

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ
институт
«Гидротехнических сооружений»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В. Б. Затеев

подпись инициалы, фамилия

«16» 03 2017 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Дементьеву Ивану Александровичу

фамилия, имя, отчество

Группа СБ13 – 01 Направление (специальность) 08.03.02

номер

код

Строительство
наименование

Тема выпускной квалификационной работы Проектирование Тасеевского гидроузла на реке Тасеева. Технология возведения бетонных плотин из укатанного бетона.

Утверждена приказом по университету № 41/17-С от 16. 03. 17 г

Руководитель ВКР Л.М. Дерюгин, инженер СМРЭС

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР Тасеевский рзд реки Тасеева.

Перечень разделов ВКР 1. Overview о районе строительства.

2. Водоканал, речной. 3. Основное и вспомогательное оборудование.

4. Планировка и сооружения гидроузла. 5. Эманы водобетон сооружения и схема проката.

6. Расчеты гидротехнических сооружений и расчет на экол. 7. Мероприятия по ОТ

Перечень графического материала 1. Генеральный план. 2. Продольный

разрез створной части. 3. Поперечный разрез бетонной водобетонной

плотины. 4. Строительный генеральный план. 5. Эманс водобетон

сооружения. 6. Колончатый план строительства.

Руководитель ВКР


подпись

Л.М. Дерюгин
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению


подпись

И.А. Дементьев
инициалы и фамилия студента

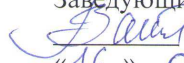
« 15 » июня 2017 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидротехнических сооружений»

УТВЕРЖДАЮ


Заведующий кафедрой

 В.Б. Затеев
«16» 06 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТАСЕЕВСКОГО ГИДРОУЗЛА НА РЕКЕ
ТАСЕЕВА. ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ БЕТОННЫХ ПЛОТИН
ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА**

Руководитель

 15.06.17
подпись, дата

гидротехник
должность, ученая степень

Л.М.Дерюгин
инициалы и фамилия

Выпускник

 15.06.17
подпись, дата

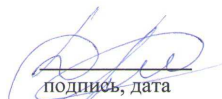
И.А.Дементьев
инициалы и фамилия

Саяногорск; Черемушки 2017

Продолжение титульного листа БР по теме: Проектирование Тасеевской ГЭС на реке Тасеева. Технология возведения бетонных плотин из укатанного бетона.

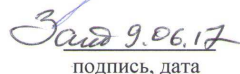
Консультанты
по разделам:

Общая часть


подпись, дата

Л.М. Дерюгин

Водно-энергетические
расчеты


подпись, дата

Е.Ю. Затеева

Выбор основного и
вспомогательного
оборудования


подпись, дата

А.В. Масленникова

Технология ГЭС


подпись, дата

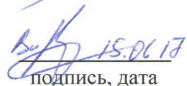
Н.А. Эклер

Компоновка гидроузла,
выбор типа и расчет основных
сооружений


подпись, дата

Л.С. Пермякова

Мероприятия по охране природы


подпись, дата

В.А. Кадычegov

Технико-экономические показатели


подпись, дата

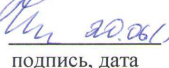
В.В. Лапасова

Спецвопрос


подпись, дата

Л.М. Дерюгин

Нормоконтролер


подпись, дата

А.А. Чабанова

Сокращенный паспорт Тасеевской ГЭС

Наименование ГЭС Тасеевская ГЭС на реке Тасеева;
Местонахождение ГЭС Красноярский край;
Тип проектируемой установки Гидроэлектростанция.

Характерные расходы воды:

- а) Среднегодовой 676 м³/с;
- б) Всех турбин 924 м³/с;
- в) Максимальный с учетом трансформации паводка обеспеченностью 0,1%, 4132 м³/с;
- г) Максимальный поверочный расход обеспеченностью 0,01%, 4640 м³/с;
- д) Минимальный 226 м³/с.

Параметры водохранилища:

- а) Характер регулирования стока годовой;
- б) Отметки: НПУ 170,00; УМО 151,10;
- в) Объемы водохранилища: полный 19 км³; полезный 7,6 км³.

Напоры ГЭС:

- а) Максимальный 73,6 м;
- б) Расчетный 58,3 м;
- в) Минимальный 51,8 м.

Энергетические характеристики:

- а) Мощность установленная 624 МВт; гарантированная 567 МВт;
- б) Среднегодовая выработка электроэнергии 3,2 млрд кВт.ч;
- в) Число часов использования установленной мощности 8640 час.

