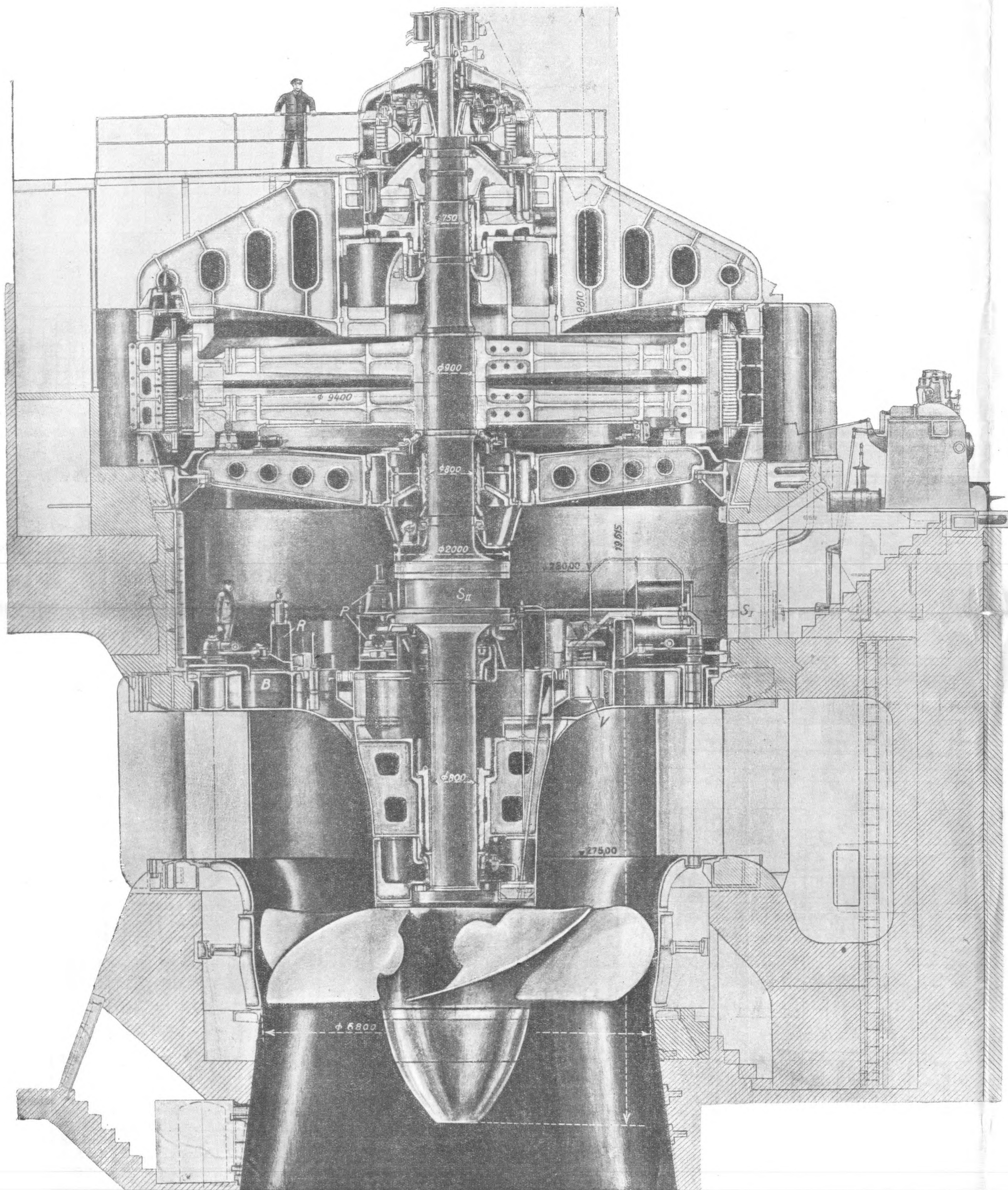


Вид с нижнего бьефа водосливных отверстий № 4 и № 5

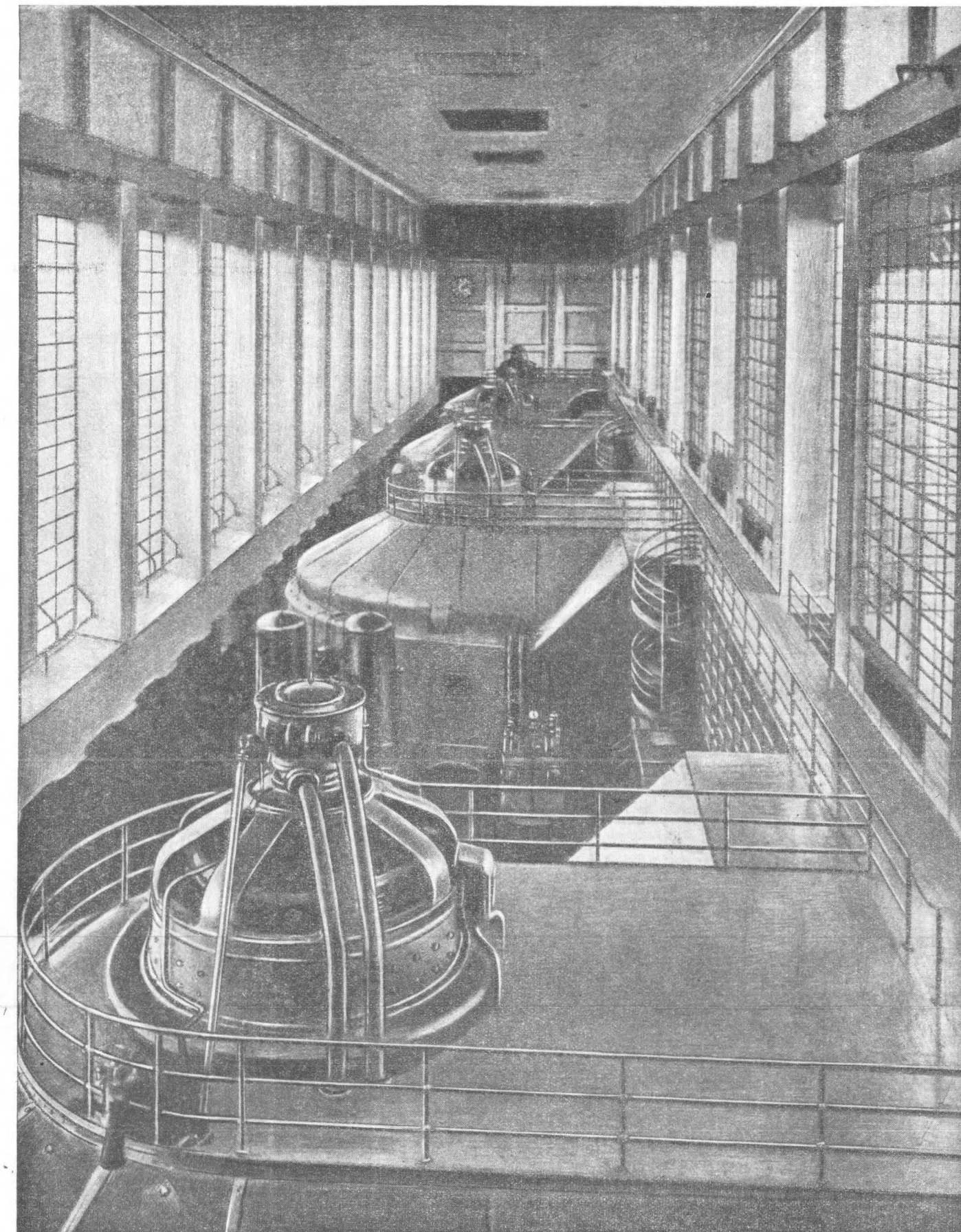


Сечение ограждающей дамбы H-H

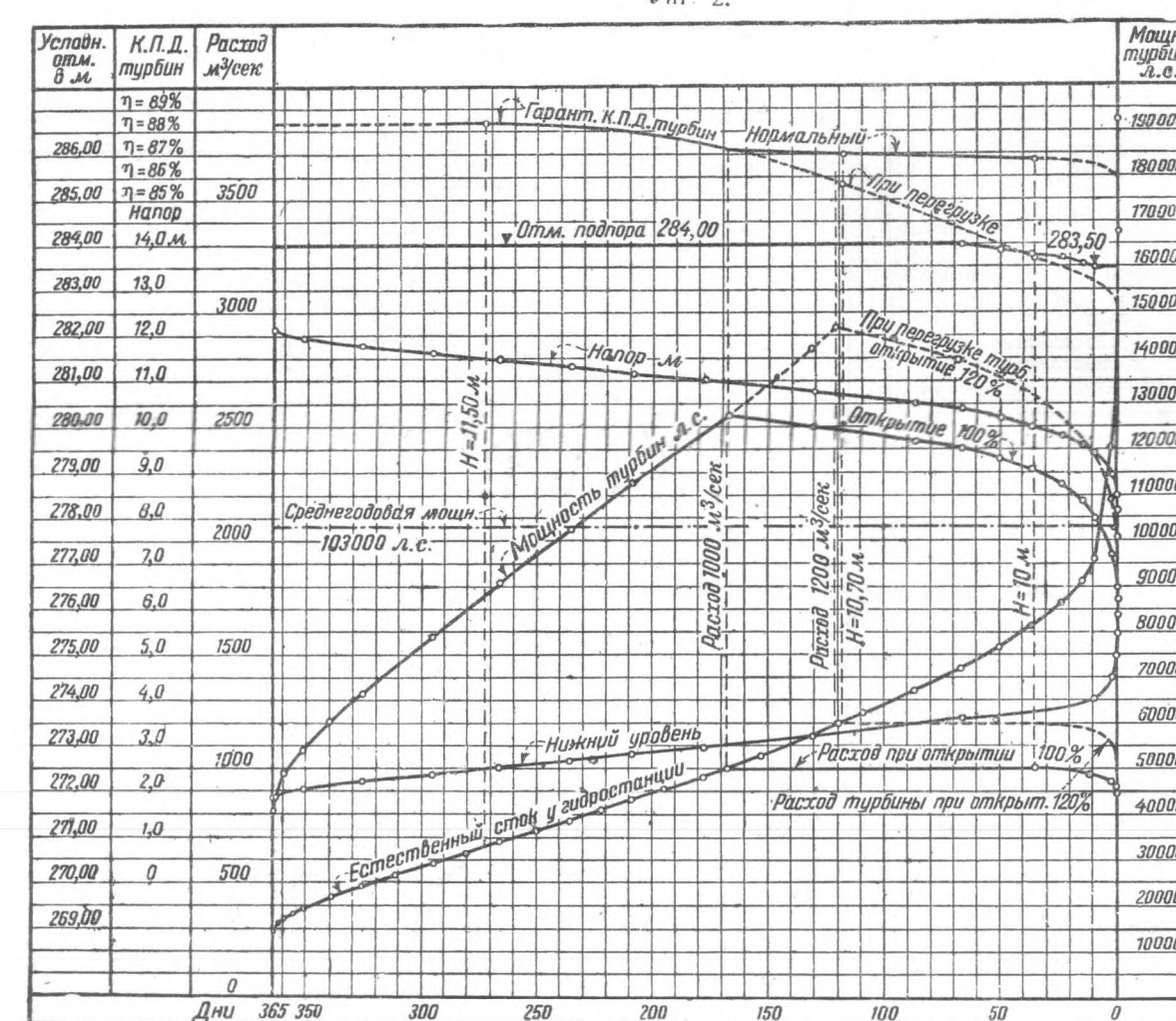
5 0 5 10 15 20 25 30
Масштаб в м



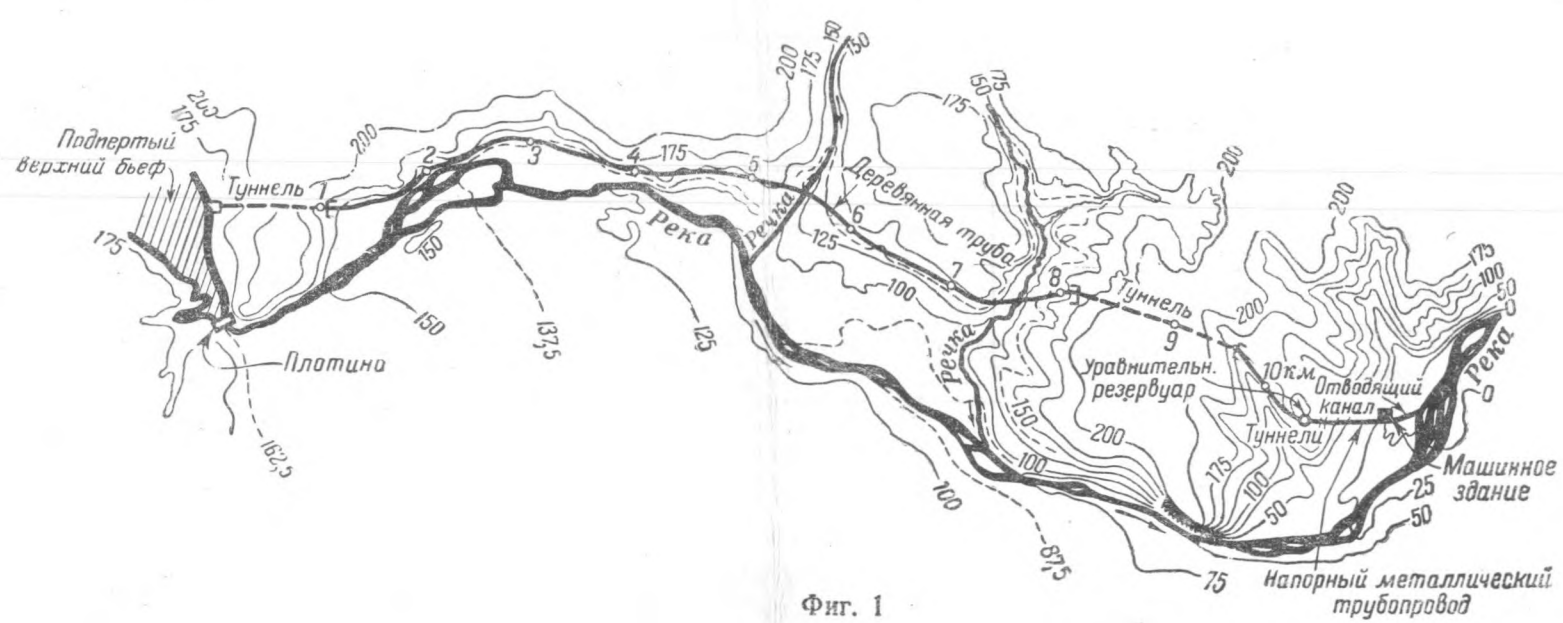
Фиг. 1.



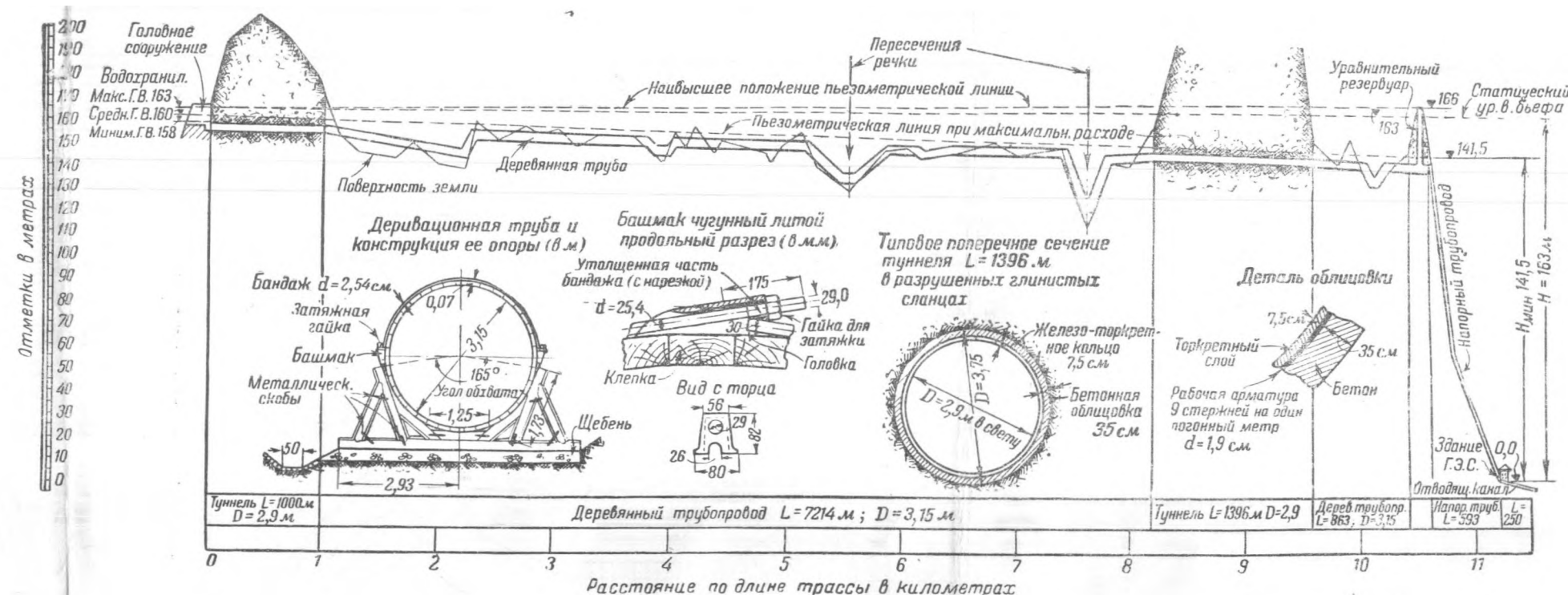
Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 1