Плотины:

- а) Гравитационная водосливная материал бетон;
- б) Левобережная гравитационная глухая материал бетон;
- в) Центральная гравитационная глухая материал бетон;
- г) Станционная русловая гравитационная материал бетон;
- д) Общая длина 488 м, максимальная высота плотины 84,2 м;
- е) Отметка гребня плотины 177,2 м.

Водосбросные сооружения

- а) Тип гашение способом свободно отброшенной струи;
- б) Число пролетов 4;
- в) Общая длина 57,5 м;
- г) Число секций – 36; размер секции 13,5 м;
- д) Максимальная высота водосброса 65 м.

Здание ГЭС:

- а) Тип здания приплотинное число агрегатов 4;
- б) Размеры: общая длина 100 м, ширина 36 м.

Основное оборудование:

- а) Тип турбины PO75-B-600;
- б) Тип генератора СВ 1130/140-48;
- в) Частота вращения 115,4 об/мин.

Технико-экономические показатели:

- а) Период окупаемости 6,8 лет;
- б) Себестоимость энергии 0,094 коп/кВт·ч;
- в) Удельные капитальные вложения 95314 руб/кВт.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 Сведения о районе строительства	9
1.1 Общая характеристика района строительства	9
1.2 Экономическая характеристика района.....	10
2 Водноэнергетические расчеты.....	12
2.1 Выбор года.....	14
2.2 Кривые связи	15
2.2.1 Верхний бьеф.....	15
2.2.2 Нижний бьеф	16
2.3 Графики нагрузки.....	17
2.3.1 Суточные графики нагрузки	17
2.3.2 Годовые графики нагрузки.....	19
2.4 Расчет режимов работы ГЭС с учетом требований ВХК	21
2.5 Баланс энергий.....	22
2.6 Интегральные кривые нагрузки.....	23
2.7 Водно-энергетический расчет.....	24
2.8 Режимное поле.....	24
2.9 Баланс мощностей	25
3 Основное и вспомогательное оборудования	26
3.1 Выбор гидротурбины	26
3.2 Выбор отметки установки рабочего колеса	30
3.3 Расчет и построение металлической спиральной камеры	30
3.4 Расчет отсасывающей трубы.....	35
3.5 Требования к гидрогенератору	38
3.6 Расчет подшипника и вала на прочность.....	40
3.7 Выбор МНУ и ЭГР	42
4 Компонировка и сооружения гидроузла	43
4.1 Состав и компоновка сооружений гидроузла	43
4.1.1 Проектирование сооружений напорного фронта	43
4.2 Гидравлические расчеты	46
4.2.1 Определение ширины водосливного фронта	46
4.2.2 Определение отметки гребня водослива	48
4.2.3 Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае.....	49
4.2.4 Построение профиля водосливной плотины.....	50
4.2.5 Расчет сопряжения бьефов.....	52
4.2.6 Гашение энергии способом свободно отброшенной струи	53
4.3 Конструирование плотины.....	56
4.3.1 Определение ширины подошвы плотины	56
4.3.2 Разрезка плотины швами.....	57

4.3.3 Быки	57
4.3.4 Устои	57
4.3.5 Дренаж тела бетонных плотин	58
4.3.6 Галереи в теле плотины	58
4.4 Назначение размеров основных элементов плотины	58
4.4.1 Конструирование элементов подземного контура плотины	58
4.4.2 Цементационная завеса	59
4.4.3 Дренажные устройства в основании	59
4.5 Определение основных нагрузок на плотину	60
4.5.1 Вес сооружений и затворов.....	60
4.5.2 Сила гидростатического давления	63
4.5.3 Равнодействующая сила взвешивающего давления.....	64
4.5.4 Сила фильтрационного давления	64
4.5.5 Давление грунта	66
4.5.6 Волновое давление.....	68
4.6 Оценка прочности плотины	69
4.7 Критерии прочности плотины	74
4.8 Обоснование устойчивости плотины	76
5 Этапы возведения сооружений и схема пропуска строительных расходов на различных этапах	77
5.1 Первый этап	78
5.1.1 Расчет перемычек первой очереди с учетом пропуска строительных расходов через стесненное русло	78
5.1.2 Тип и конструкцию перемычек	80
5.1.3 Осушение котлована 1-й очереди.....	82
5.1.4 Разработка котлована под водосливную плотину	82
5.1.5 Бетонные работы в нижней части водосливной плотины	84
5.1.6 Расчет пропуска расчетного строительного расхода через гребенку	84
5.2 Второй этап.....	86
5.2.1 Возведение перемычек второй очереди.....	87
5.2.2 Осушение котлована 2-й очереди.....	87
5.2.3 Разработка котлована под водосливную плотину и здание ГЭС.....	88
5.2.4 Бетонные работы в нижней части станционной плотины и глухих секций	88
5.3 Третий этап	89
5.3.1 Разработка котлованов под береговые участки плотины	89
5.3.2 Бетонные работы по всему напорному фронту	89
5.4 Четвертый этап	90
5.4.1 Бетонные работы по всему напорному фронту	90
5.5 Пятый этап	91
5.5.1 Бетонные работы по всему напорному фронту	91
6 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации	92
6.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии	92
6.2 Текущие расходы по гидроузлу	94