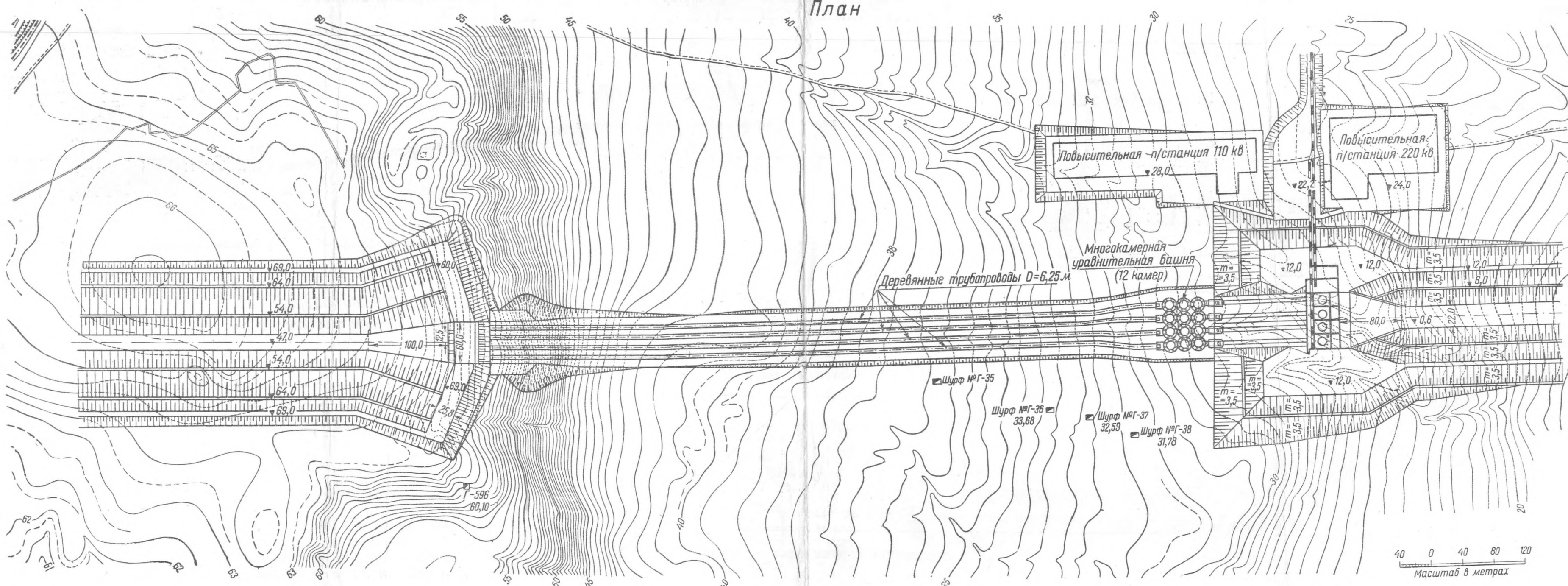


Фиг. 2

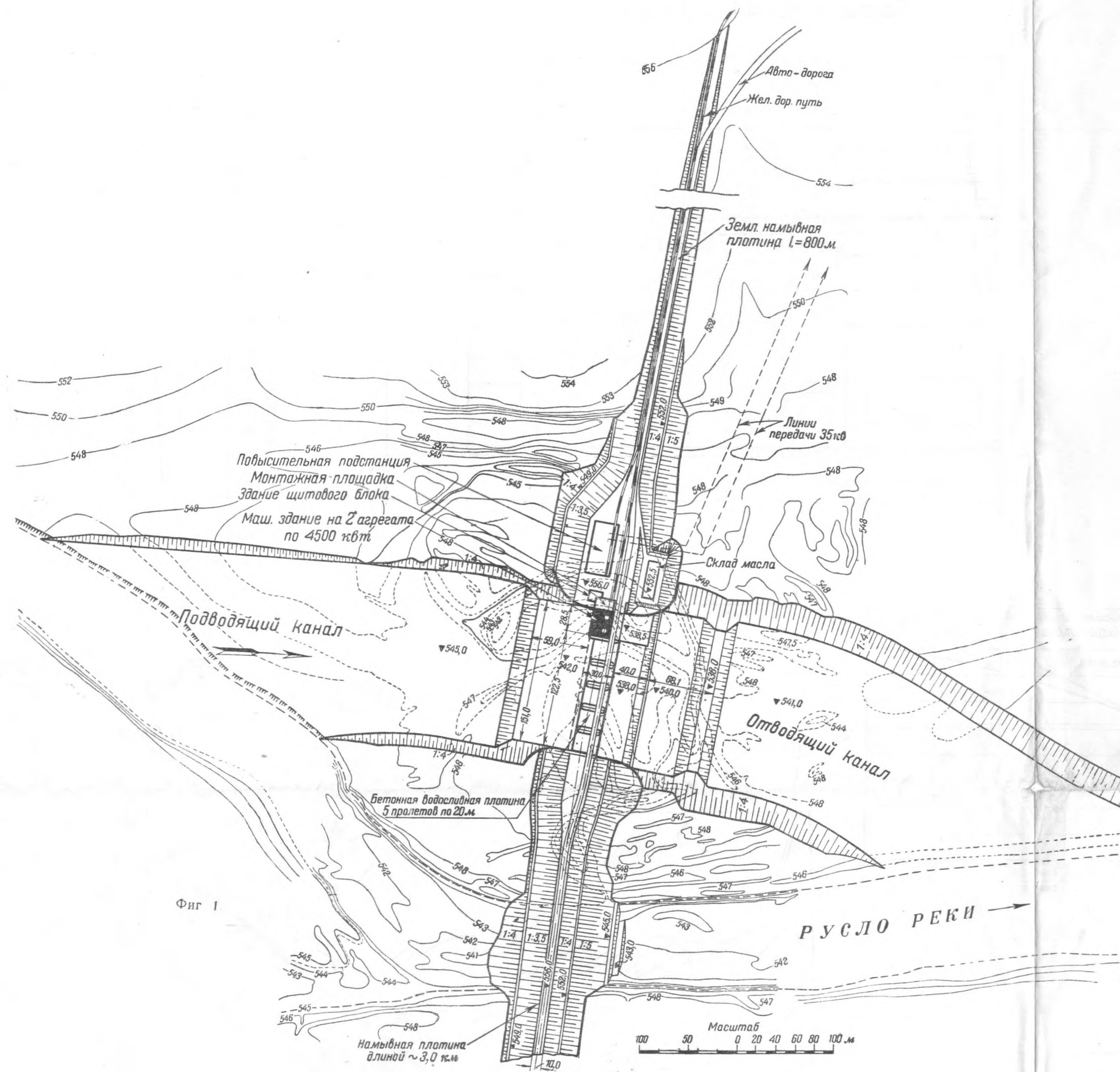


Фиг. 3

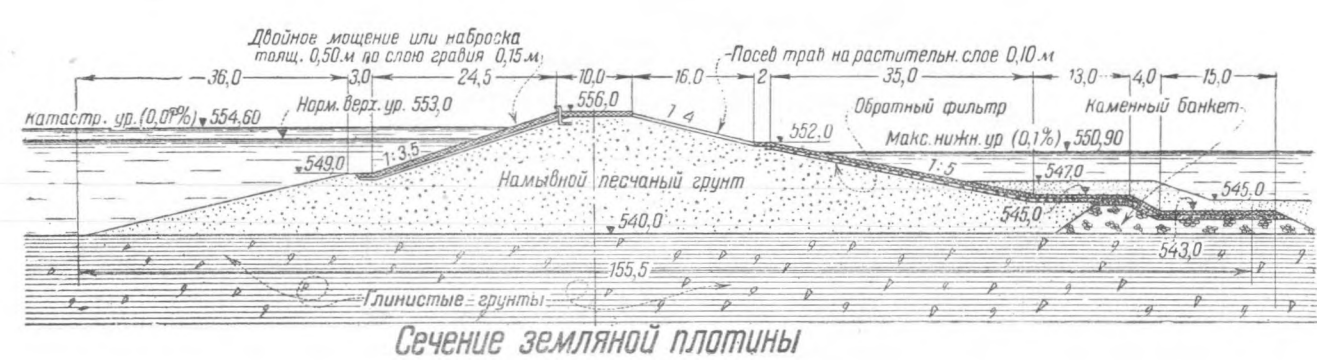
Продольный профиль



Фиг. 4

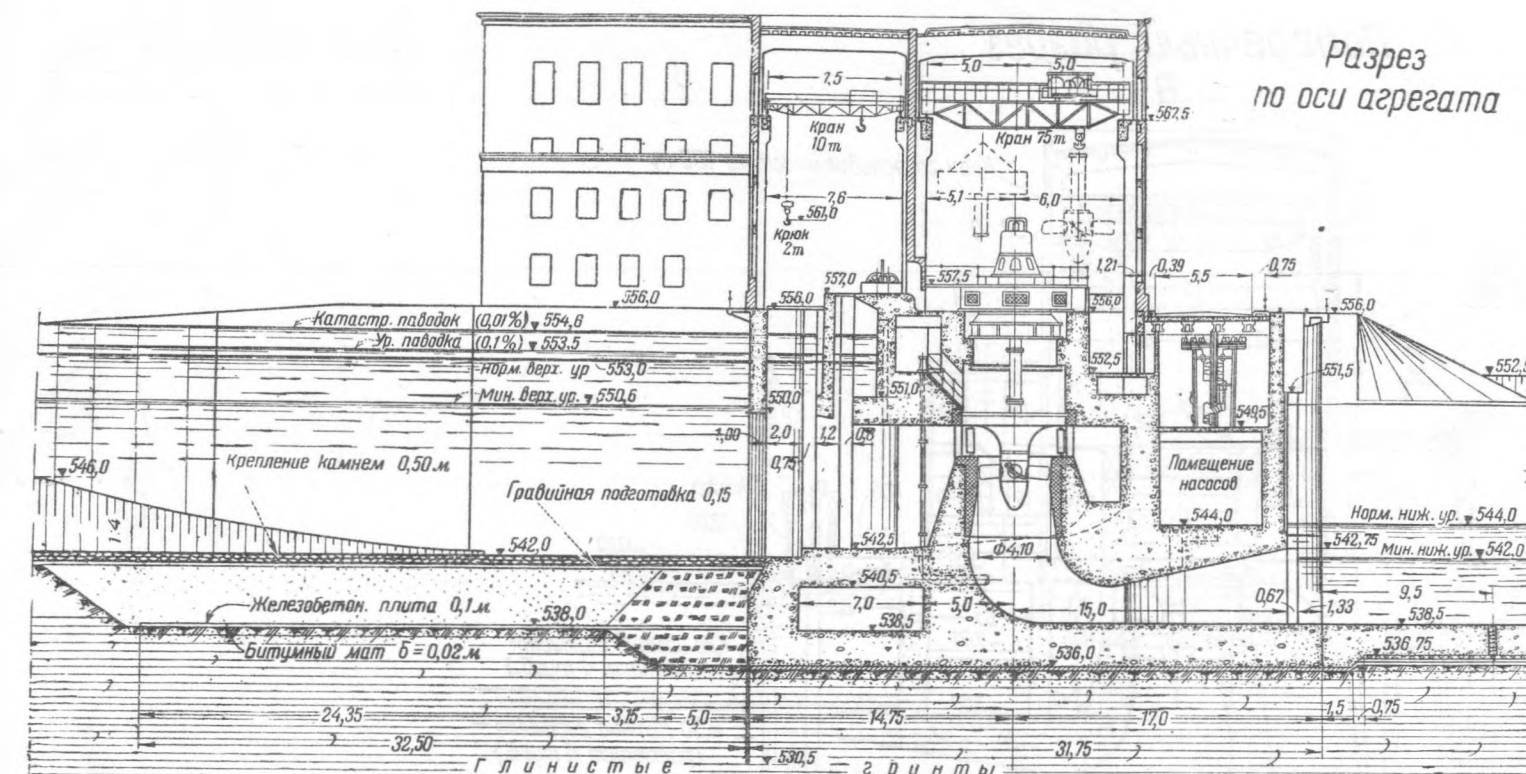


Фиг. 1

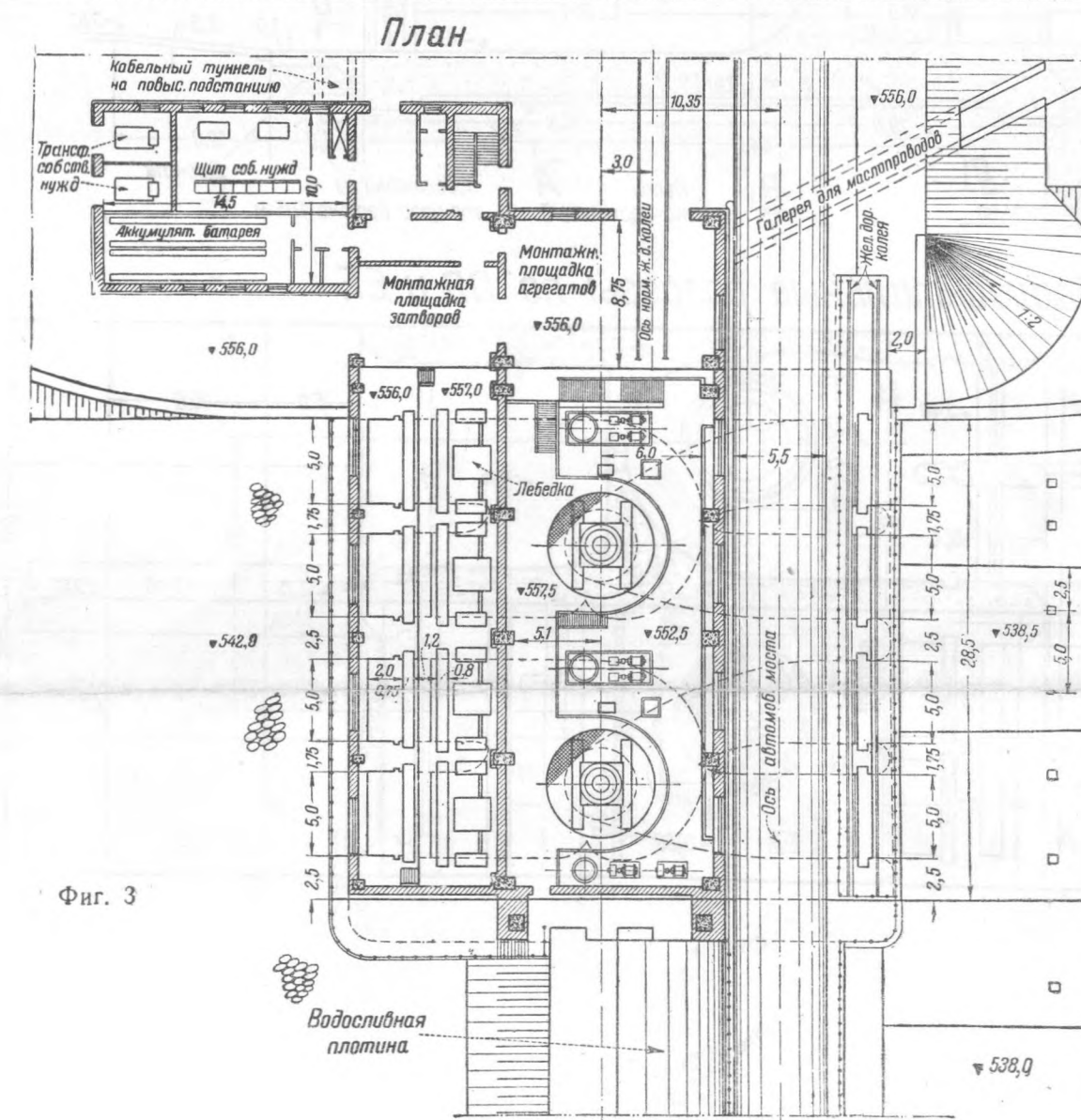


Сечение земляной плотины

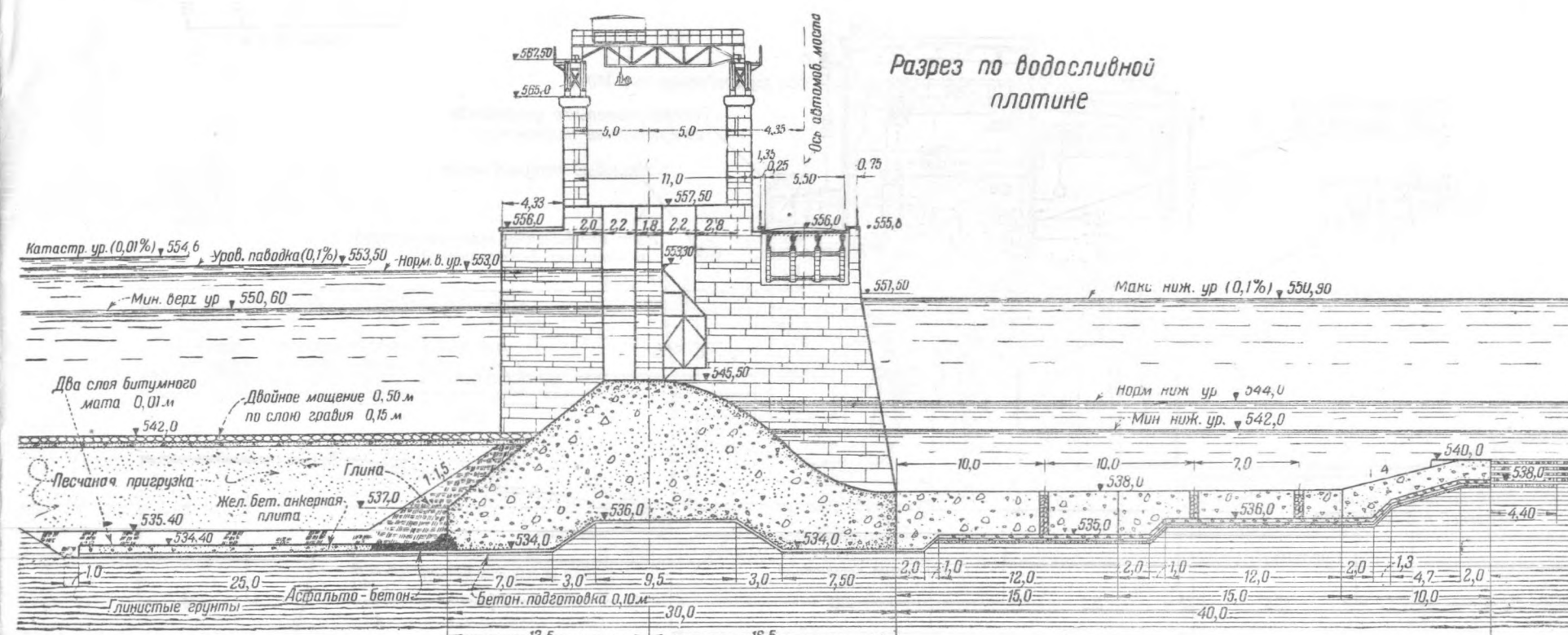
Фиг. 2.



Разрез по оси агрегата



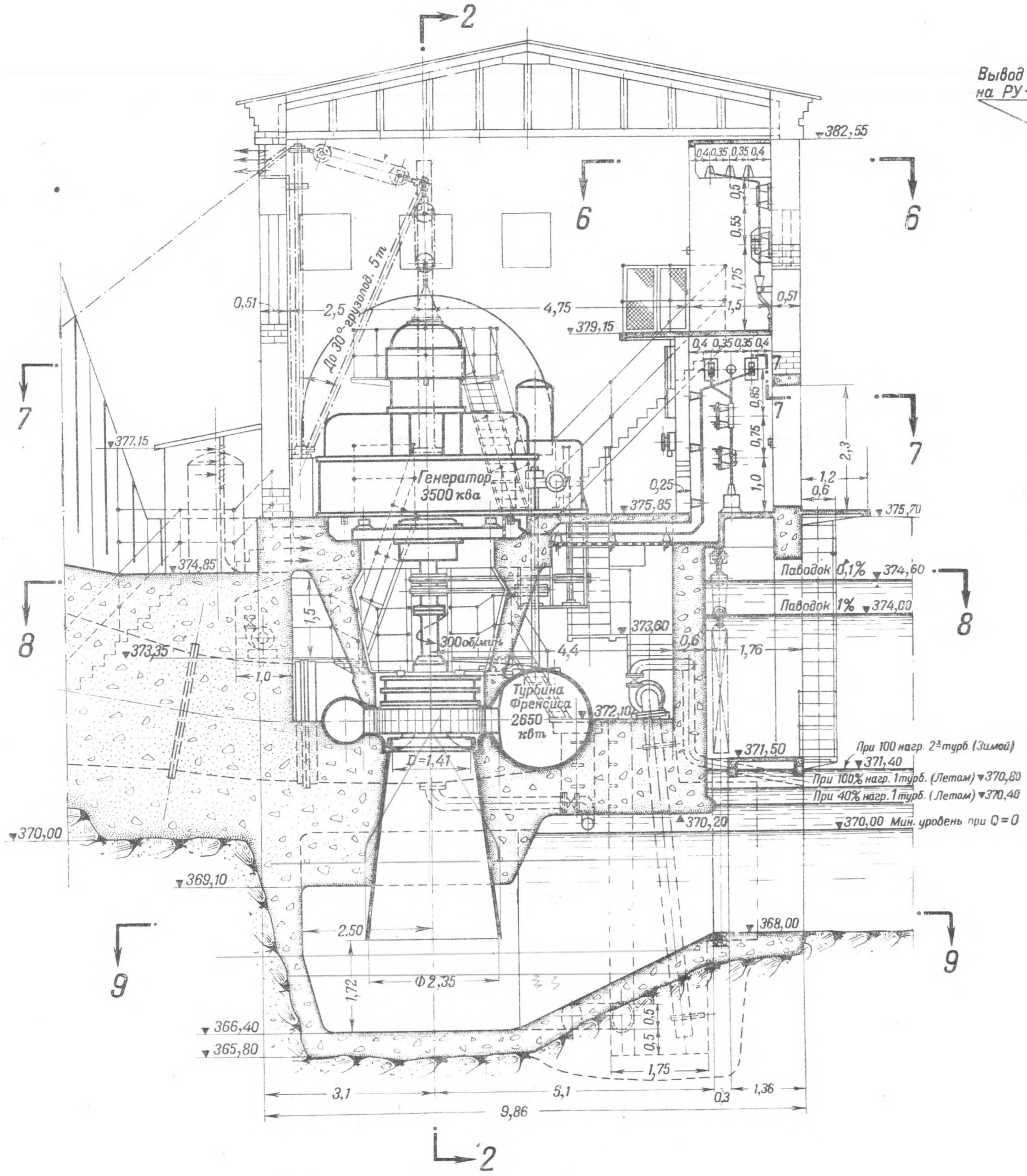
Фиг. 3



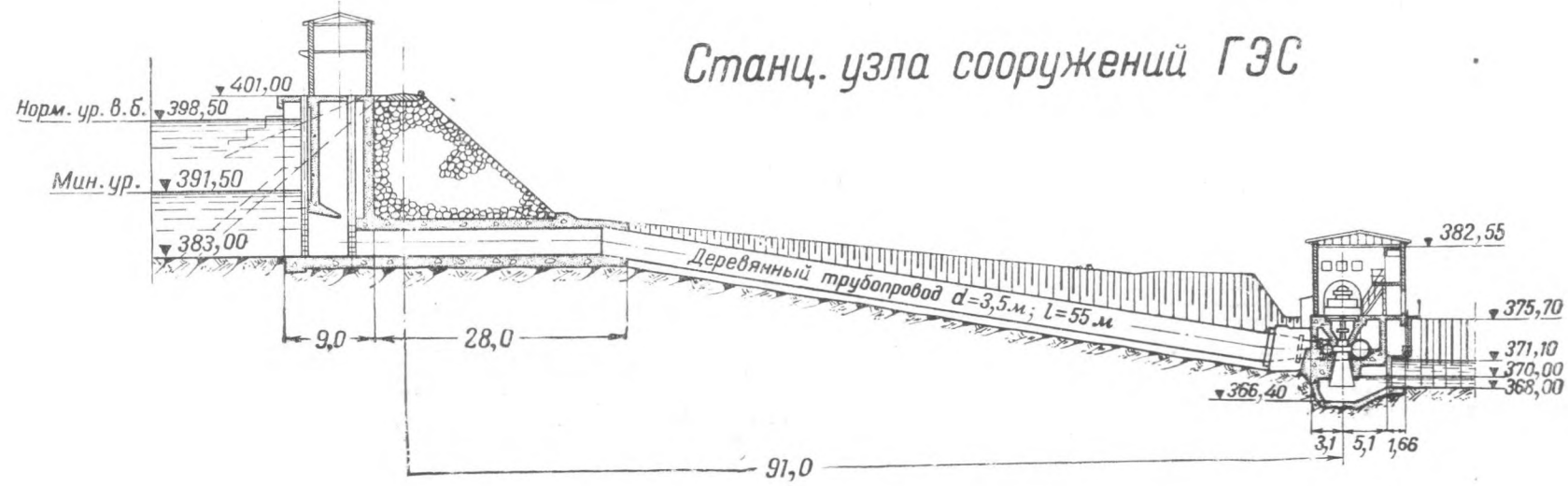
Разрез по водосливной плотине

Фиг. 4.