6.3	Налоговые расходы	97
6.4	Оценка суммы прибыли от реализации электроэнергии и мощности.....	98
6.5	Оценка инвестиционного проекта	99
6.5.1	Методология, исходные данные	99
6.5.2	Коммерческая эффективность	100
6.5.3	Бюджетная эффективность	100
7	Мероприятия по охране окружающей среды в зоне влияния Тасеевского ГУ.	
	Охрана труда и противопожарная безопасность	102
7.1	Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства.....	102
7.2	Мероприятия по подготовке ложа водохранилища.....	103
7.3	Отходы, образующиеся при строительстве	105
7.3.1	Лом бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме	105
7.3.2	Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные	105
7.4	Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации	106
8	Технология возведение бетонных плотин из укатанного бетона	108
8.1	Виды конструкций гравитационных плотин из укатанного бетона	109
8.2	Технология возведения на основе плотины гидроузла Бени Харун (Алжир)	109
8.3	Сравнение сроков строительства плотин из укатанного и вибрированного бетона.....	112
8.4	Новый тип плотин из укатанного бетона	112
8.5	Общий вывод о строительстве плотин из укатанного бетона	113
	Заключение	116
	Список использованных источников	118
	Приложение А Водно-энергетический расчет	120
	Приложение Б Данные режимного поля.....	121
	Приложение В Баланс мощностей	124
	Приложение Г Рабочая зона РО75-В-600	126
	Приложение Д ГУХ турбины РО75-В	127
	Приложение Е Таблица Рыбкина - Алексеева	127
	Приложение Ж График для определения элементов ветровых волн	129
	Приложение И Нагрузки и воздействия при основном сочетании.....	130
	Приложение К Нагрузки и воздействия при особом сочетании	131
	Приложение Л Напряжения при основном сочетании нагрузок и воздействий	132
	Приложение М Напряжения при особом сочетании нагрузок и воздействий	133

ВВЕДЕНИЕ

Наша страна обладает одним из самых мощных гидропотенциалов в мире. Неразумно было бы не использовать столь широкую распространенность воды в России для народного хозяйства. Грамотное и целесообразное использование гидроресурсов, неотъемлемая часть увеличения благосостояния любой страны.

Самым удобным видом электростанций с низкой себестоимостью электроэнергии на сегодняшний день являются гидравлические, с неоспоримым плюсом, таким как экологическая чистота. Гидроэлектростанция представляет собой комплекс различных сооружений и оборудования, использование которых позволяет преобразовывать энергию воды в электроэнергию. Гидротехнические сооружения обеспечивают необходимую концентрацию потока воды, а дальнейшие процессы производятся при помощи соответствующего оборудования.

Плотины являются одними из основных сооружений гидроузла таких энергетических объектов как гидроэлектростанции, служащие для создания подпора воды, с последующим преобразованием потенциальной энергии воды в электрическую. Для пропуска расходов больших, чем может пропустить ГЭС, используются водосливные плотины, туннельные водосбросы или другие объекты, что гарантирует безопасную эксплуатацию гидроэлектростанции.

Себестоимость производства электроэнергии в кВтч на ГЭС в 7-10 раз, то есть на порядок ниже, чем на тепловых и атомных станциях. Источник энергии – текущая вода, постоянно возобновляемая, в отличие от нефти, газа, твердого топлива и ядерного горючего. В условиях медленного прогресса в создании альтернативных источников электроэнергии доля гидроэнергетики в энергетическом балансе страны со временем будет только возрастать, а уровень развития энергетики в свою очередь отражает достигнутый технико-экономический потенциал страны.