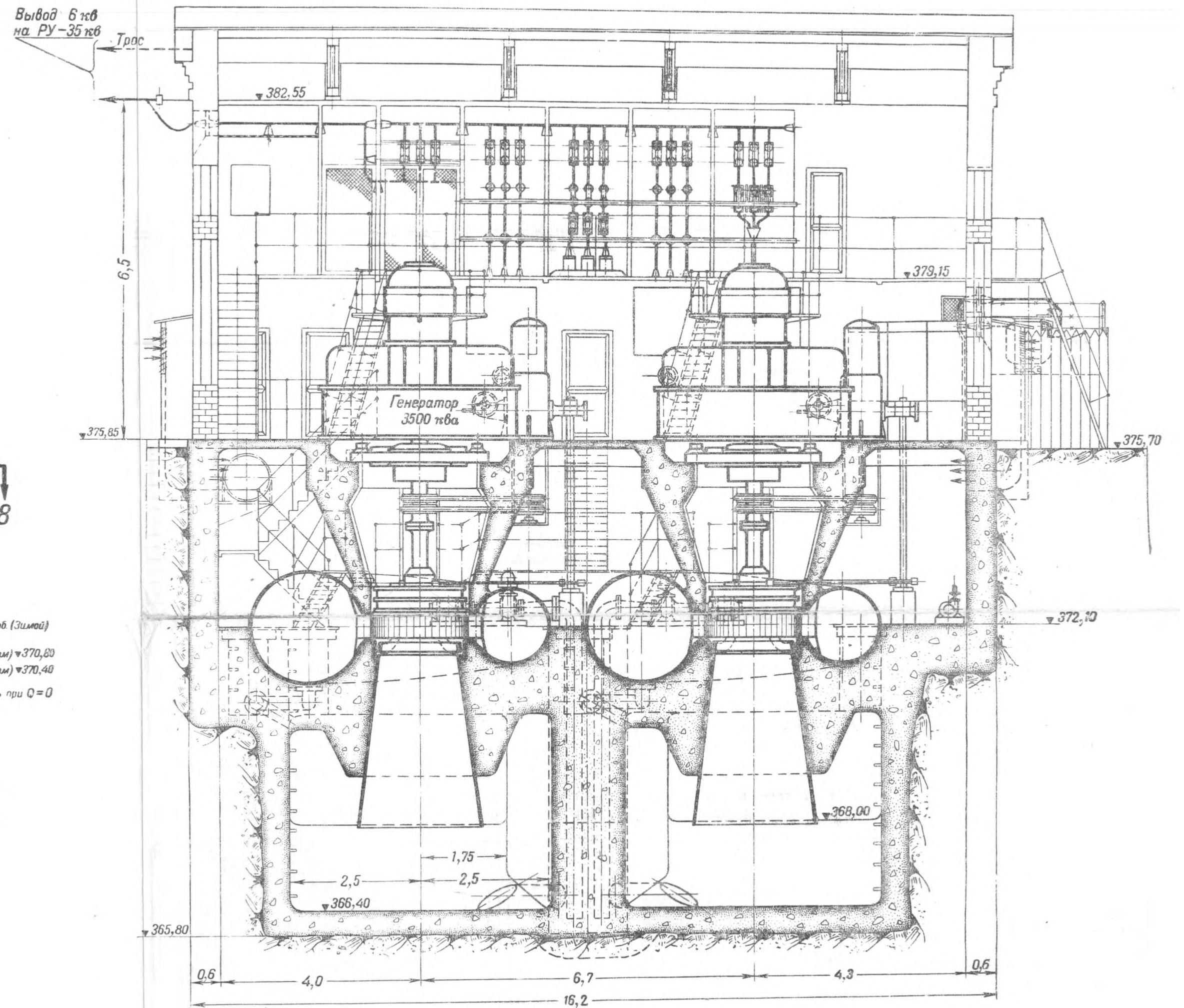
Разрез 1-1



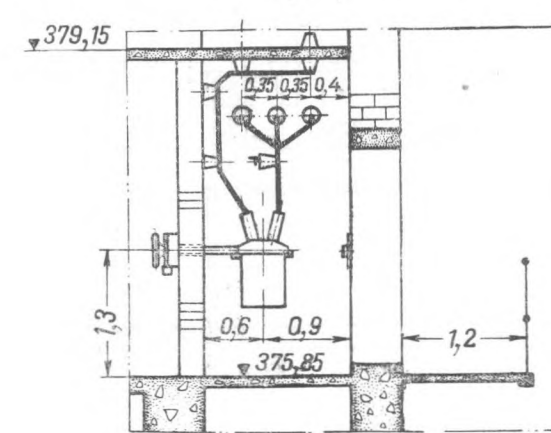
Станц. узла сооружений ГЭС



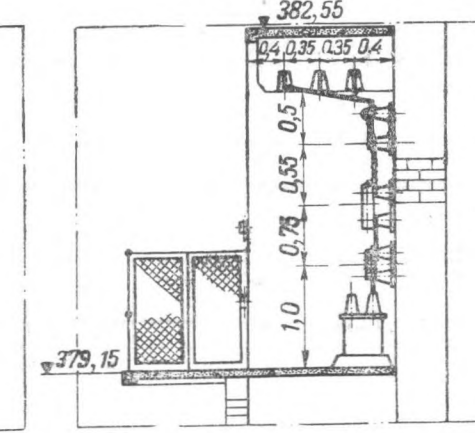
Разрез 2-2



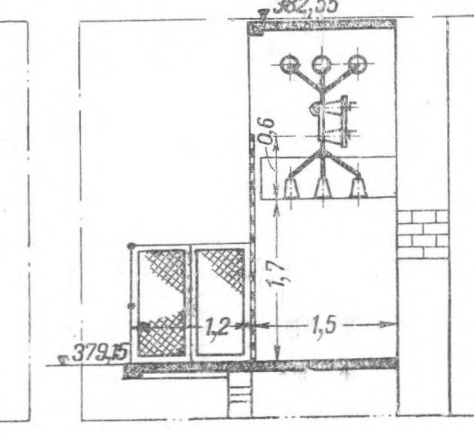
Разрез 3-3



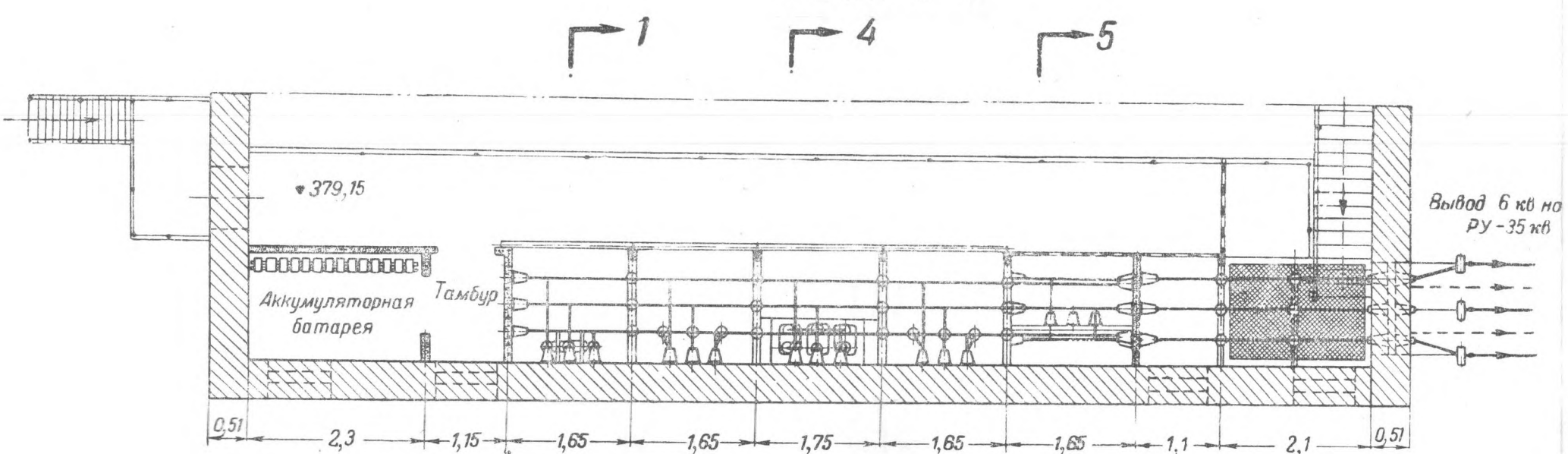
Разрез 4-4



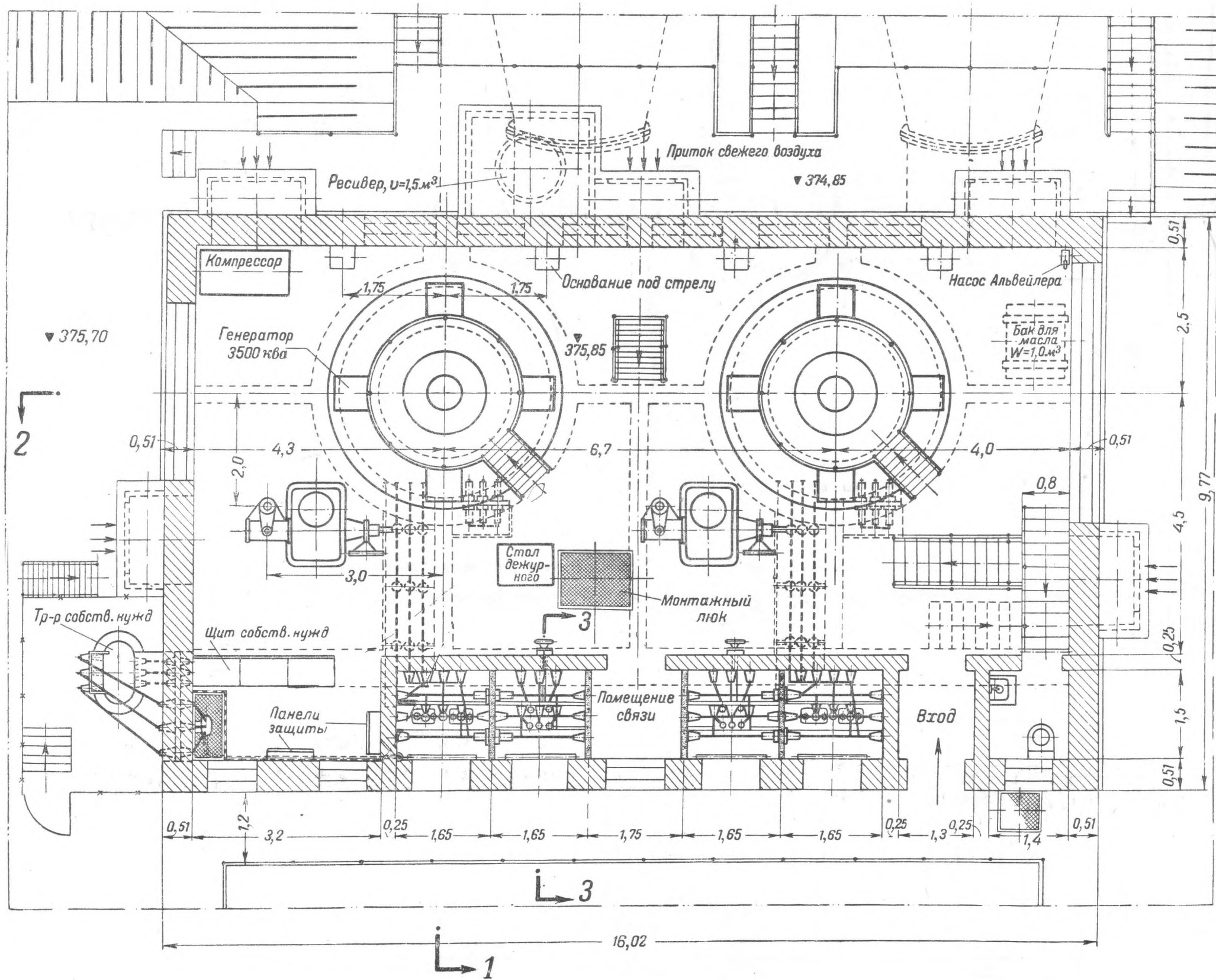
Разрез 5-5



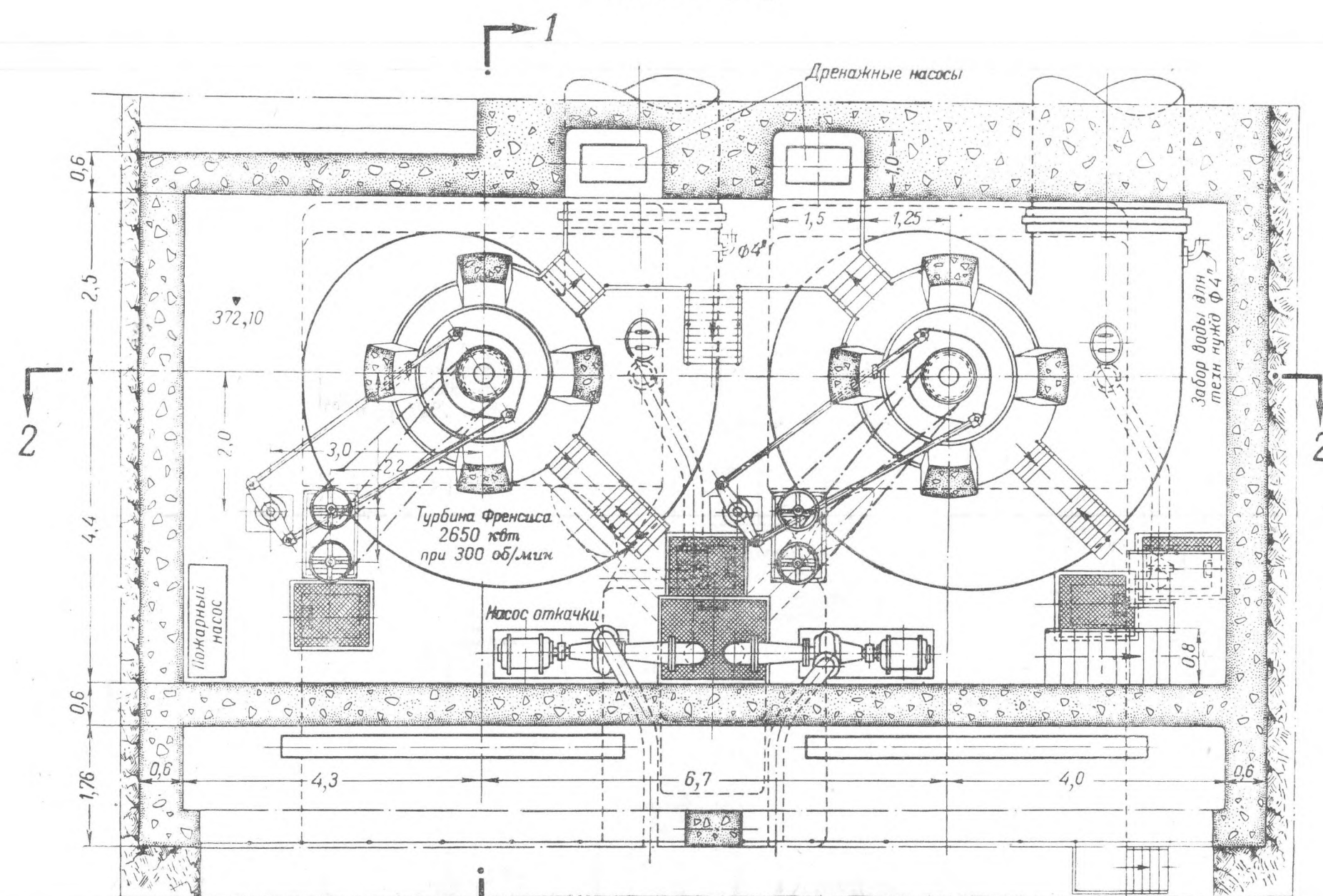
План 6-6



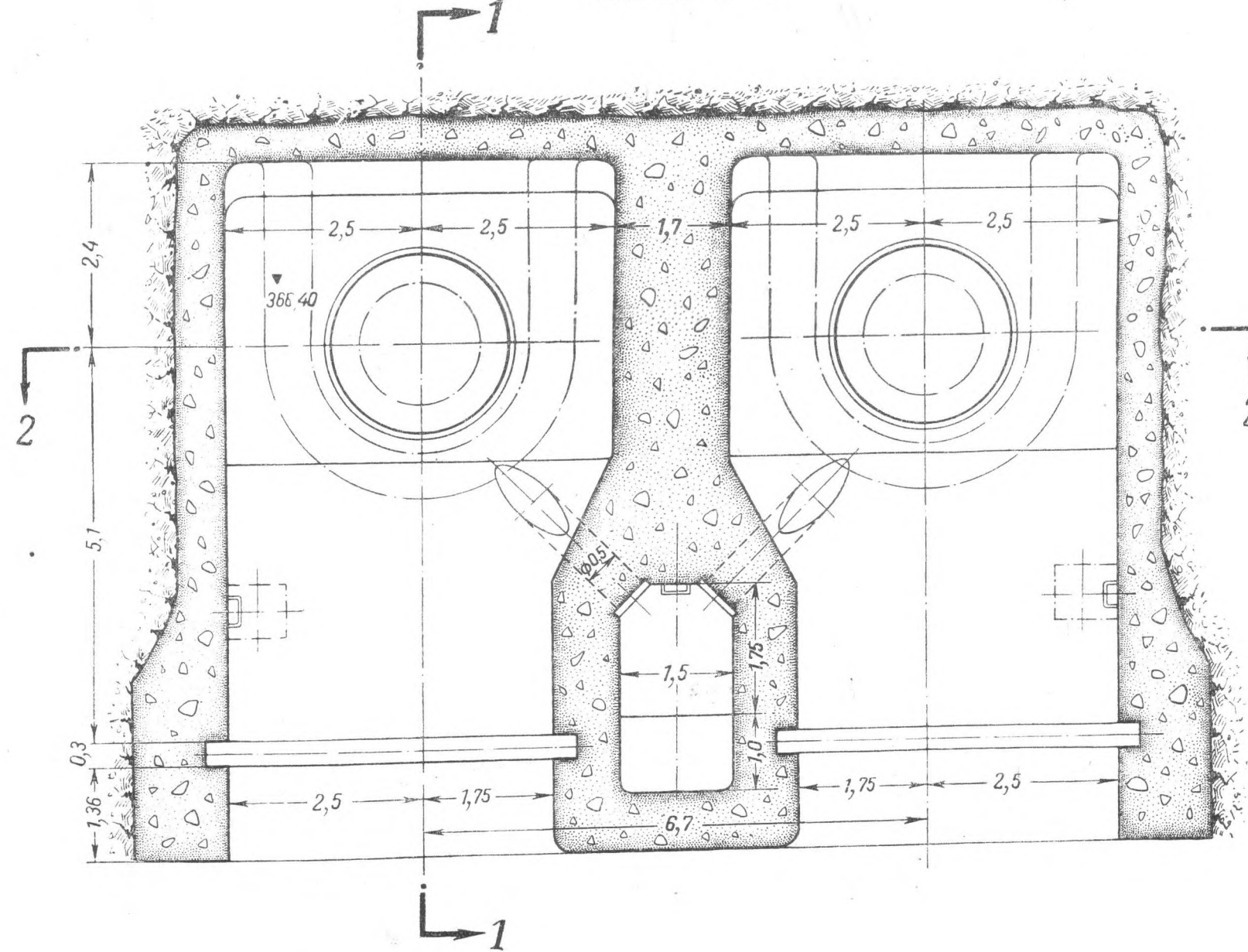