Целью дипломного проекта является проработка основных этапов проектирования гидроэлектростанции, с применением и закреплением теоретических знаний, а также путем инженерной мысли и творческого подхода к решению конкретных задач, найти правильные проектные решения.

1 Сведения о районе строительства

1.1 Общая характеристика района строительства

При проектировании было выбрано место створа на реке Тасеева, вблизи населенного пункта Керсантьево. Тасеева – это левый приток Ангары, протекает по территории Красноярского края.

Река Тасеева образуется слиянием рек Чуна и Бирюса, основной приток – река Усолка. На притоках расположены города Бирюсинск, Тайшет и другие. Площадь бассейна 128 тыс. км², длина – 116 км или, если за исток принять начало реки Чуны, длина составляет 1240 км. В верховьях течёт в узкой долине, образуя ряд порогов. В 15 – 20 км ниже слияния Чуны и Бирюсы принимает вид равнинной реки.

В нижнем течении река Тасеева течёт почти параллельно Енисею, в который Ангара впадает в 50 – 60 км к западу. Вскрывается Тасеева ото льда в конце апреля – начале мая, замерзает в октябре – ноябре. Наряду с основным весенним половодьем, имеют место летние паводки, связанные с дождями и таянием снега в Восточных Саянах. Расход воды в устье около 760 м³/с или 24 км³ в год. Для реки характерны значительные изменения годового стока, что находит выражение в расхождении значений среднегодового расхода воды в случае, если он вычисляется на основании разных периодов наблюдений.

В Красноярском крае зима очень суровая и очень продолжительная, с сильными ветрами и метелями. Начинаясь со второй половины сентября, продолжается 8-10 месяцев. В январе средняя температура воздуха на большей части территории изменяется от -45 °C до -20 °C. С прекращением устойчивых морозов в начале апреля начинается весна. Лето теплое, но короткое. Первым делом приходит в конце мая в долину Енисея в район Красноярска. На большей части территории первым осенним месяцем является сентябрь.

Створ выбран в самом узком месте реки. Длина створа на отметке НПУ составляет 488 м. Выбранный створ является несимметричным: правый берег более пологий. При этом относительная ширина створа равна 5,1. На рисунке 1.1 изображен створ Тасеевской ГЭС.

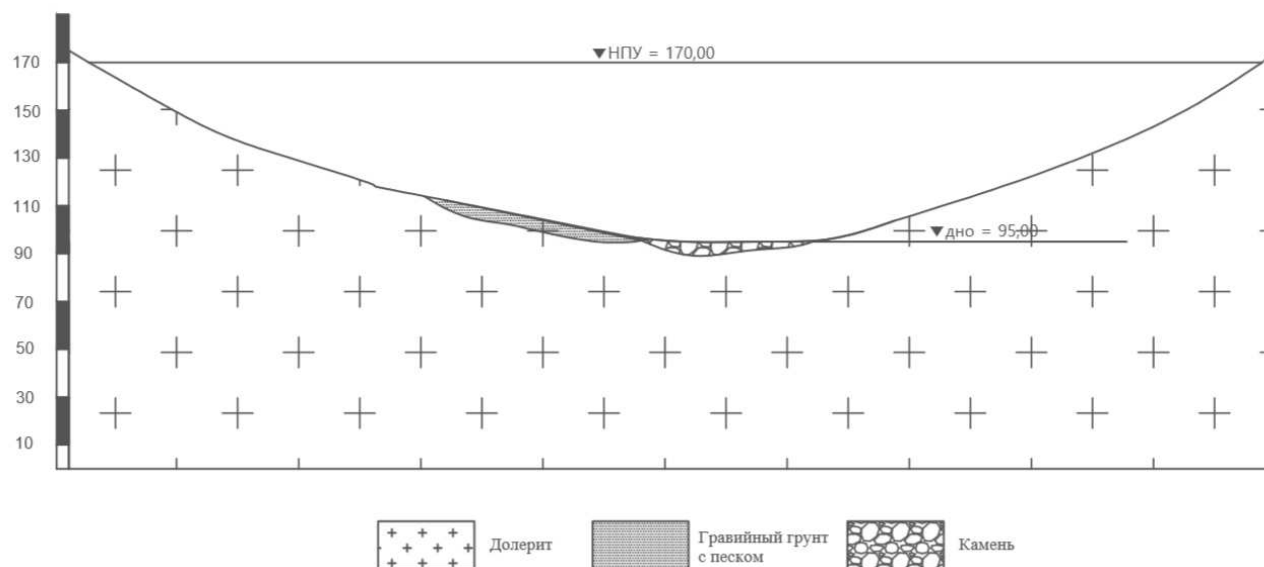


Рисунок 1.1 – Створ реки Тасеева

В месте створа преобладают скальные грунты – долериты. Русловые места покрыты слоем гравийно – песчаного грунта мощностью не более 5м. Долерит – крупно и среднезернистый базальт, обладающий долеритовой структурой. Английские авторы называли долеритами диабазы. Долерит имеет вулканическое происхождение, химически и по минеральному составу является аналогом базальта. Состоит, в основном, из лабрадора и авгита.

Для долерита характерны высокая твёрдость и прочность на сжатие (предел прочности 400 – 500 МПа).

Бетонные гравитационные плотины широко распространены во всем мире благодаря простоте конструкции и способов их возведения, надежности их при любой высоте, ширине створа, в любых природных условиях, в том числе и суровых.

В составе гидроузла предусматриваются бетонная водосливная плотина, глухие правобережная и левобережная части, здание ГЭС. Использование грунтовых глухих плотин нецелесообразно из-за отсутствия достаточного количества местных материалов.

Назначение гидроузла – энергетическое. Электроэнергия будет направляется в соседние населённые пункты, а так же на алюминиевый завод в город Тайшет.

1.2 Экономическая характеристика района

Красноярский край – крупнейший регион России, притягивающий к себе внимание как отечественных, так и иностранных инвесторов. Это обусловлено, с одной стороны, его уникальностью, как одной из богатейших территорий страны, с другой стороны – его активностью в экономической, научной и культурной жизни России.

Красноярский край расположен между 51° и 81° с. ш. (вместе с островами) в бассейне водной системы Енисея. Самая северная точка края на материке – мыс Челюскин. Мыс является крайней оконечностью Азии. С севера на юг, от берегов Ледовитого океана до хребтов Западного и Восточного Саянов, Красноярский край протянулся на 2886 км, что составляет (без островов) 26 градусов. С запада на восток протяженность края неодинакова: самая широкая 1250 км, на юге сужается до 450, а вдоль Транссибирской магистрали — равна 650 км.

Оценивая размеры территории края, следует отметить, что речь идет не столько об эффективности приводимых соизмерений, сколько об экономическом значении этих величин. Территория края выступает в качестве важного фактора социально-экономического развития, тормозящего или ускоряющего его ход. Вместе с тем огромная территория края с ее сложным геологическим строением насыщена таким количеством полезных ископаемых, какое в нашей стране не встречается более ни в одном регионе и которое служит естественной базой формирования его многоотраслевой экономики.

2 Водноэнергетические расчеты

В таблице 2.1 представлен исходный гидрологический ряд за 50 лет наблюдений для реки Тасеева. Каждый год гидрологического ряда представлен в виде средних расходов за каждый месяц.

Для определения значений разделили год на многоводный период (половодье) и на маловодный период (межень). К половодью относятся месяцы, в которых превышают среднегодовые значения. К межени, соответственно, где расходы ниже среднегодовых значений.

Для данного гидрологического ряда к периоду межени относятся X, XI, XII, I, II, III, IV месяцы, а к периоду половодья V, VI, VII, VIII, IX месяцы.

Эмпирические кривые обеспеченности для средних расходов за год, половодье и межень представлены на рисунке 2.1. В таблице 2.2 представлены данные кривой обеспеченности.

Таблица 2.1 – Гидрологический ряд наблюдений реки Тасеева за 1947-1996г.