План 7-7

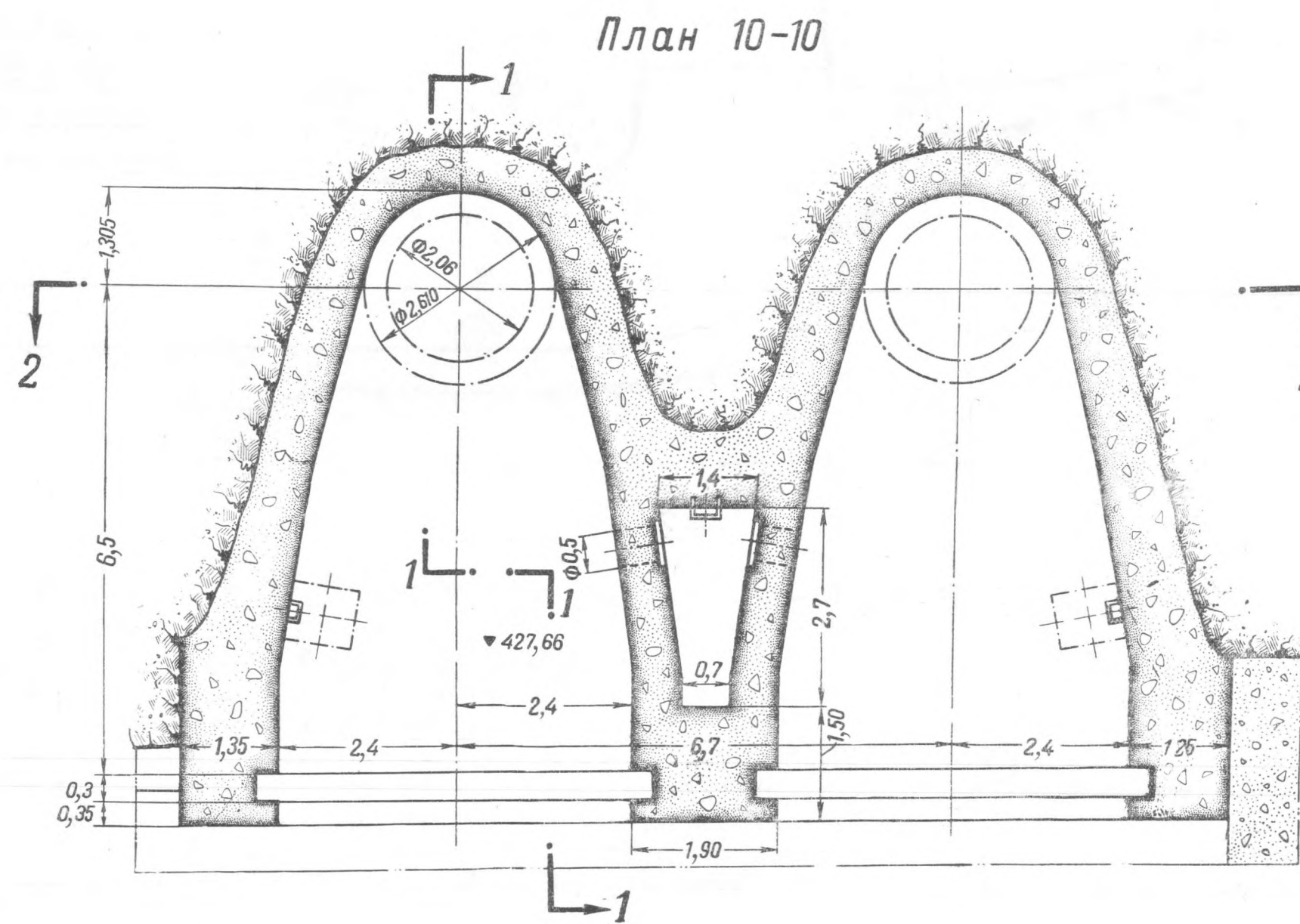
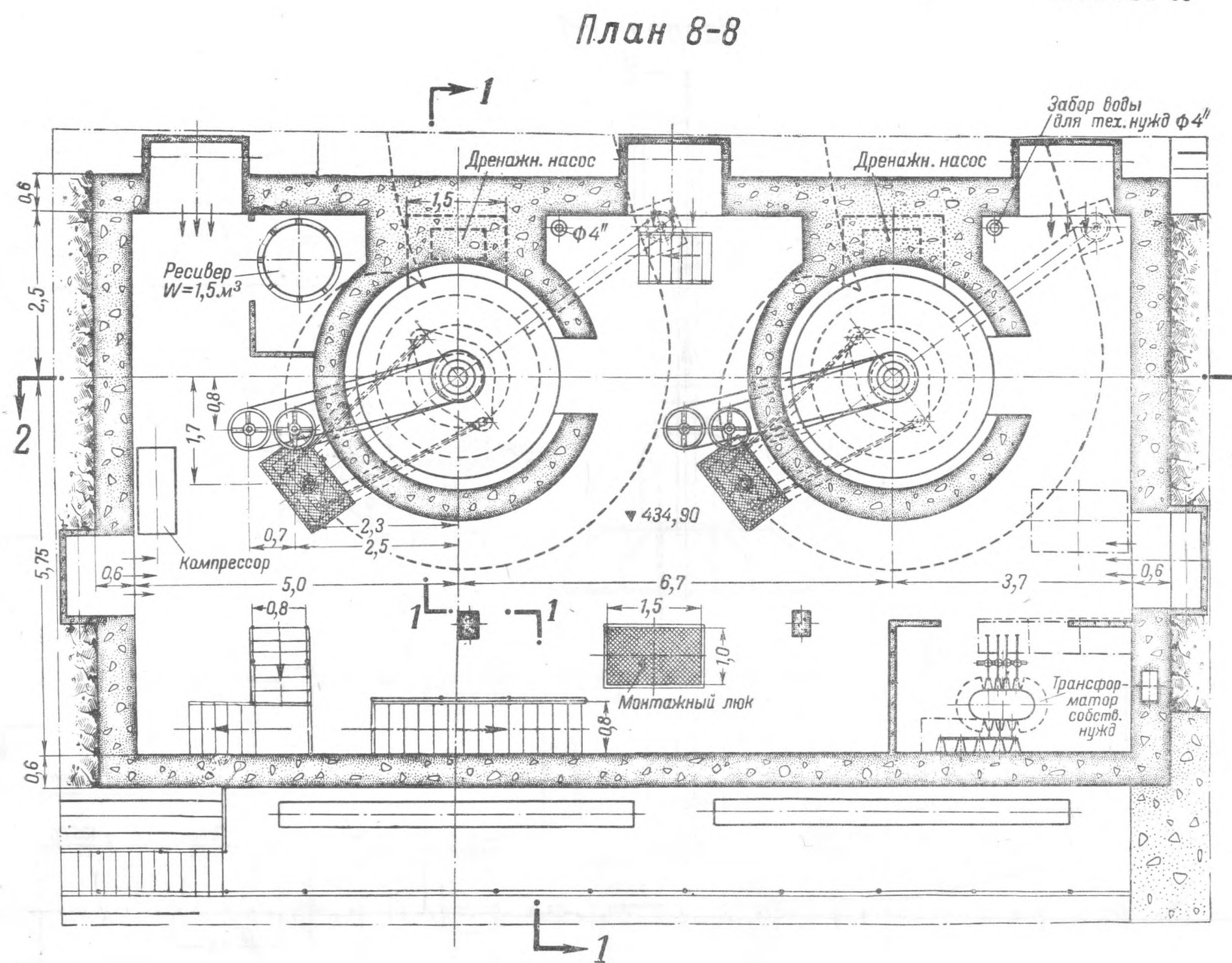
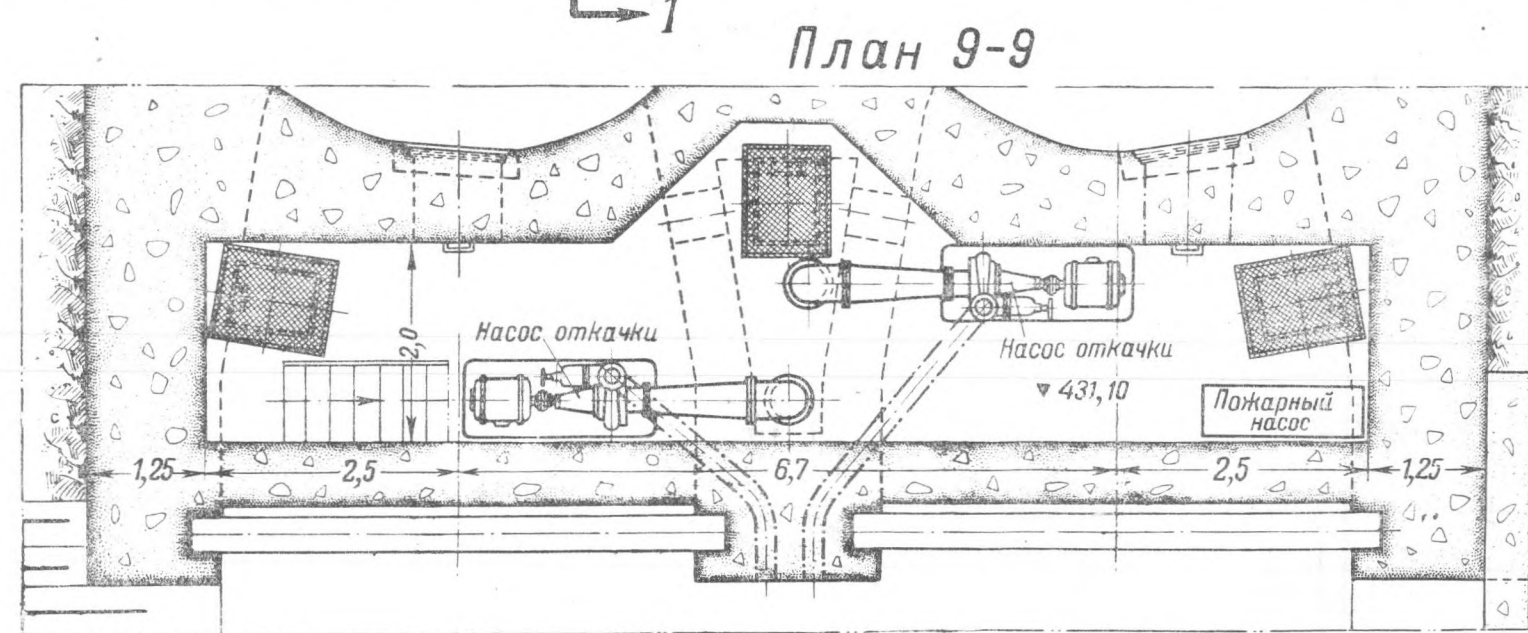
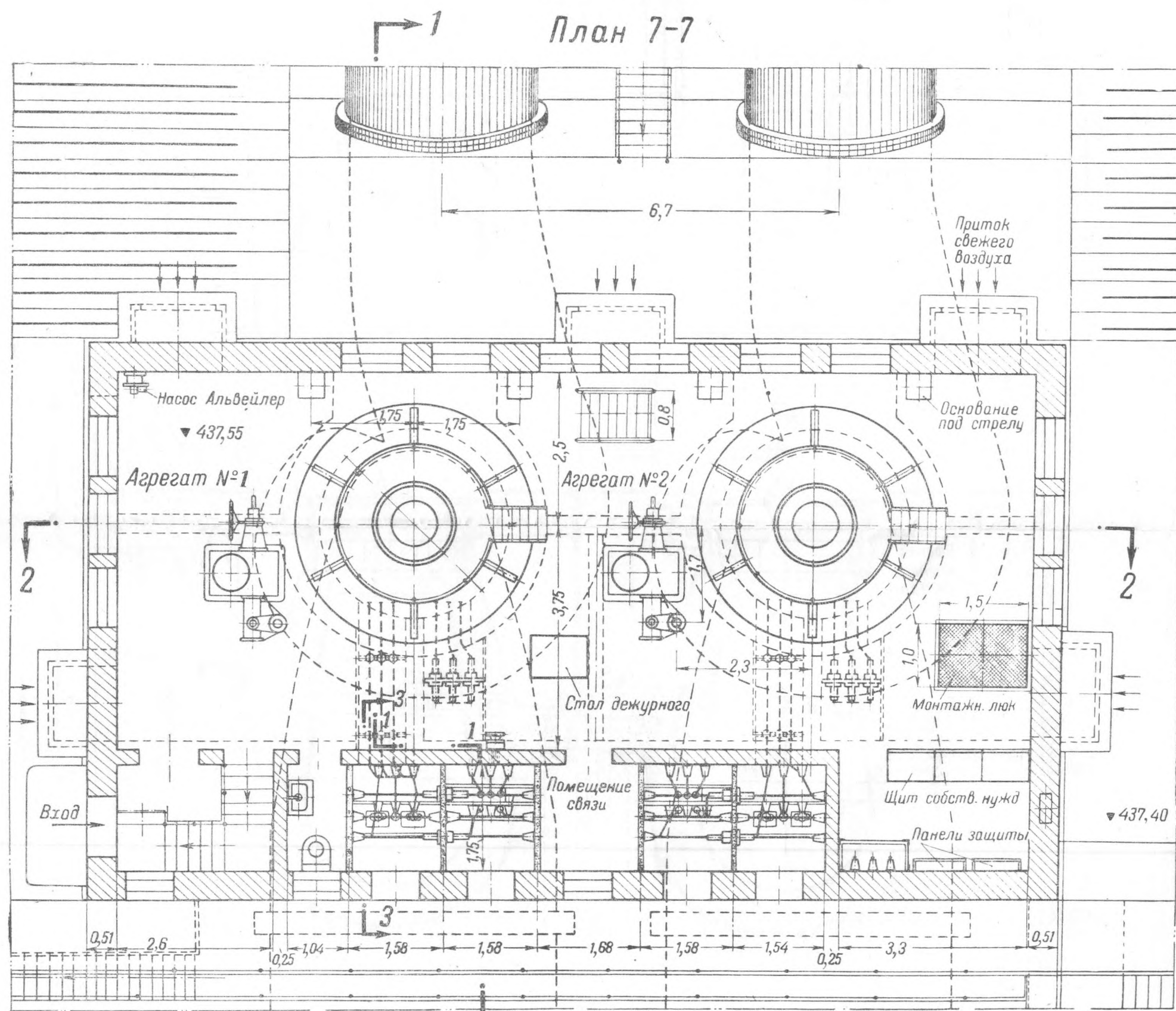
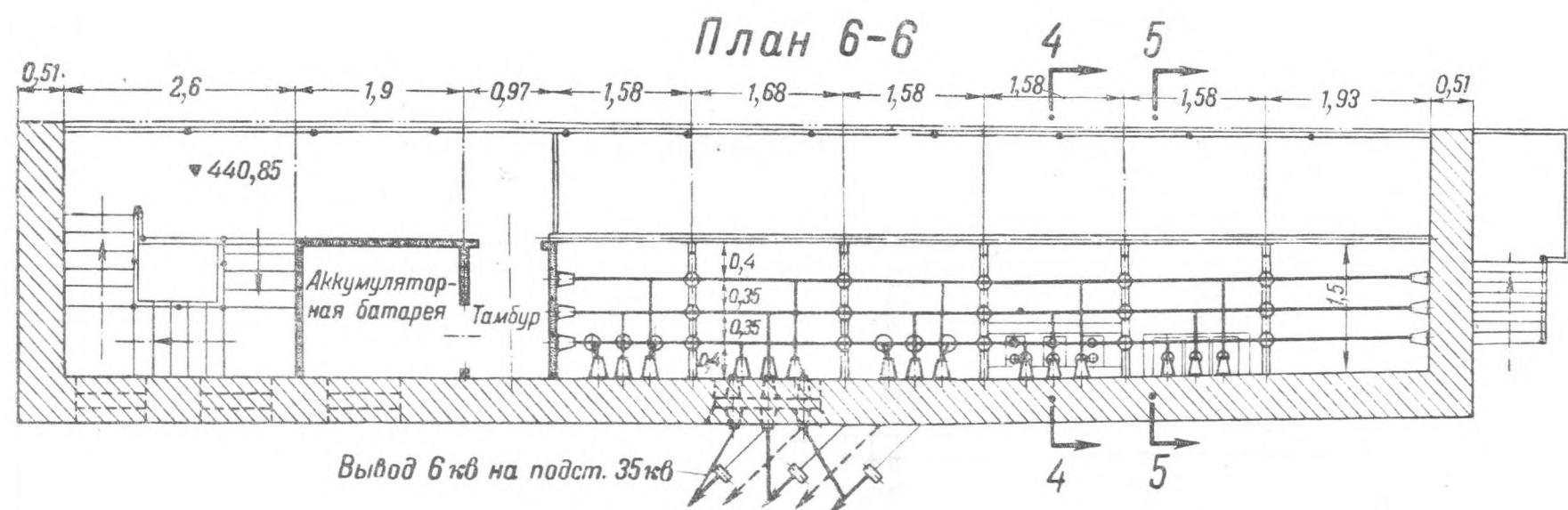


План 8-8

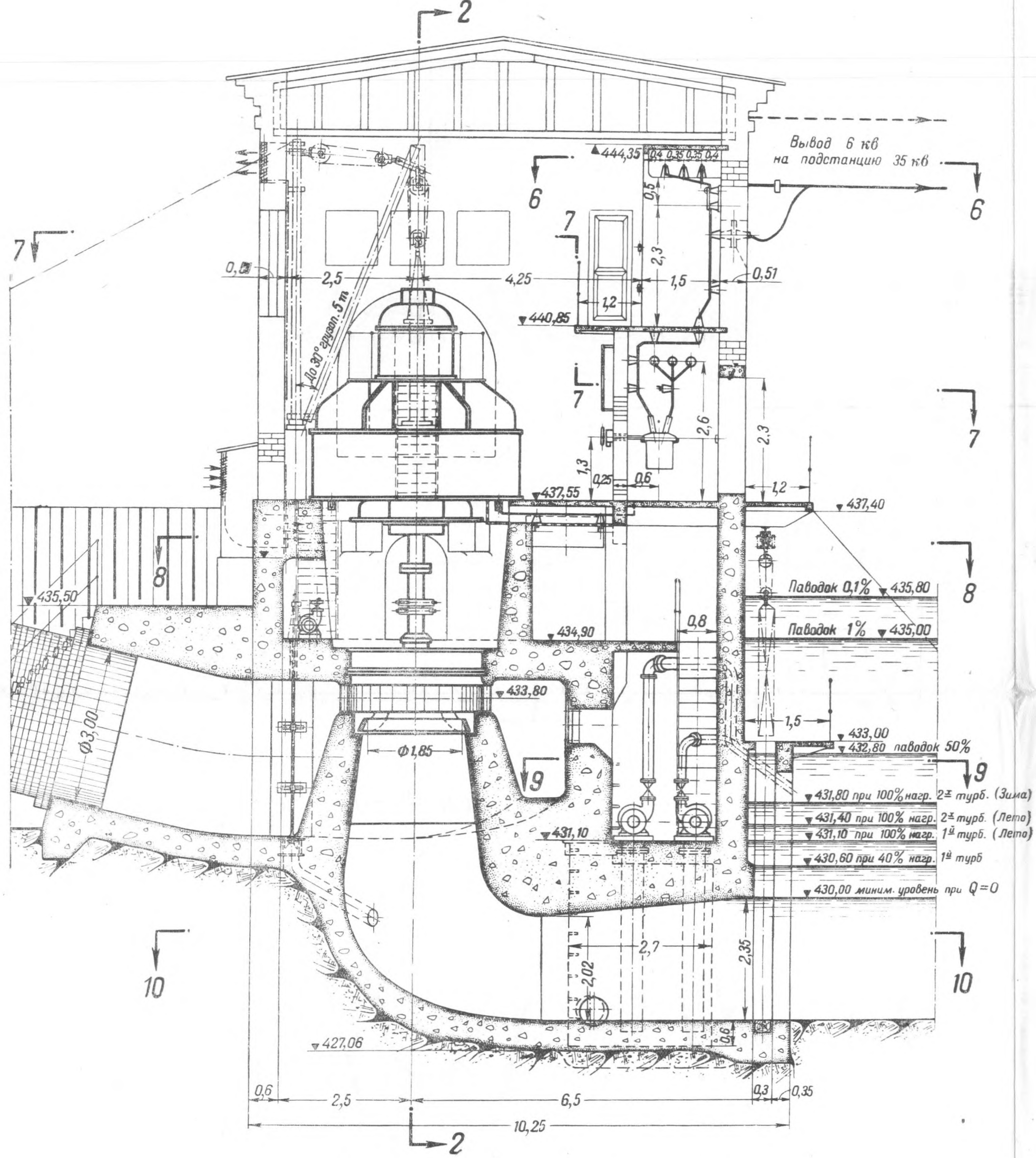


План 9-9





Разрез 1-1



Разрез 2-2

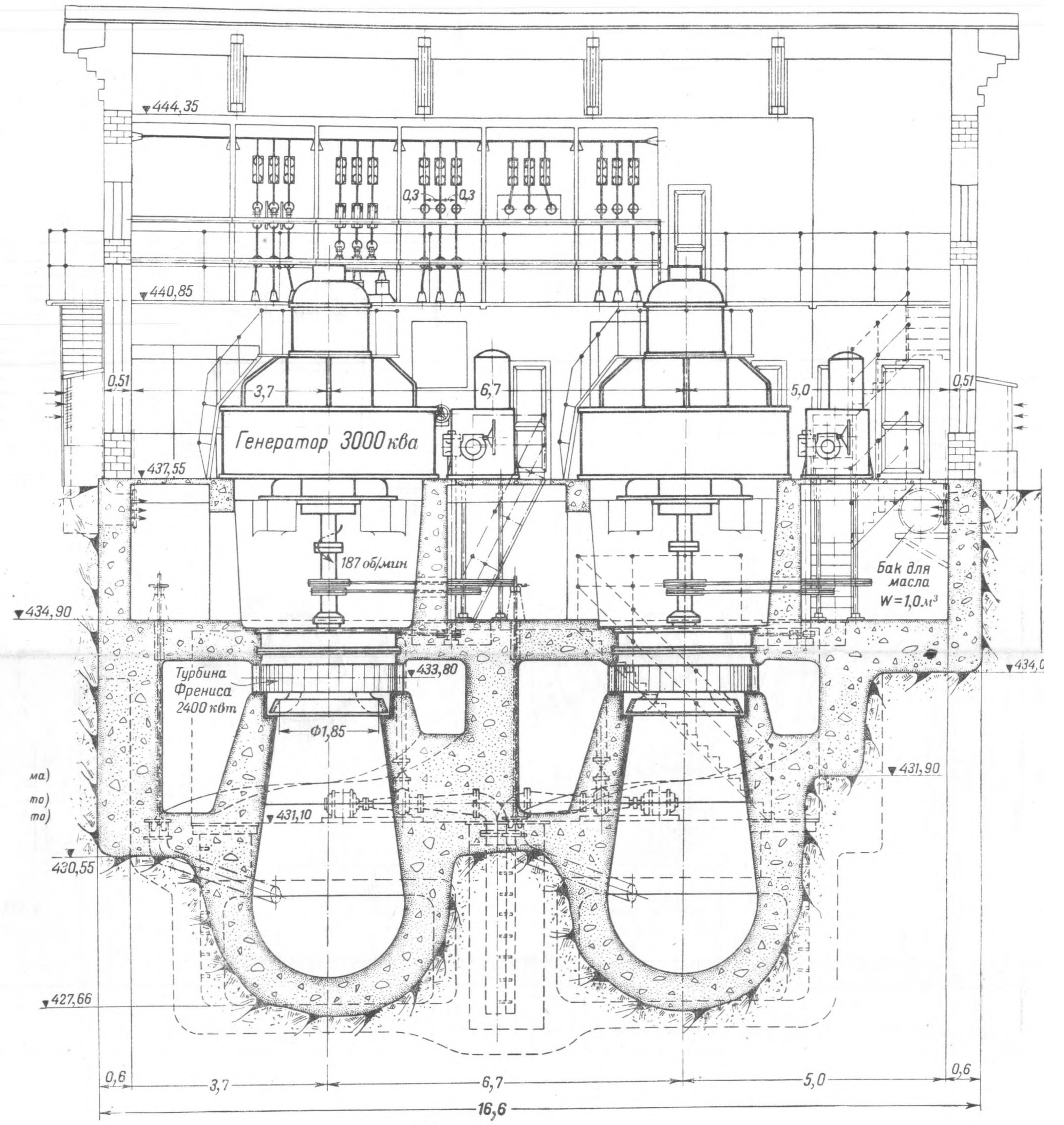
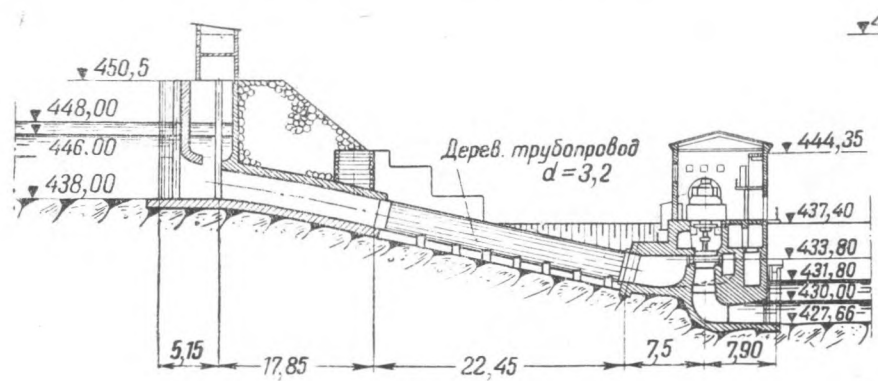
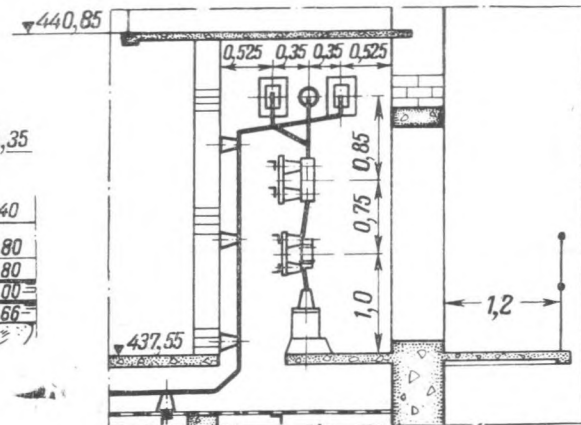