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср. год
1947	159	120	182	398	1873	1085	970	711	660	409	191	190	574
1948	176	136	135	485	2405	945	908	1143	867	583	314	269	697
1949	86	59	56	211	2097	1392	732	1118	964	607	283	179	649
1950	121	86	80	244	2527	1633	1052	1032	858	588	131	142	708
1951	121	86	85	122	2240	782	1208	757	570	435	207	206	568
1952	189	137	136	633	2357	1264	1596	1211	1209	767	293	245	836
1953	174	130	176	159	2224	1279	939	1140	837	567	217	229	668
1954	156	116	118	181	2285	1279	939	1140	837	567	249	197	672
1955	164	124	122	162	1568	1448	1772	1072	690	476	220	203	668
1956	161	116	116	447	1704	1279	939	1140	837	567	265	213	649
1957	174	130	125	301	1726	1186	995	1097	1038	641	217	229	655
1958	116	84	85	579	2470	939	905	1136	867	581	206	180	679
1959	161	116	116	450	2312	1290	945	1150	846	574	267	213	703
1960	169	95	105	330	1995	942	908	1140	867	583	238	203	631
1961	187	135	131	167	1584	1462	1784	1079	696	478	238	219	680
1962	169	95	103	320	1928	1645	626	625	570	300	205	190	565
1963	159	106	114	425	1692	1427	723	782	560	281	235	211	555
1964	166	93	102	323	2097	1448	1772	1072	725	466	223	177	722
1965	166	126	135	445	2509	1453	1781	1075	785	458	237	221	783
1966	177	136	144	678	1604	1397	739	1122	973	652	288	239	679
1967	187	135	121	147	1837	1338	1036	714	570	318	206	199	567
1968	164	124	122	497	2384	1625	739	947	678	340	254	219	674
1969	161	122	112	380	1801	1639	623	618	558	300	174	182	556
1970	166	93	92	310	2082	1642	626	621	580	303	206	180	575
1971	202	160	156	462	2278	1285	945	1147	843	571	299	255	717
1972	129	88	107	296	2518	1642	786	738	675	295	181	166	637
1973	124	86	80	244	2118	1392	739	1118	973	612	134	145	647
1974	126	90	100	194	1496	1392	732	793	508	300	147	145	502
1975	116	86	80	231	1776	2288	1108	1615	1056	648	149	132	774
1976	100	722	98	321	1993	1206	1734	1350	775	607	168	163	770
1977	124	86	80	246	2263	2033	851	854	970	516	131	145	692

Окончание таблицы 2.1

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср.
1978	111	86	79	234	1896	1321	573	604	525	325	237	216	517
1979	126	88	87	119	1591	1642	498	550	496	298	184	143	485
1980	141	99	89	149	2505	1799	1668	2362	1153	796	217	187	930
1981	174	126	122	750	2061	919	1972	1079	831	608	275	216	761
1982	114	84	85	576	1786	1827	1941	2104	1327	801	168	134	912
1983	121	86	82	281	1722	1133	954	731	643	363	173	153	537
1984	136	111	116	159	1570	940	1040	843	793	478	225	161	528
1985	174	97	107	336	1361	1850	1737	1500	1636	708	244	205	830
1986	103	59	56	514	2453	1063	1072	1743	1053	624	152	153	754
1987	96	65	65	239	2194	1484	1186	1319	1153	703	121	116	728
1988	131	93	119	675	1814	1174	1130	1418	994	641	214	189	716
1989	129	103	164	194	2074	1757	977	1793	1056	638	215	209	771
1990	197	133	134	789	1463	1602	1396	1797	1126	685	289	265	823
1991	154	122	123	414	2507	672	1077	707	605	308	217	213	593
1992	187	149	139	480	1559	711	1252	782	590	359	312	255	565
1993	164	124	136	164	2093	1512	1831	1506	1126	641	220	203	809
1994	161	122	160	400	2416	1971	767	907	704	427	191	192	698
1995	166	114	114	149	1936	1662	1158	918	767	521	209	208	660
1996	164	122	122	492	1740	1645	1108	1383	952	626	252	216	735
$\bar{Q}, \text{м}^3/\text{с}$ $\text{м}^3/\text{с}$	150	120	112	350	2010	1395	1110	1106	839	519	218	194	676

Таблица 2.2 – Данные кривой обеспеченности

p, %	0,01	0,1	1	2	3	5	10	20	50	75	90	99
Ф	4,38	3,52	2,86	2,53	2,00	1,72	1,31	0,82	-0,05	-0,70	-1,55	-1,75
М	1,261	1,014	0,824	0,729	0,576	0,495	0,377	0,236	-0,014	-0,202	-0,446	-0,504
К	2,261	2,014	1,824	1,729	1,576	1,495	1,377	1,236	0,986	0,798	0,554	0,496
Q	4640	4132	3742	3547	3234	3068	2826	2536	2022	1638	1136	1018

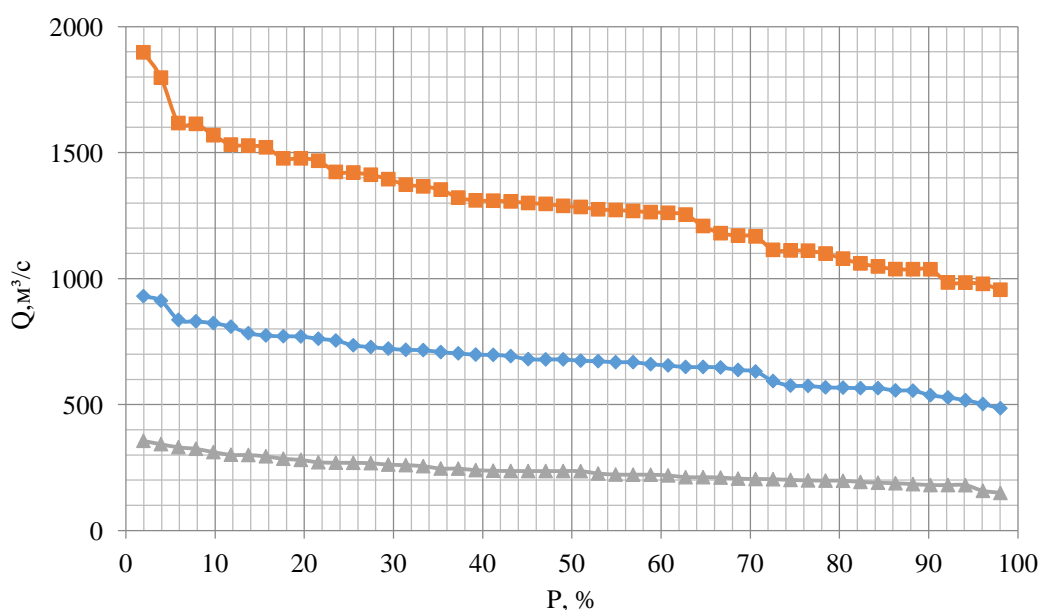


Рисунок 2.1 – Эмпирические кривые

2.1 Выбор года

Коэффициент приведения:

Выбор расчётного года ($P=50\%$)

1968:

$$K_M = \frac{Q_{M1947}}{Q_{M1968}} = \frac{236}{246} = 0,96; \quad (2.1)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{II1953}}{Q_{II1968}} = \frac{1284}{1275} = 1,01. \quad (2.2)$$

1966:

$$K_M = \frac{Q_{M1989}}{Q_{M1966}} = \frac{228}{331} = 0,69; \quad (2.3)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{II1995}}{Q_{II1966}} = \frac{1288}{1167} = 1,1. \quad (2.4)$$

В качестве расчётного средневодного года принимаем 1968 г.

Выбор расчётного года ($P=90\%$)

В качестве расчётного маловодного года принимаем 1983г.

Выбрав окончательно расчётные гидрографы, уточняем годовой сток, умножив среднемесячные расходы на вычисленные коэффициенты приведения. Расчётные маловодный и средневодный года представлены в таблицах 2.3 – 2.6.

Таблица 2.3 – Расчётный маловодный (1983) год ($P=90\%$) без приведения и с приведением.

Месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
$Q_i^{90\%}, \text{м}^3/\text{с}$	1722	1133	954	731	643	363	173	153	121	86	82	281

Таблица 2.4 – Расчётный средневодный (1968) год ($P=50\%$) без приведения и с приведением.

Месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Ср. знач.
$Q_i^{50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	2384	1625	739	947	678	340	254	219	164	124	122	497	674
$Q_i^{\text{пр}50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	2408	1641	746	956	685	326	244	210	157	119	117	477	674

Таблица 2.5 – Расчетный средневодный (1968) год (P=50%) без корректировки и с корректировкой.

Месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Сток
$Q_i^{пр50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	2408	1641	746	956	685	326	244	210	157	119	117	477	8088
$Q_i^{кор50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	2308	1541	1046	856	685	386	214	210	167	119	117	437	8088

Таблица 2.6 – Гидрографы маловодного (1983) и средневодного (1968) года

Годы	Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1983	$Q_i^{пр90\%}, \text{м}^3/\text{с}$	121	86	82	281	1722	1133	954	731	643	363	173	153
1968	$Q_i^{кор50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	167	119	117	437	2308	1541	1046	856	685	386	214	210

2.2 Кривые связи

2.2.1 Верхний бьеф

Для построения кривой связи в верхнем бьефе необходимо определить объёмы водохранилища и отметки в створе. Отметки Zвб взяты с топографической карты. НПУ = 170 м. Отметки нижнего бьефа были проверены с помощью excel, отклонения равны 0. Данные для построения представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Данные для построения Zвб(V)