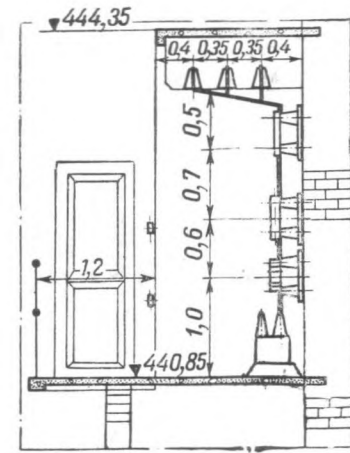
Схема станц. узла сооружений



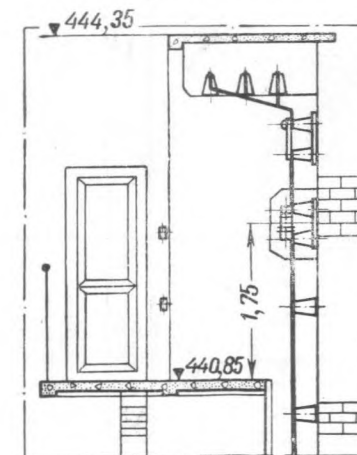
Разрез 3-3

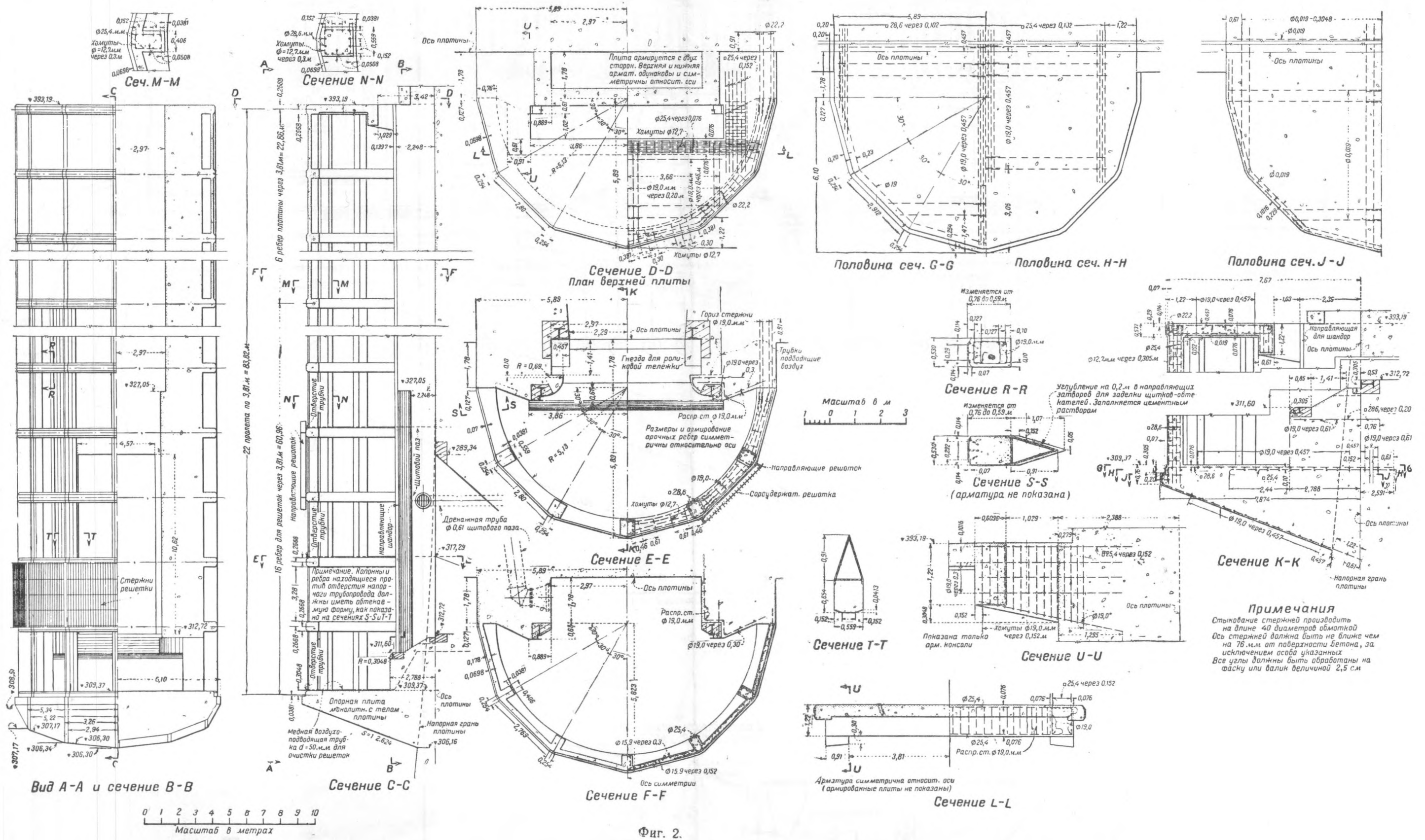


Разрез 4-4

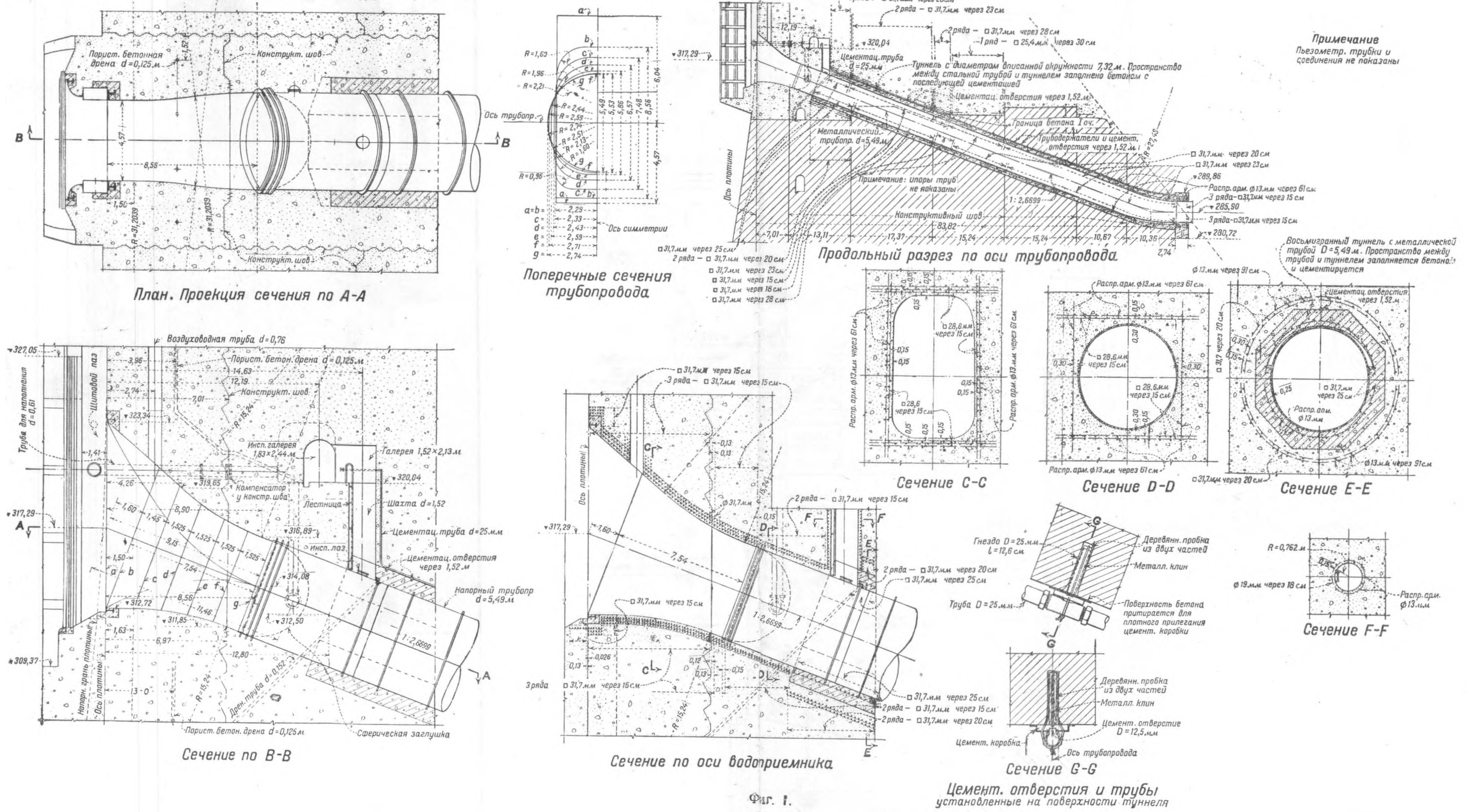


Разрез 5-5



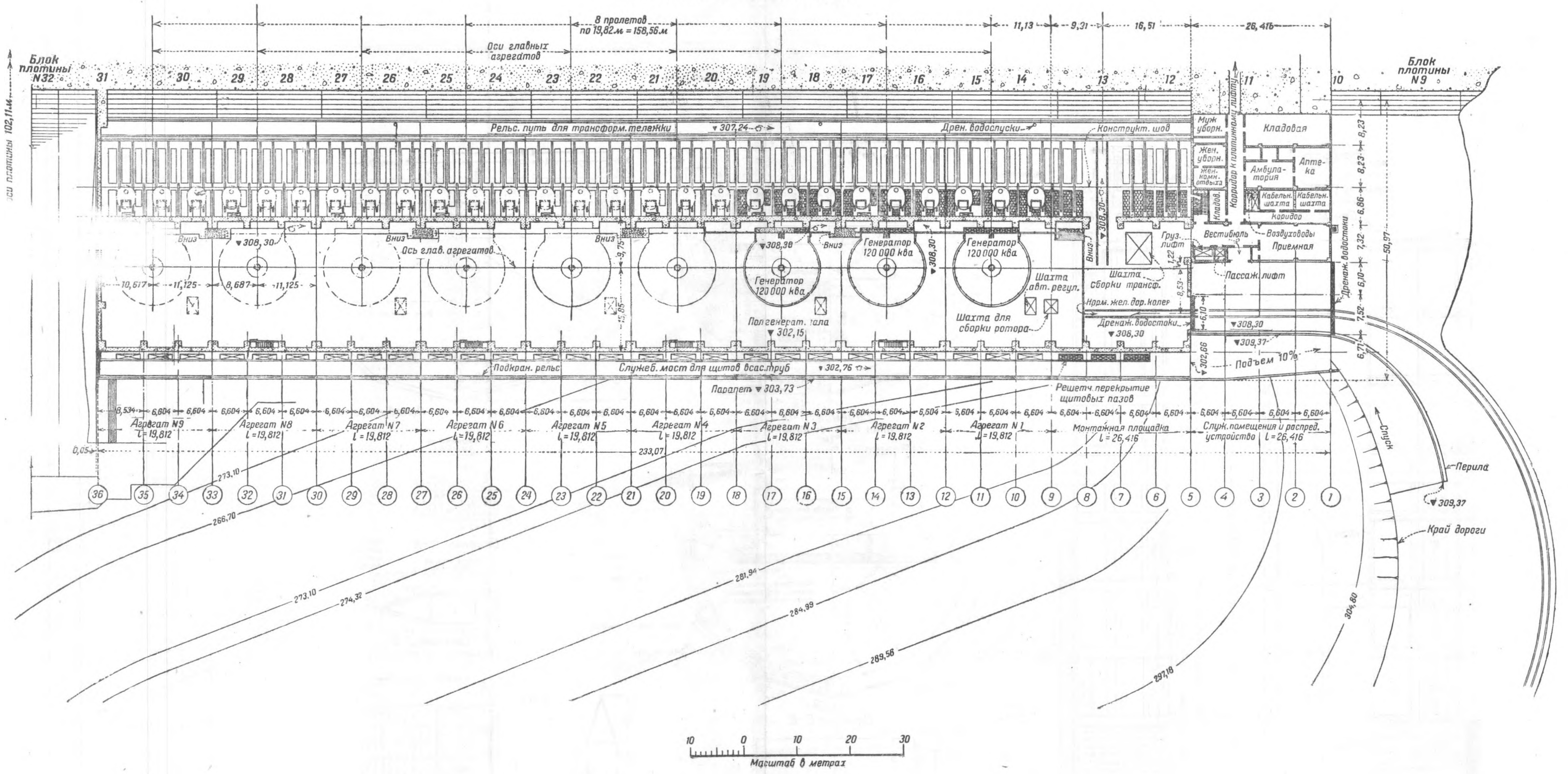


Фиг. 2.

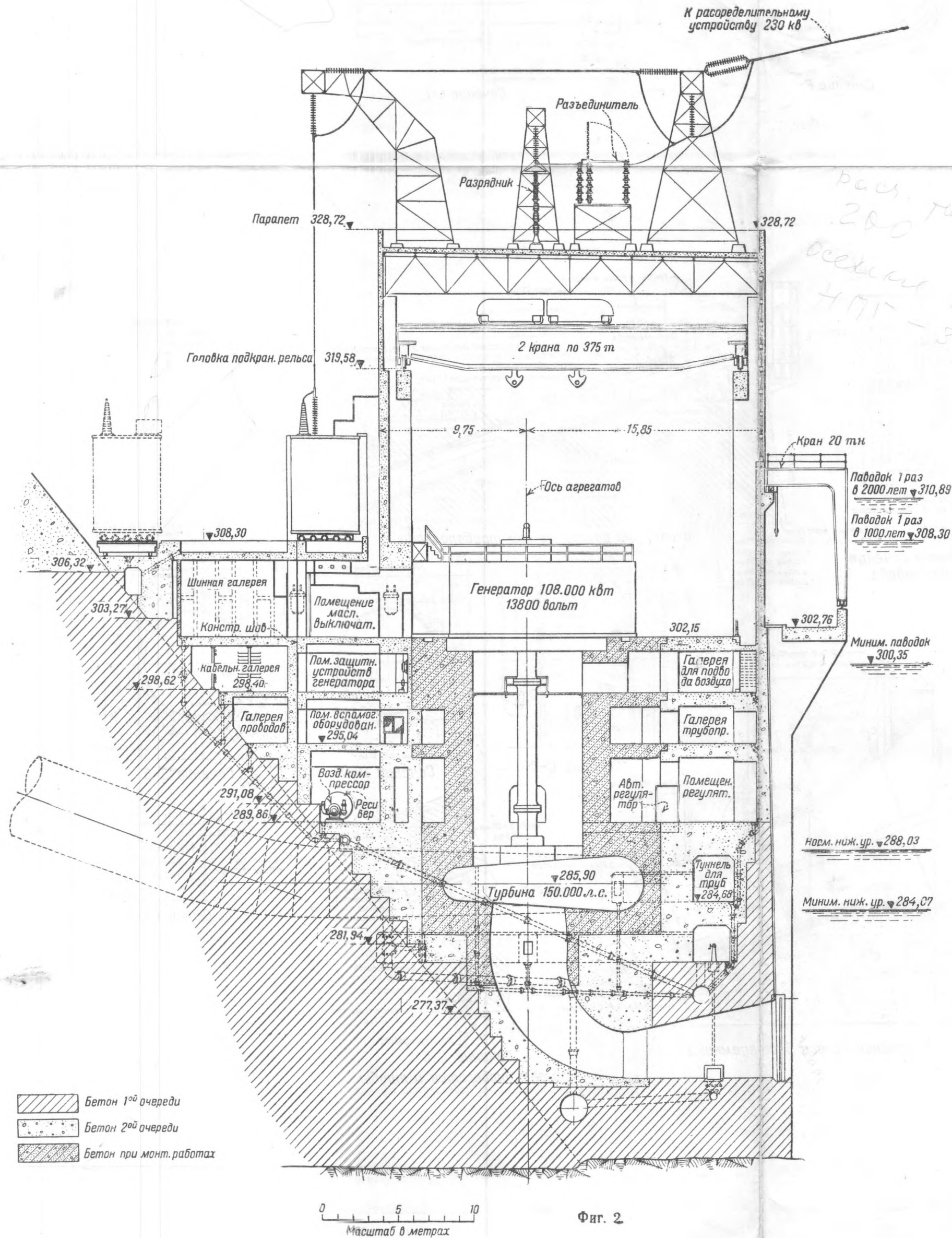


Фиг. 1.

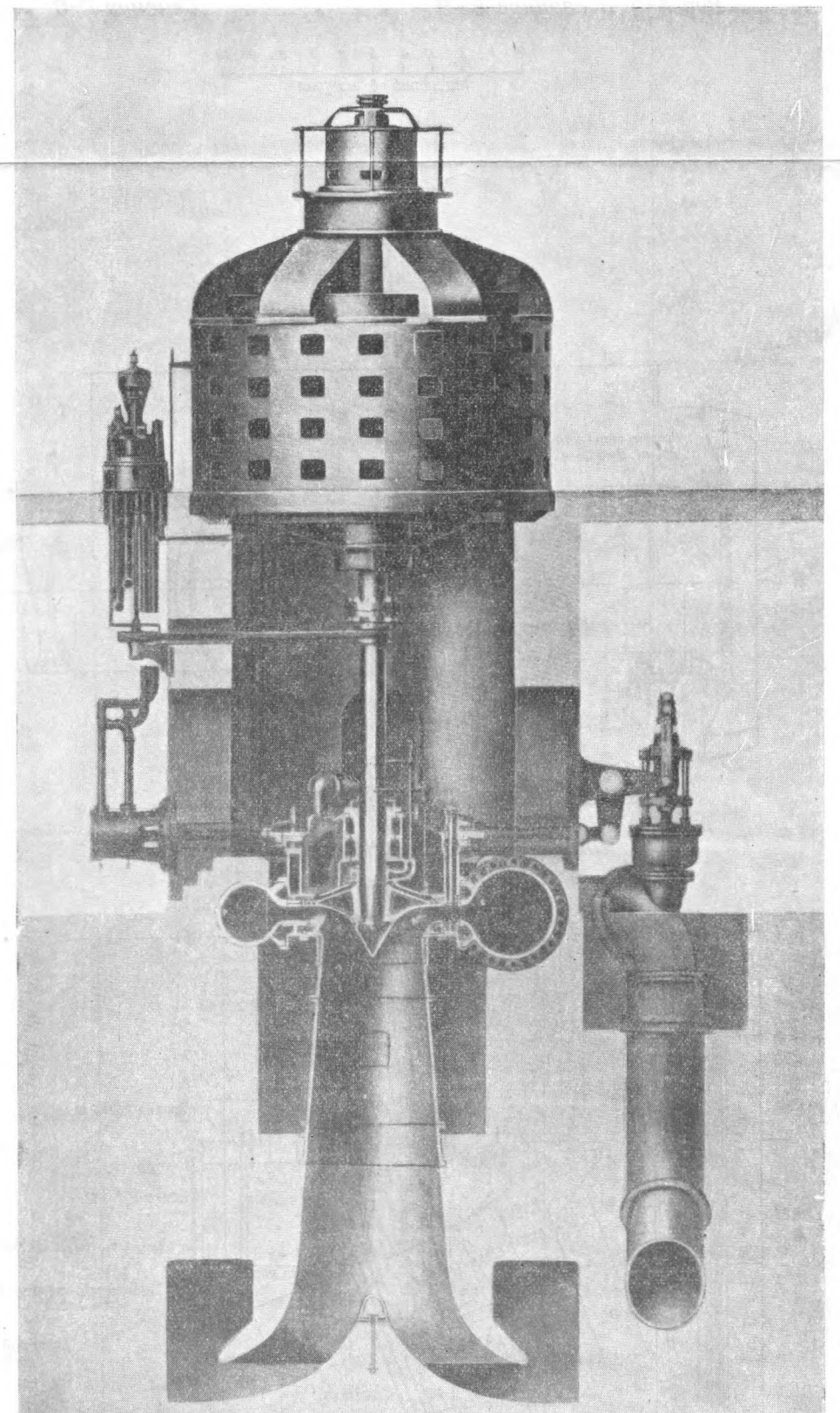
Массивная бетонная плотина



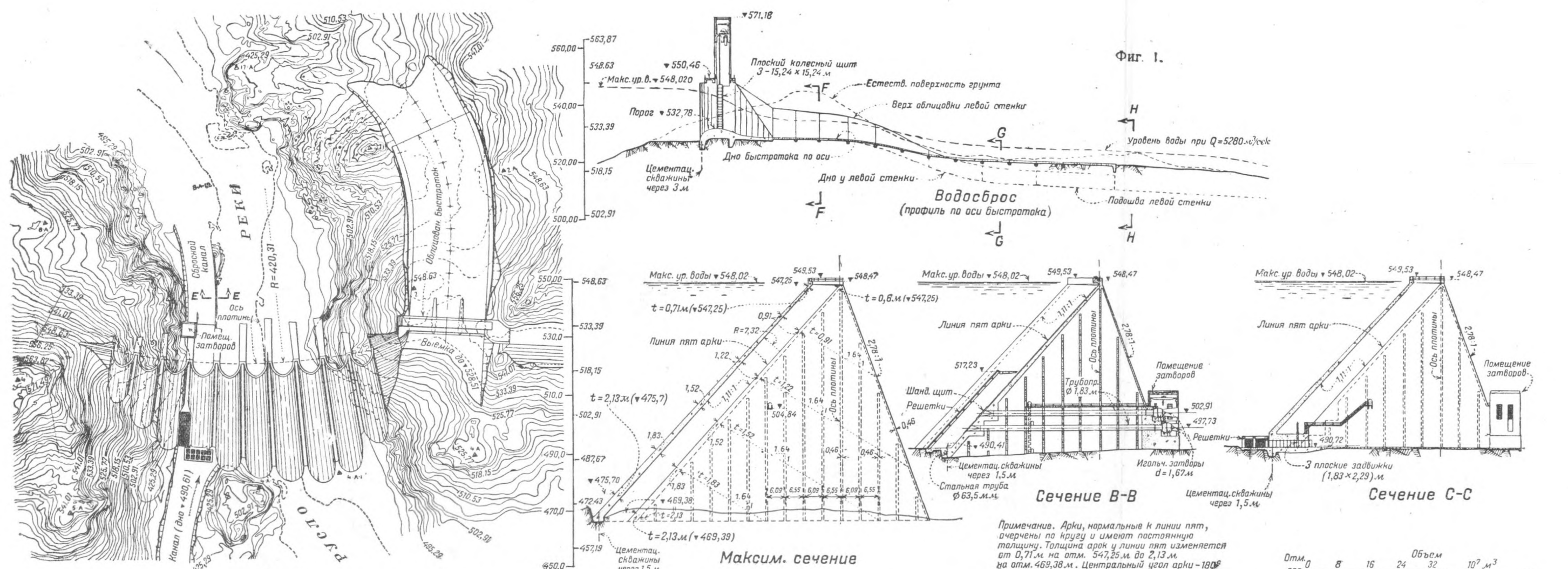
Фиг. 1.



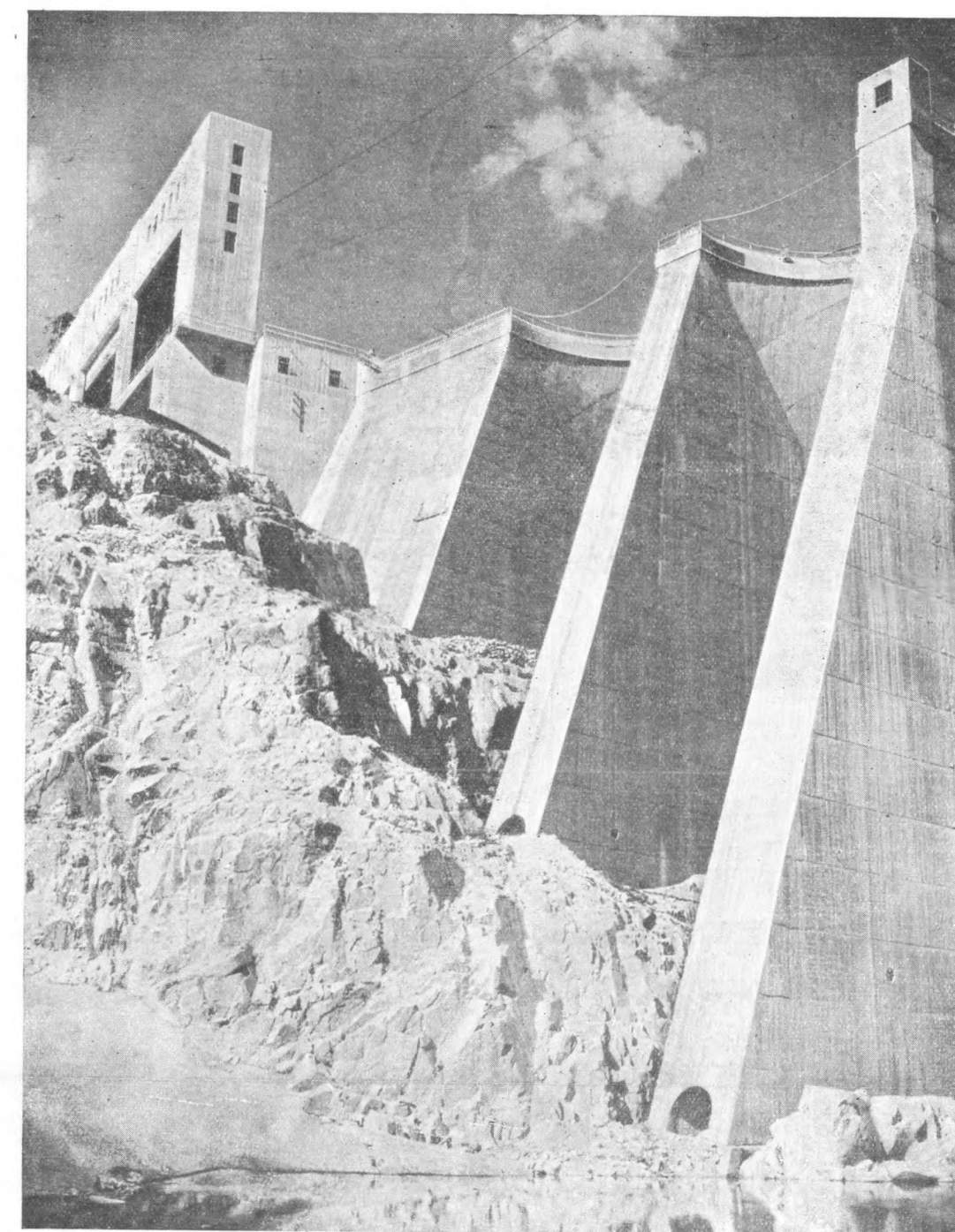
Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 1.



Фиг. 6.

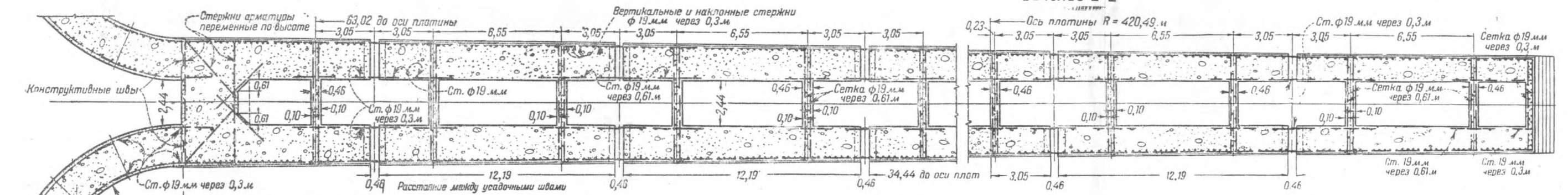


Вид с верхнего бьефа

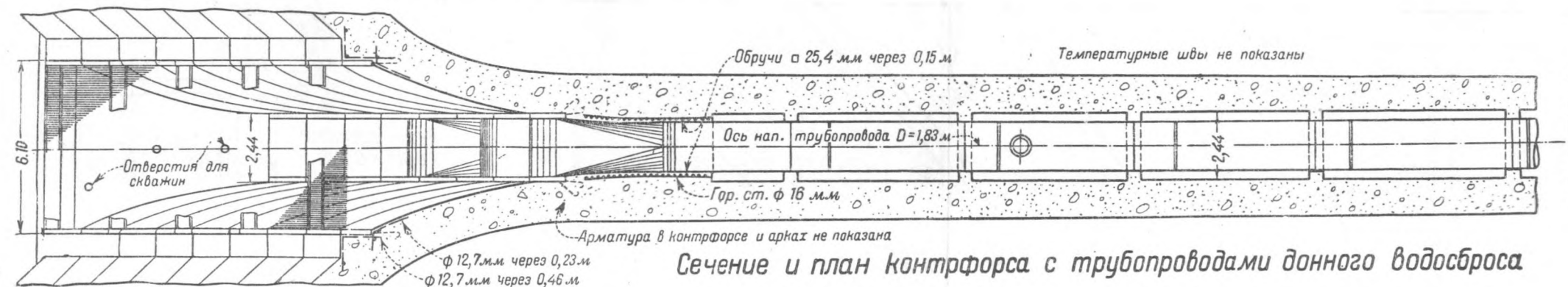
Вид с нижнего бьефа

Сечение А-А

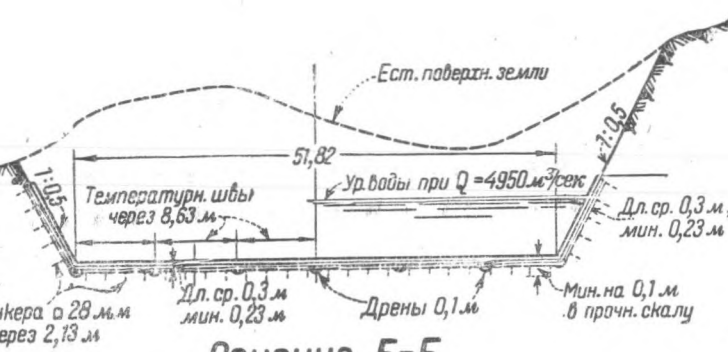
Сечение Е-Е



Сечение контрфорса на +469,39



Сечение и план контрфорса с трубопроводами донного водосброса



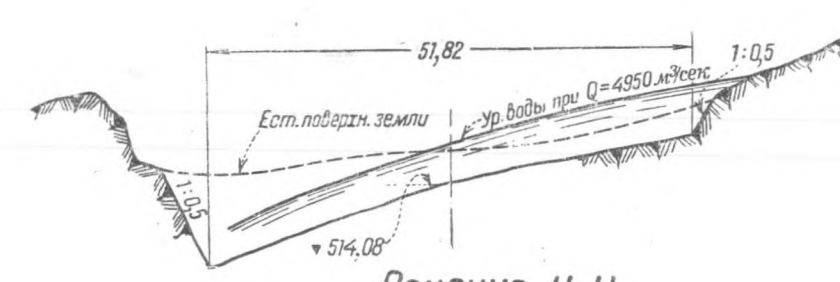
Сечение F-F

Фиг. 2.



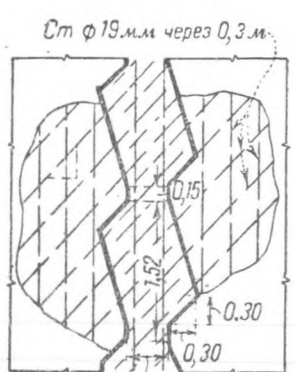
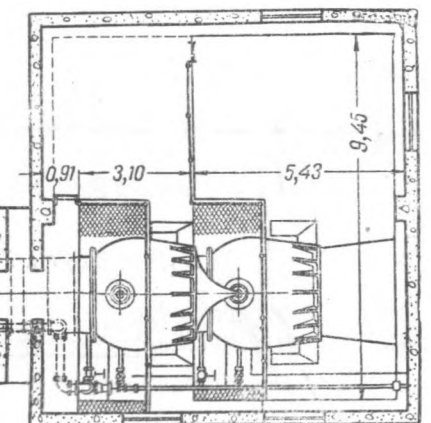
Сечение G-G

Фиг. 3.



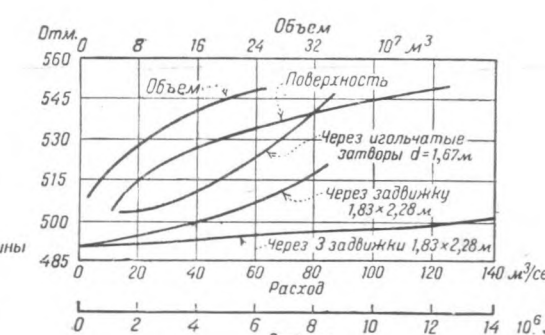
Сечение H-H

Фиг. 4.

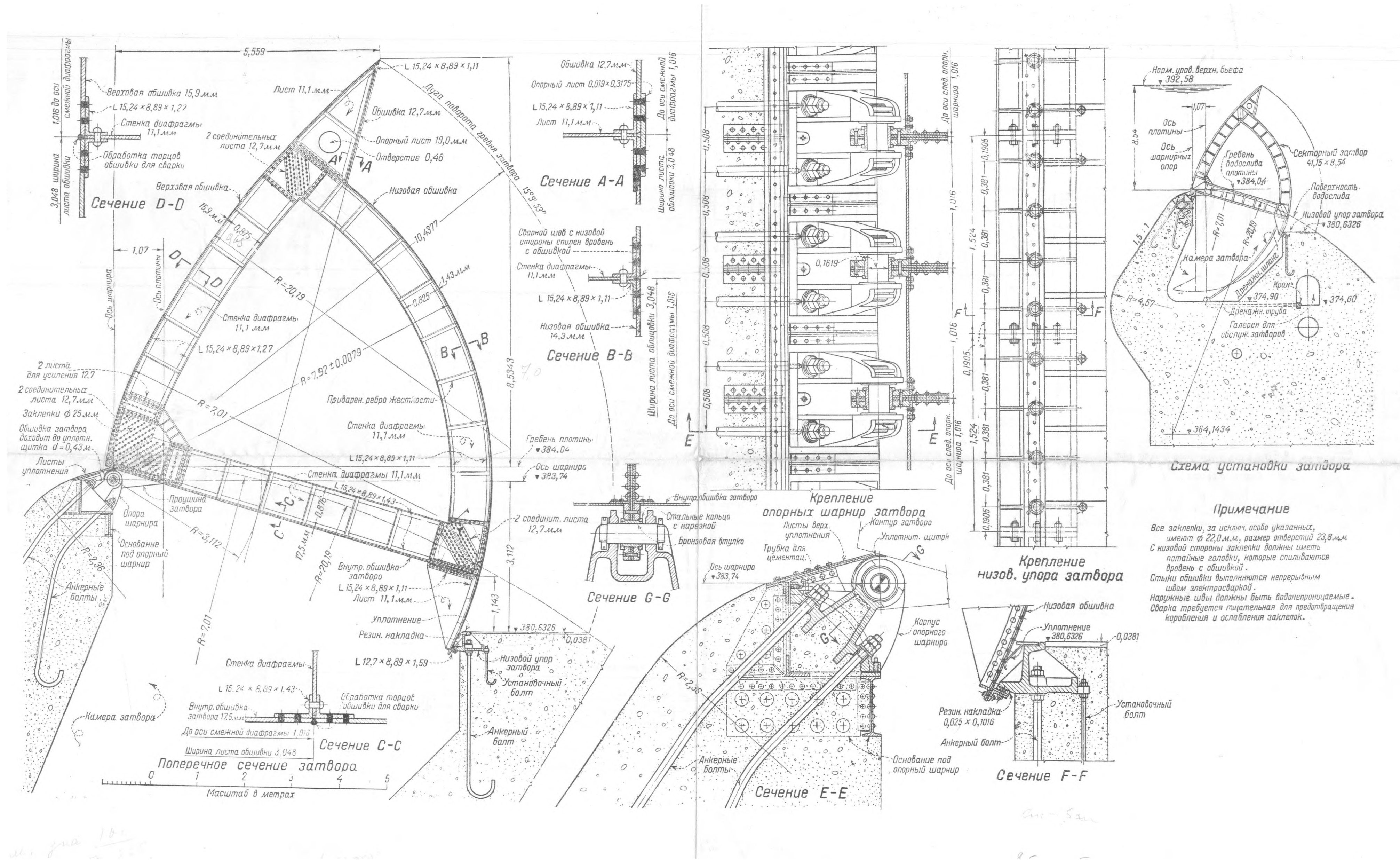


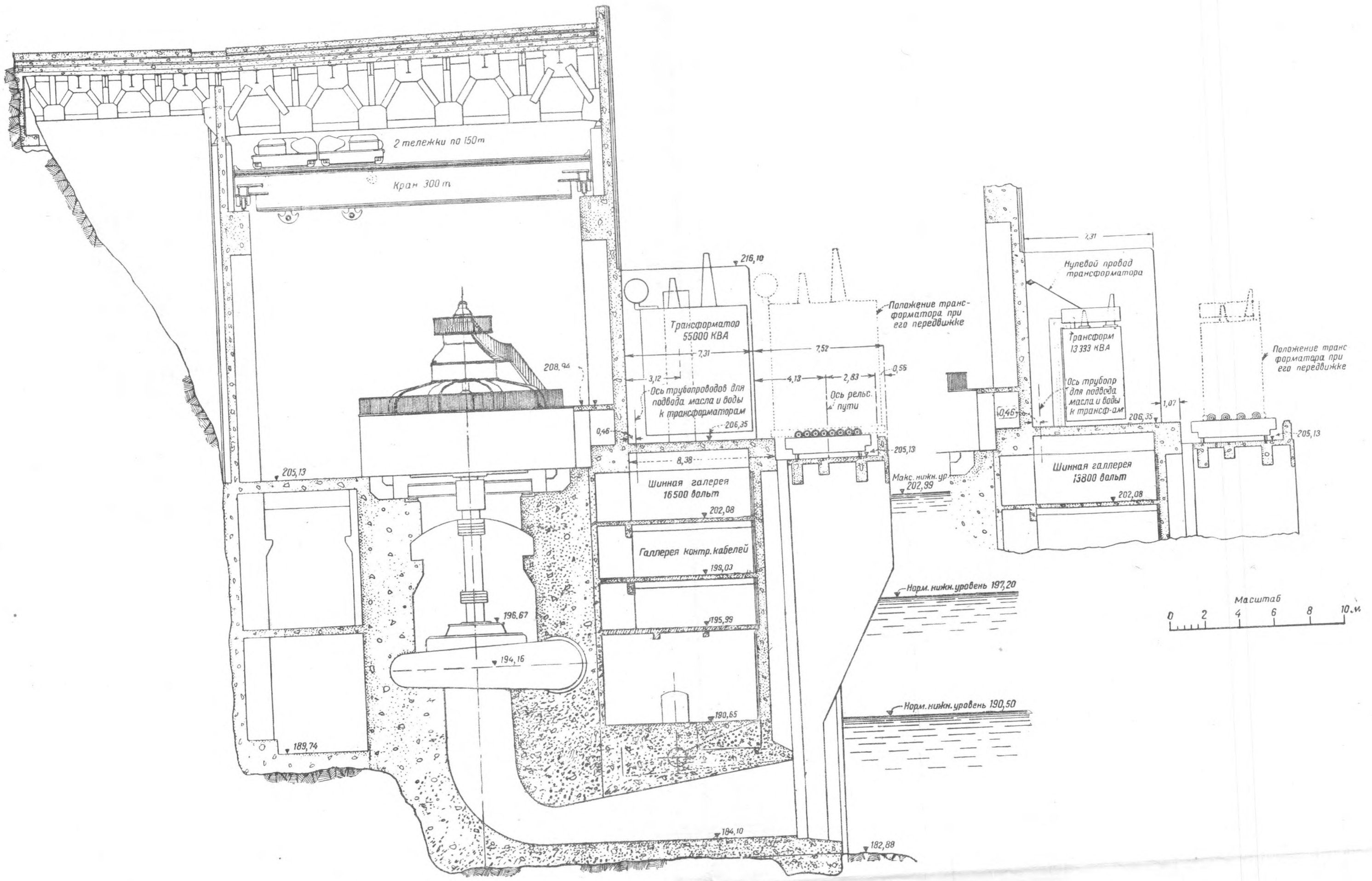
Деталь усадочного шва

Фиг. 5.

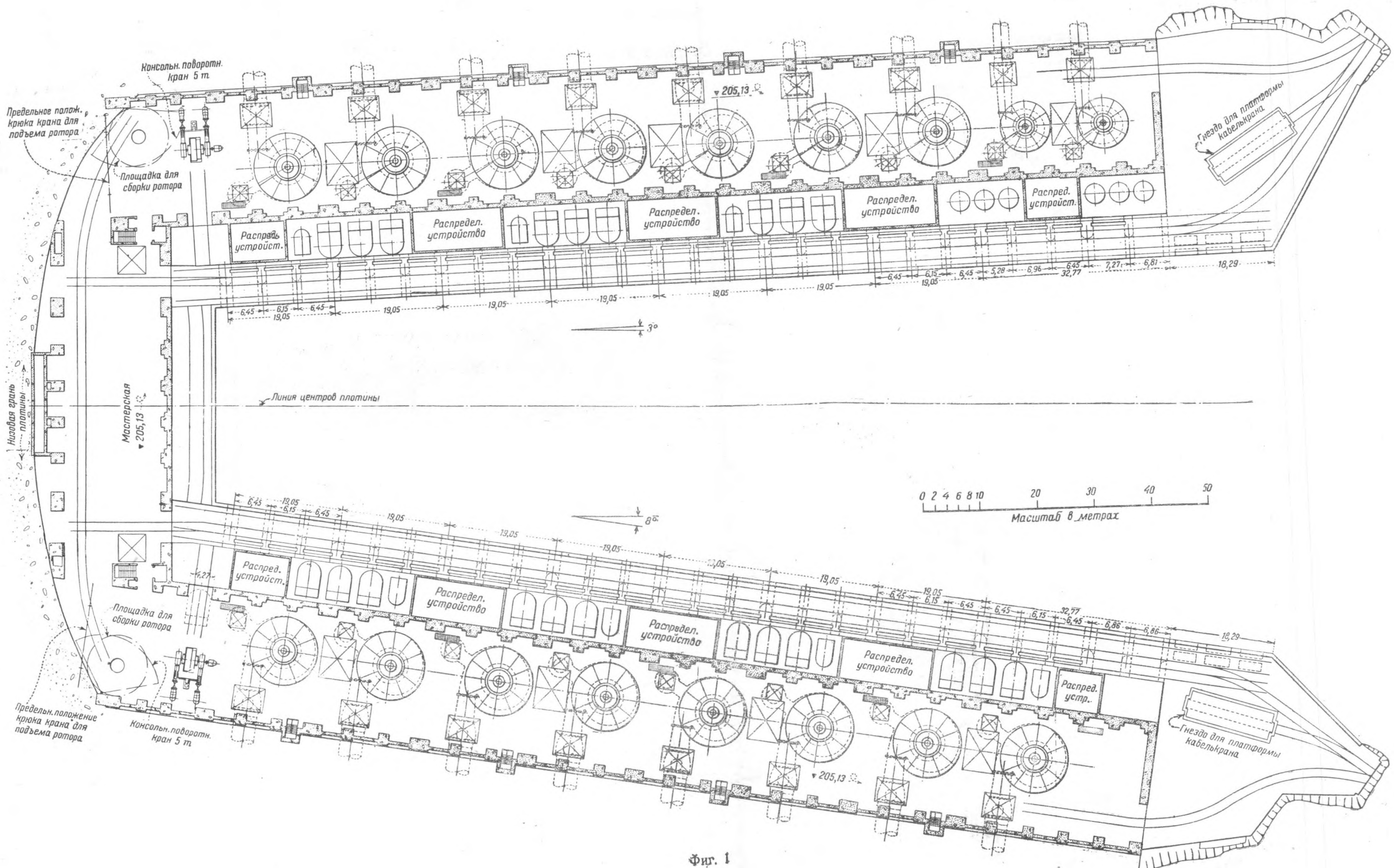


Кривые объемов зеркал водохранилища и расходов

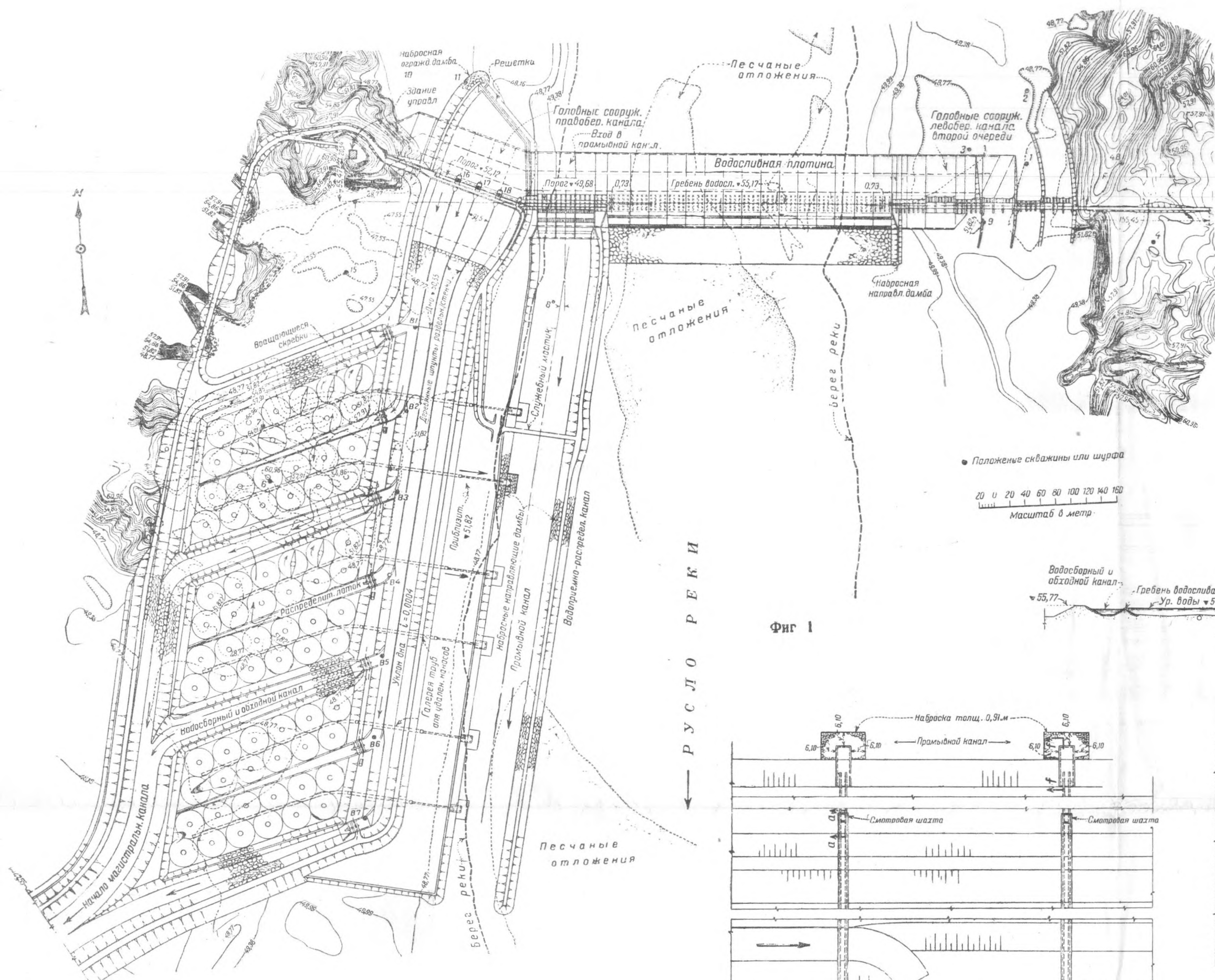




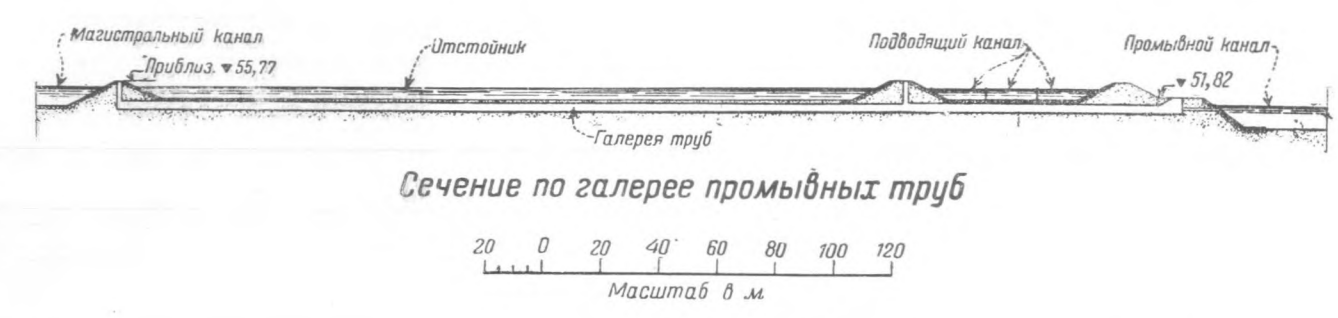
Фиг. 2.



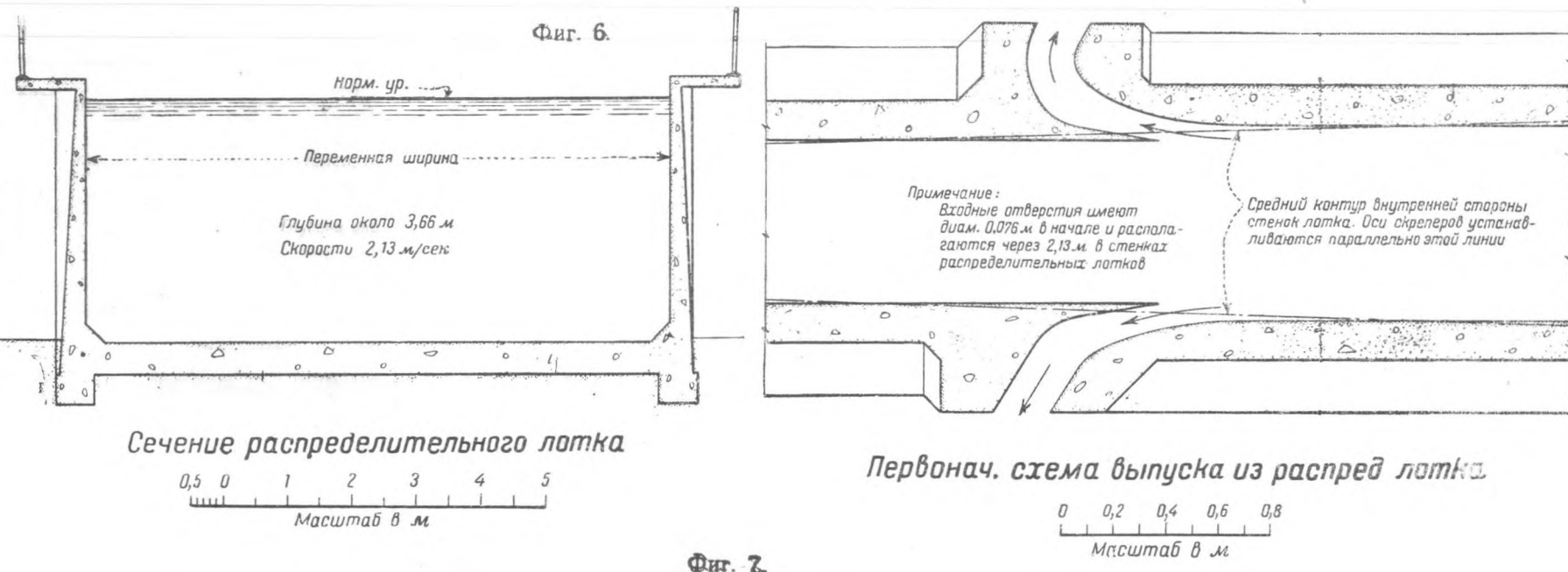
Фиг. 1



Фиг. 1

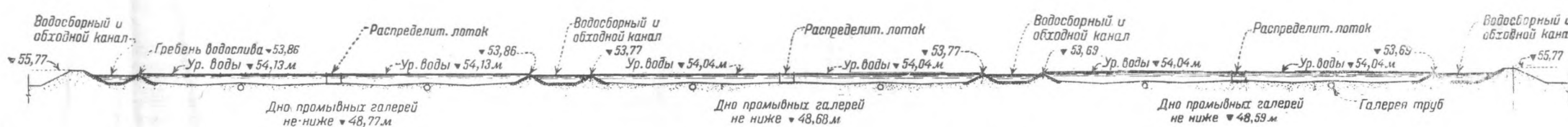


Сечение по галерее промывных труб



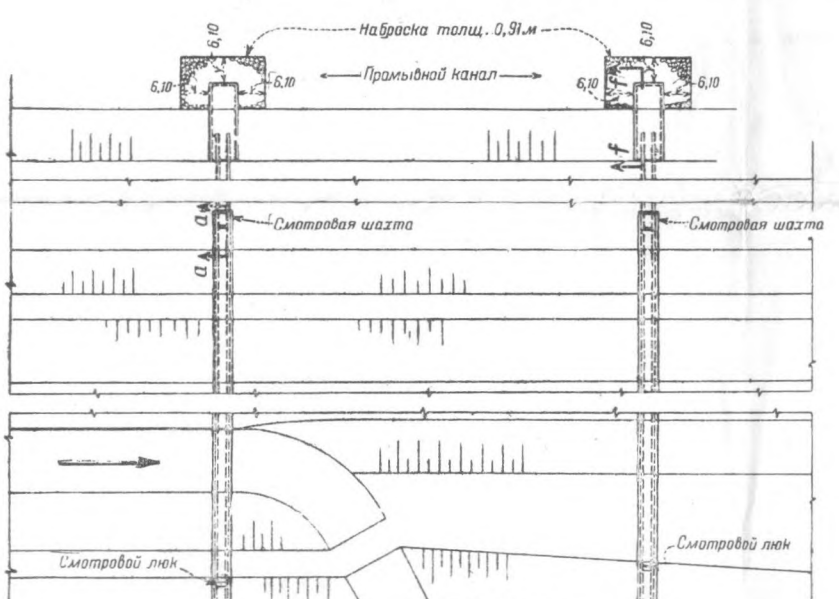
Сечение распределительного лотка

Первонач. схема выпуска из распредел. лотка

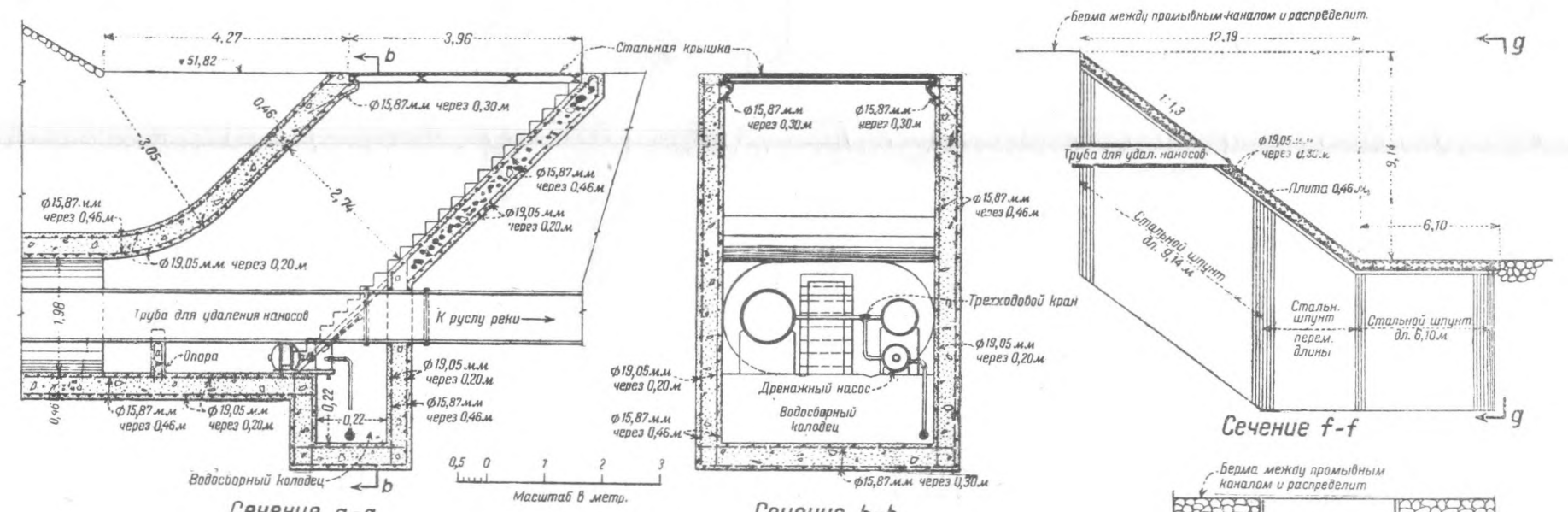


Поперечн. сечение по отстойным бассейнам

Фиг. 3



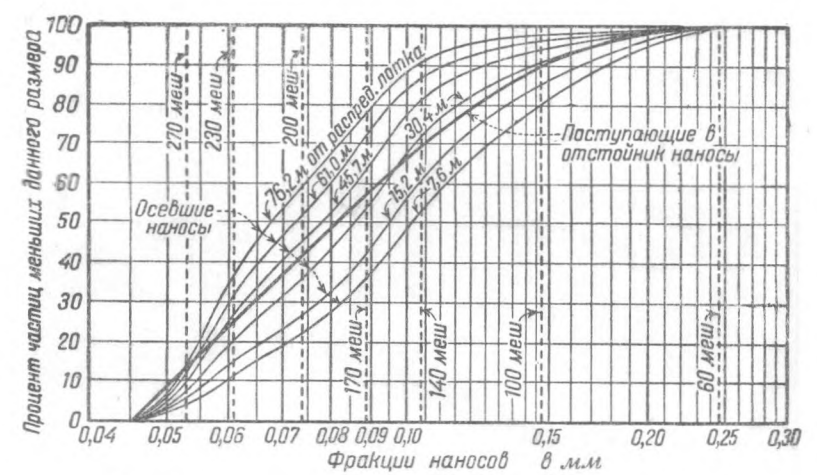
Поперечное сечение галереи



Сечение а-а

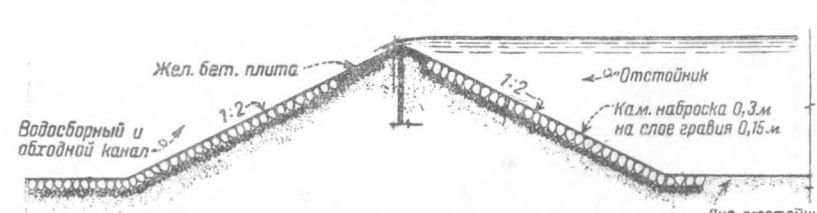
Сечение б-б

Сечение f-f



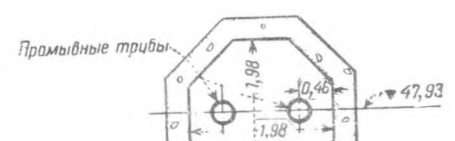
Фиг. 2

Ситовые анализы наносов, оседающих в отстойном бассейне. Образцы взяты с различных расстояний от распределит. лотков



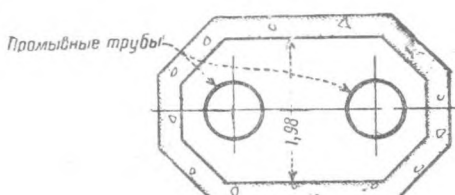
Сечение водоливной дамбы

Фиг. 5



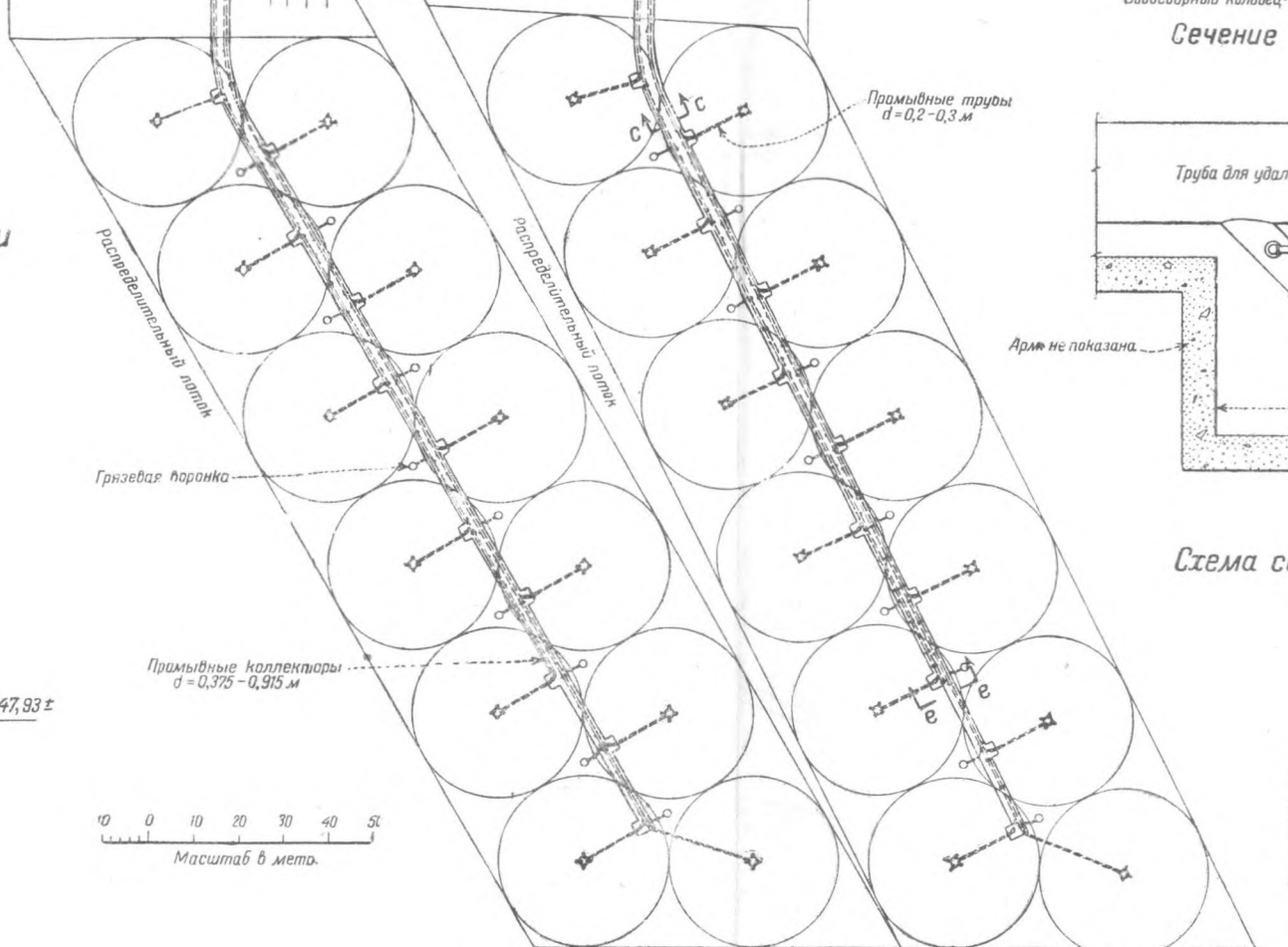
Сеч. в верхней части

Фиг. 8



Сеч. в нижней части

Фиг. 9



План расположения галерей и труб для удаления наносов

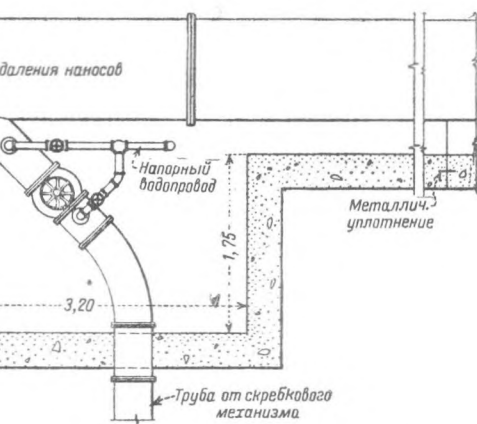
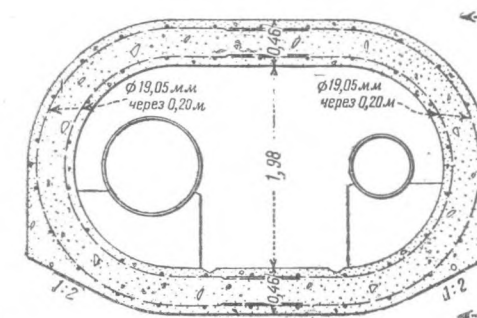
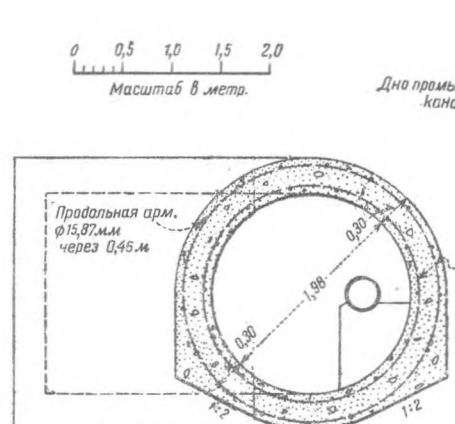


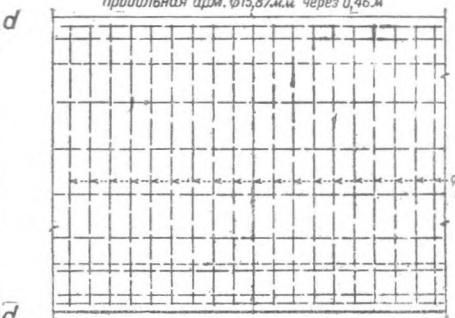
Схема соединений промывных труб



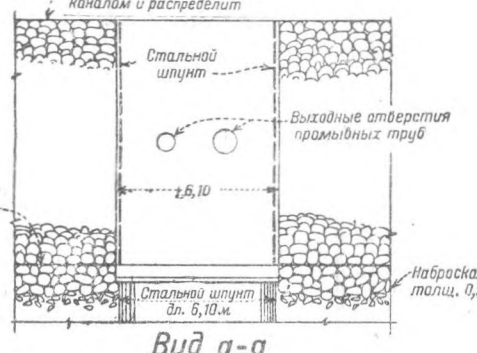
Сечение с-с



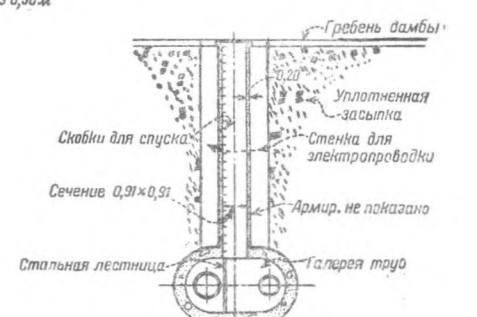
Сечение e-e



Вид d-d

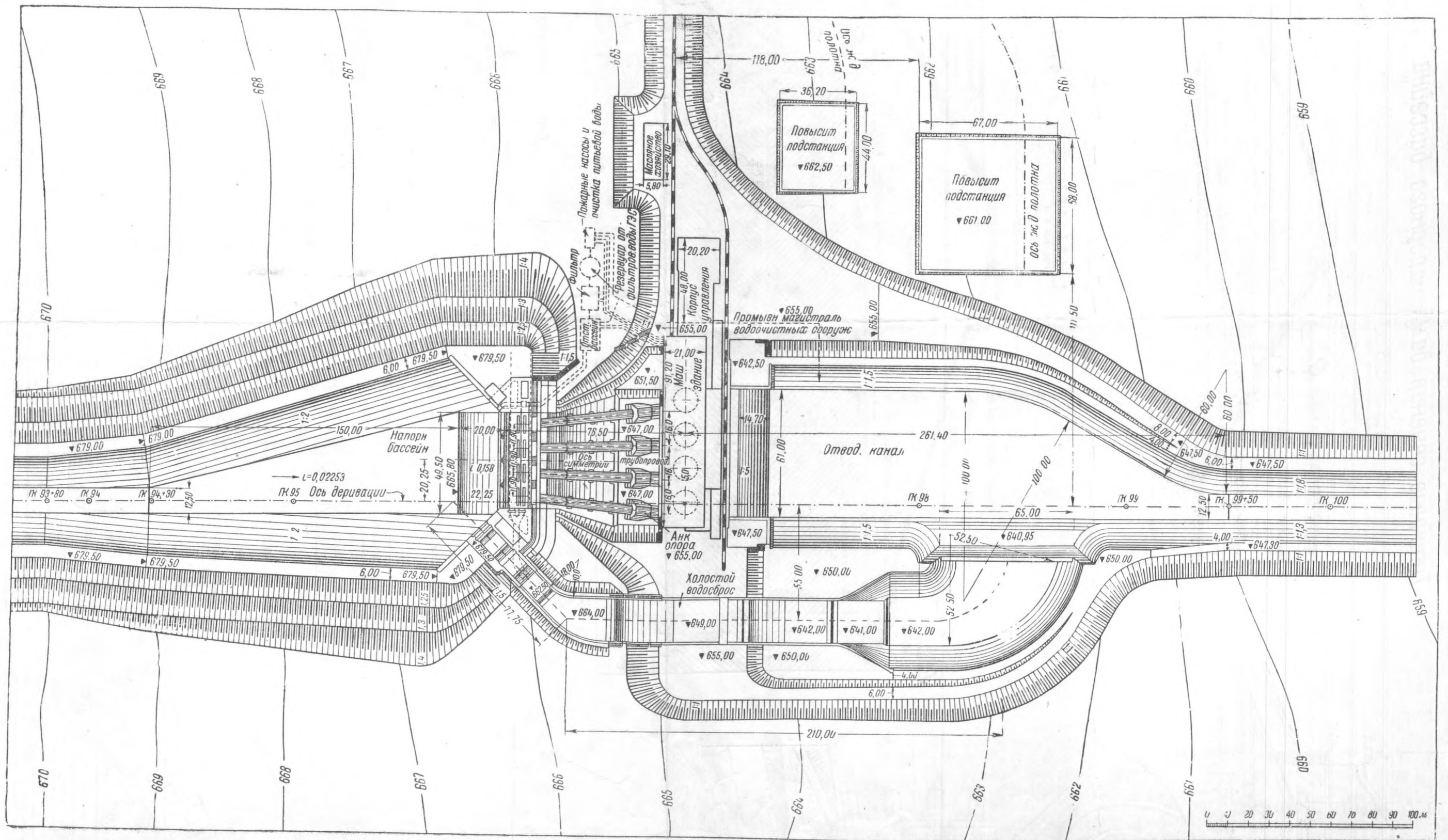


Вид g-g



Деталь люка

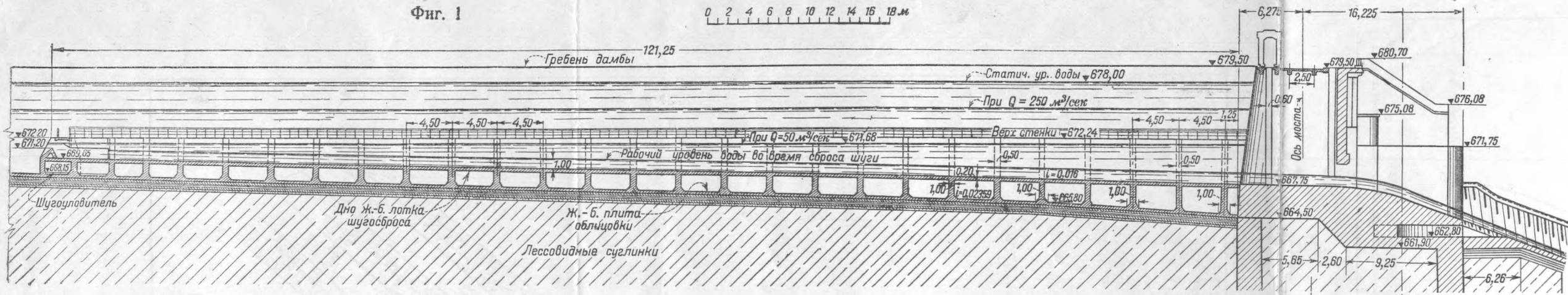
Фиг. 4



Продольный разрез по А-А

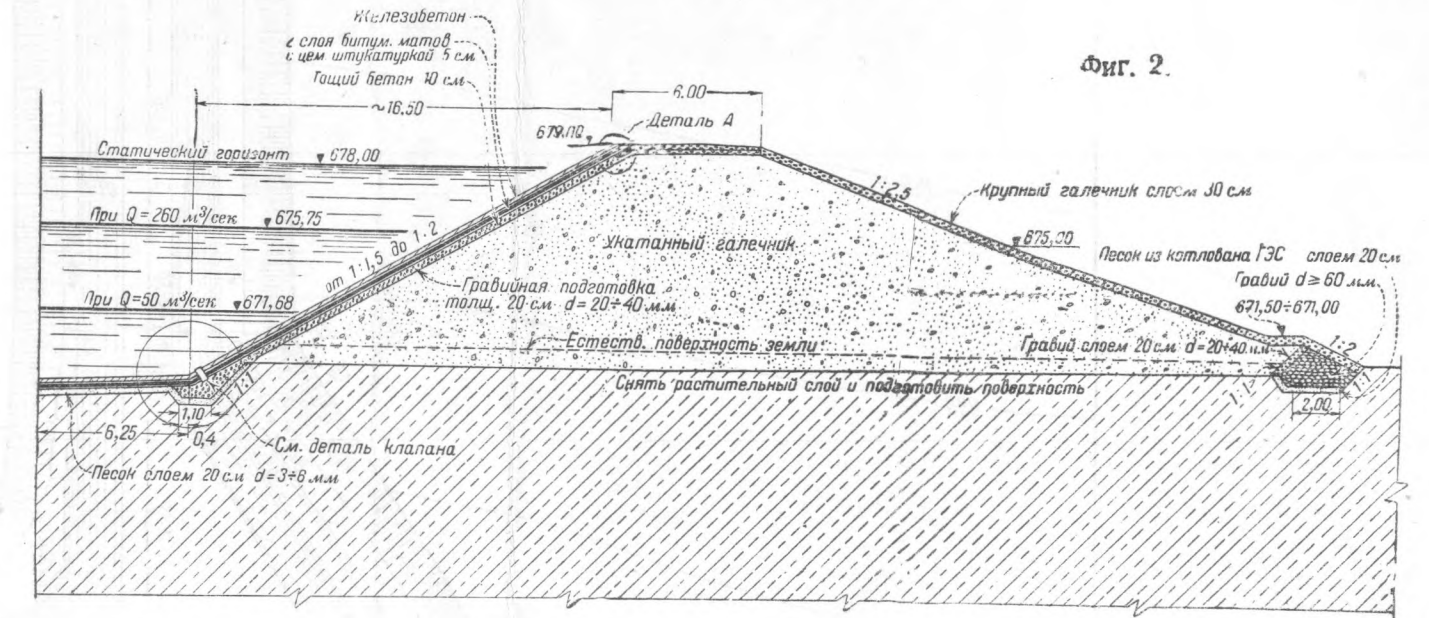
Фиг. 1

Голова холостого водосбора



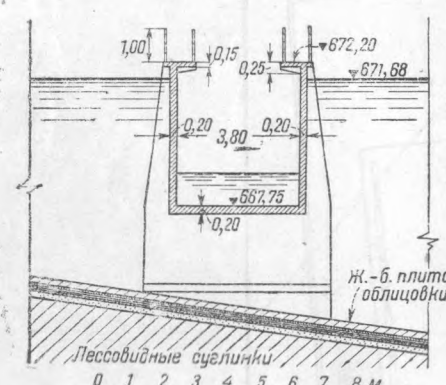
Типичные сечения дамб напорного бассейна

Таблица 42

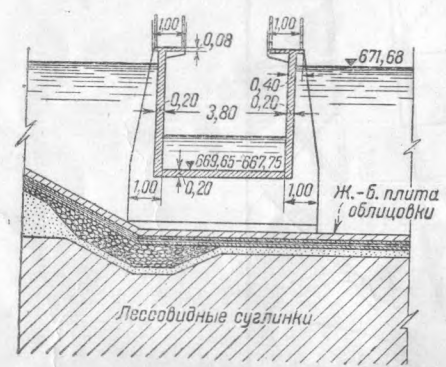


Фиг. 2.

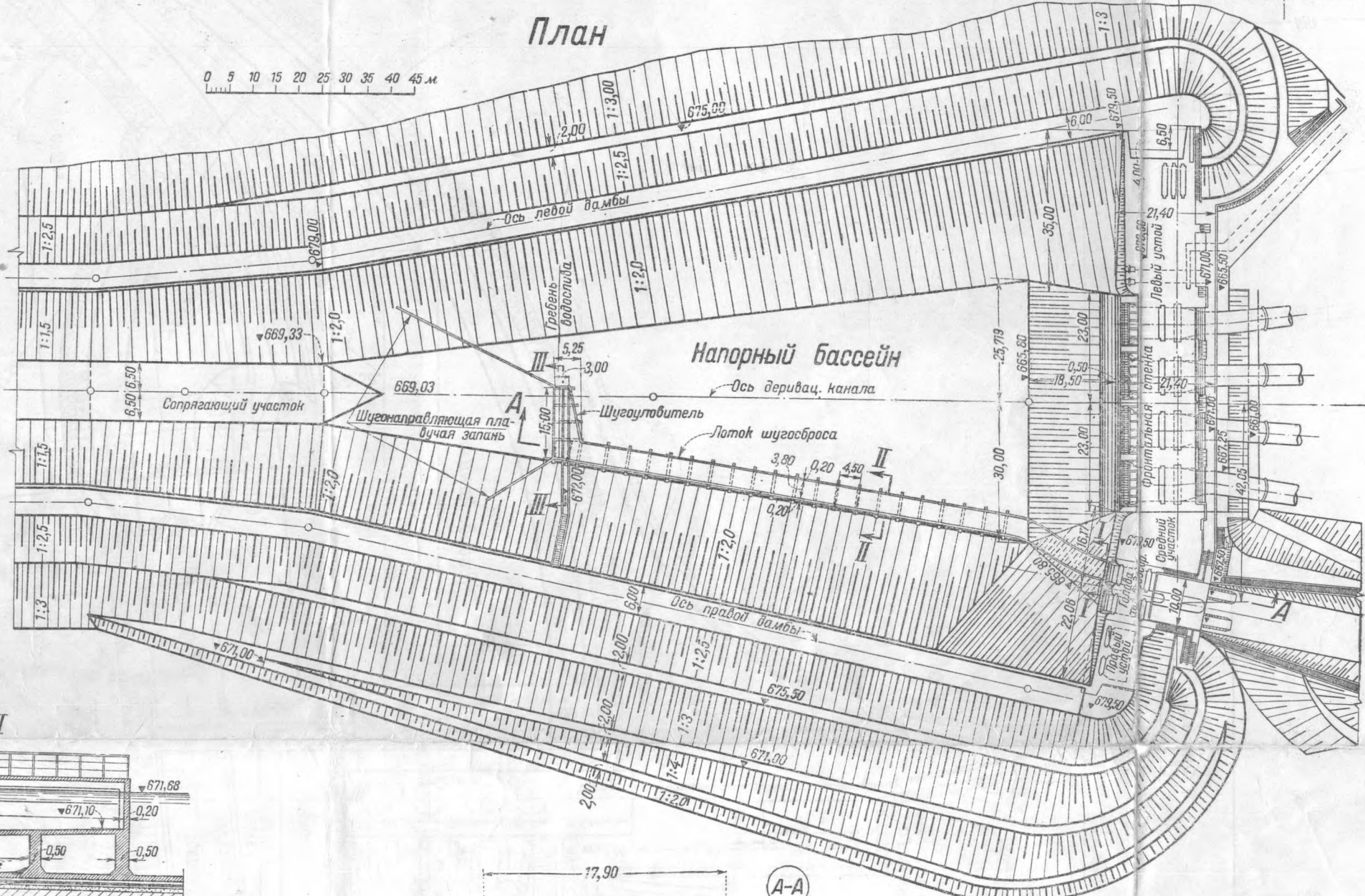
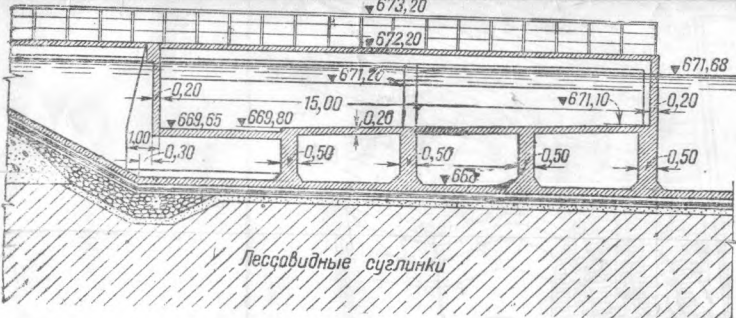
Разрез по I-I



Разрез по II-II

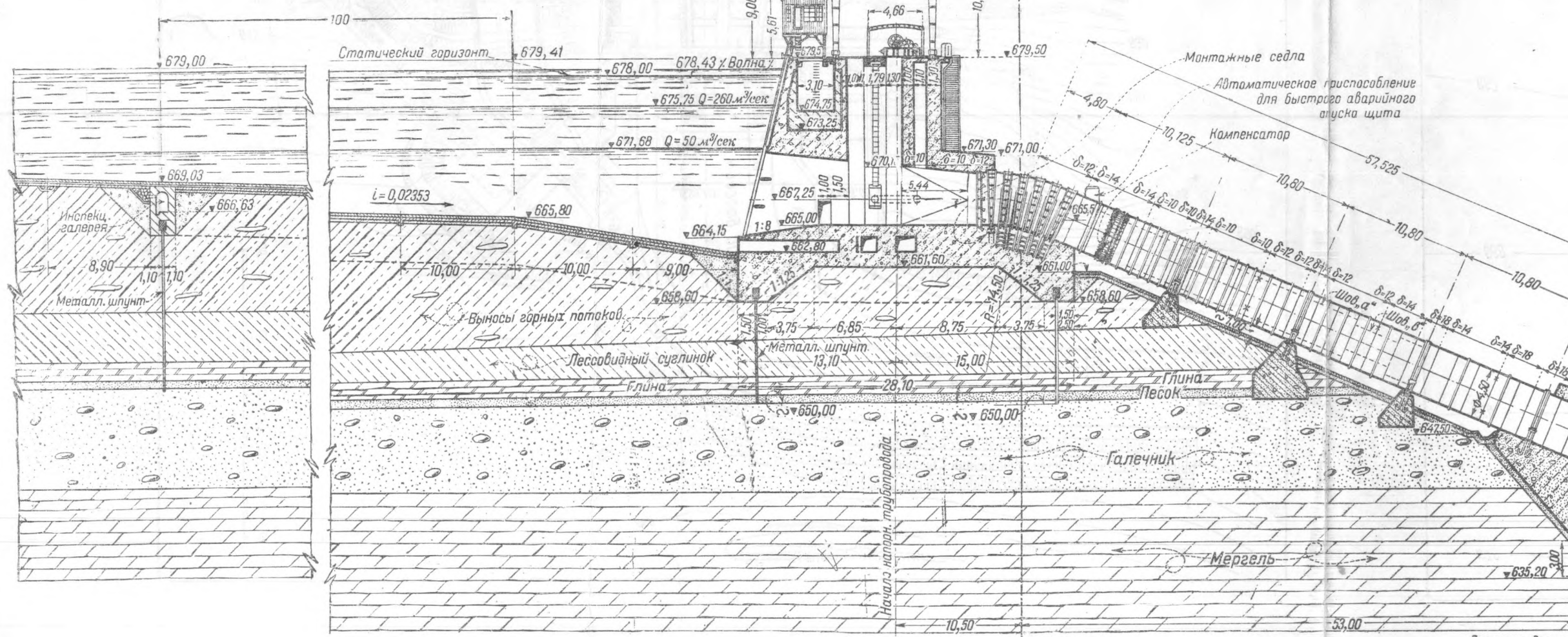


Разрез по III-III

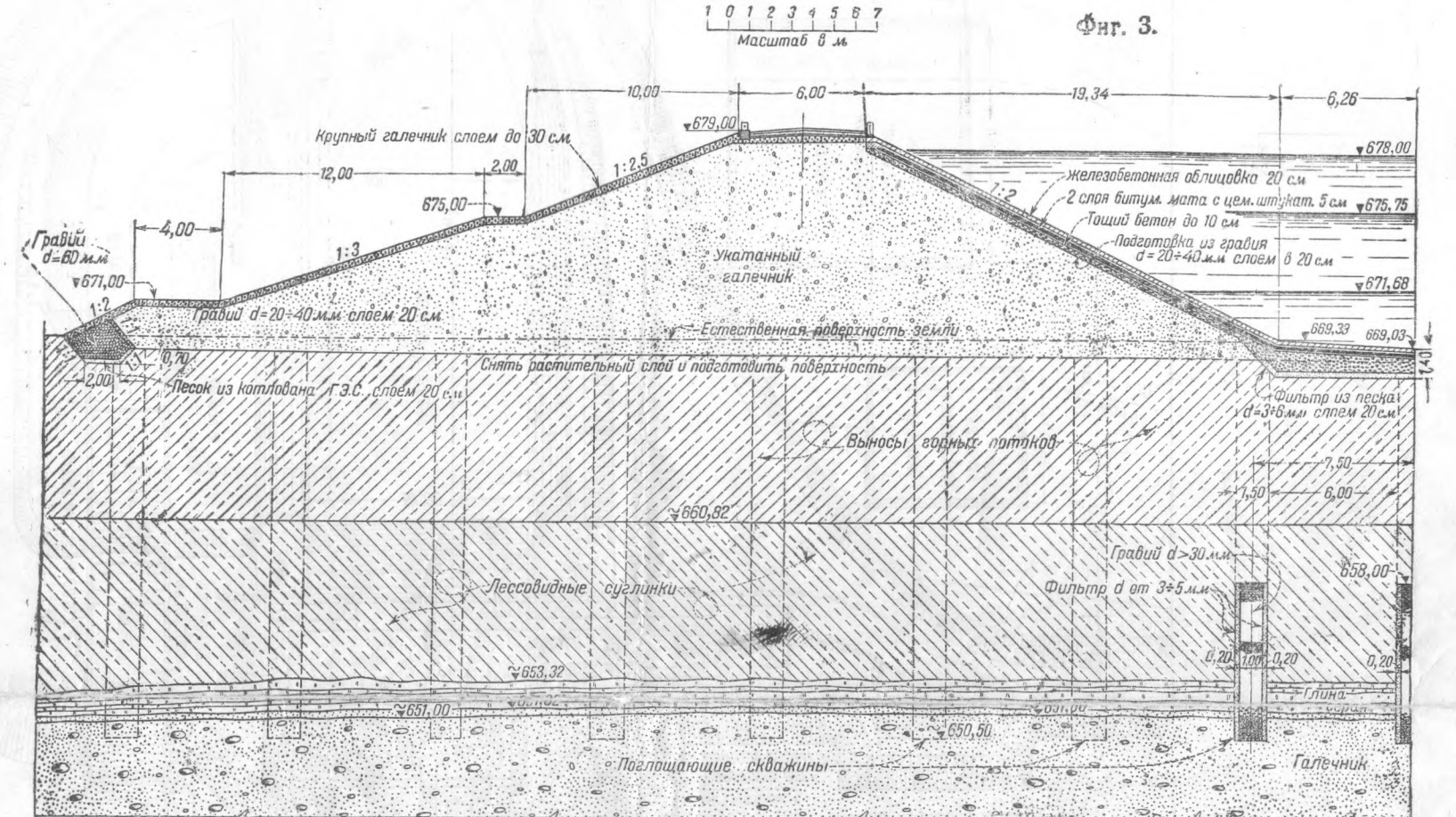


План

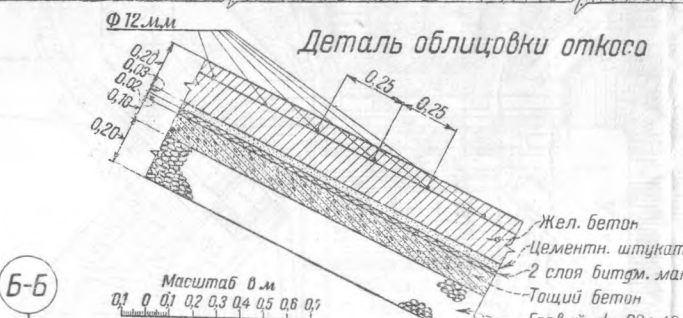
Напорный бассейн



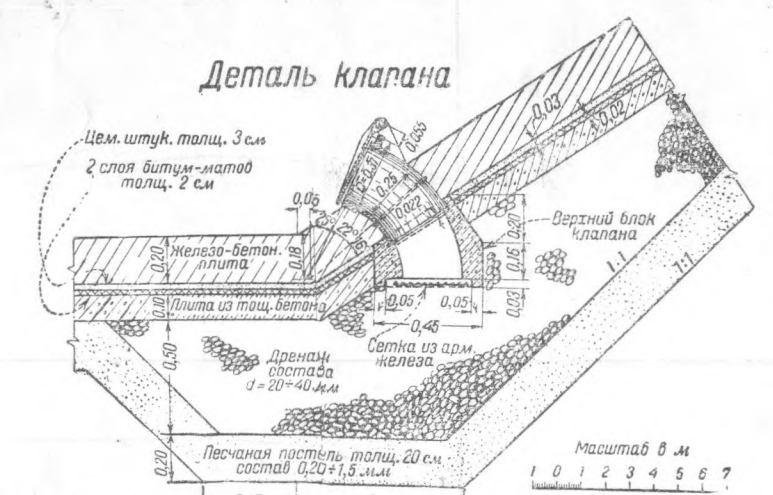
Фиг. 4.



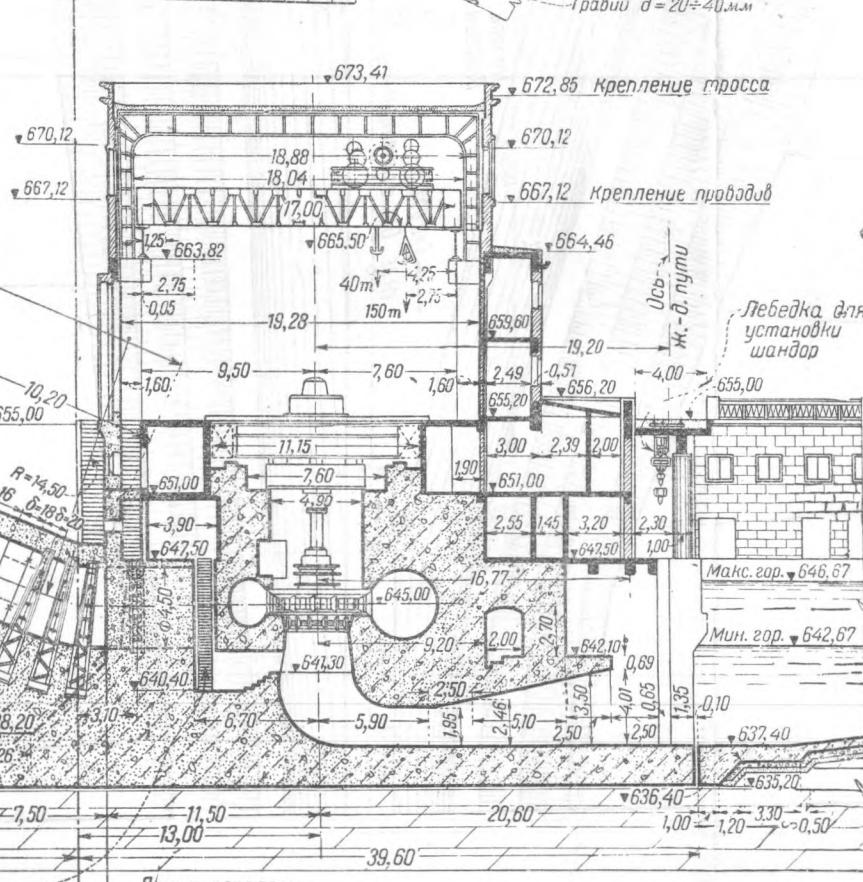
Фиг. 3.



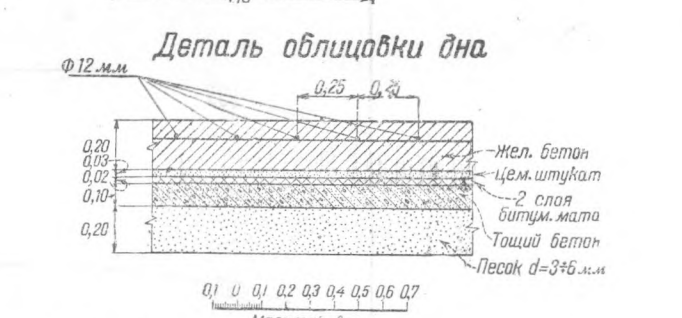
Деталь облицовки откоса



Деталь клапана

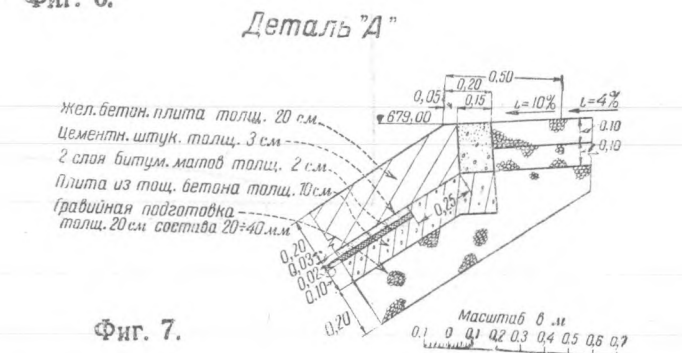


Фиг. 5.



Деталь облицовки дна

Фиг. 6.



Фиг. 7.