δ	Zрасч	V	Zвб
0,00	170,00	19,17	170
0,00	165,00	17,95	165
0,00	160,00	15,96	160
0,00	155,00	13,42	155
0,00	150,00	11,16	150
0,00	145,00	9,23	145
0,00	140,00	7,58	140
0,00	135,00	6,18	135
0,00	130,00	4,99	130
0,00	125,00	3,98	125
0,00	120,00	3,11	120
0,00	115,00	2,35	115
0,00	110,00	1,68	110
0,00	105,00	1,07	105
0,00	100,00	0,51	100
0,00	95,00	0,00	95

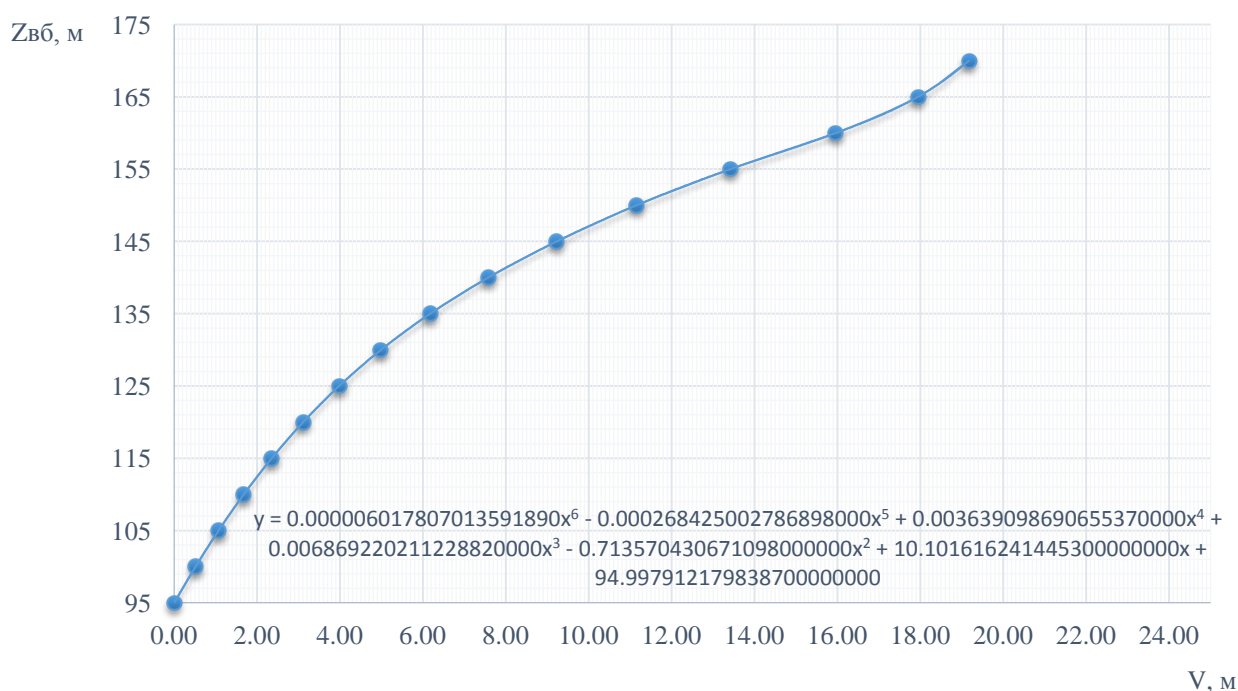


Рисунок 2.2 – Кривая зависимости отметок от объема в верхнем бьефе

2.2.2 Нижний бьеф

Для построения кривой в нижнем бьефе необходимо определить расходы реки, зная скорость и сечения створа. Кривая зависимости строится с помощью расходов и отметок нижнего бьефа в створе. Скорость реки: 1,2 м/с. Отметки нижнего бьефа проверены с помощью программы excel. Максимальное отклонение отметки нижнего бьефа 3 см. Данные представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Данные для построения $Z_{нб}(Q)$

w, m^2	$Z_{нб}, m$	$Q_{лет}, m^3/c$	$Q_{зим}, m^3/c$	$Z(Q_{расч,лет}), m$	$Z(Q_{расч,зим}), m$	δ
0	95	0	0	94,97	94,97	0,03
746	98	895	716	98,00	98,00	0,00
1583	101	1900	1520	101,00	101,00	0,00
2454	104	2945	2356	103,98	103,98	0,02
3368	107	4042	3233	107,03	107,03	-0,03
4322	110	5186	4149	110,00	110,00	0,00
5418	113	6502	5201	113,00	113,00	0,00
6559	116	7871	6297	115,99	115,99	0,01

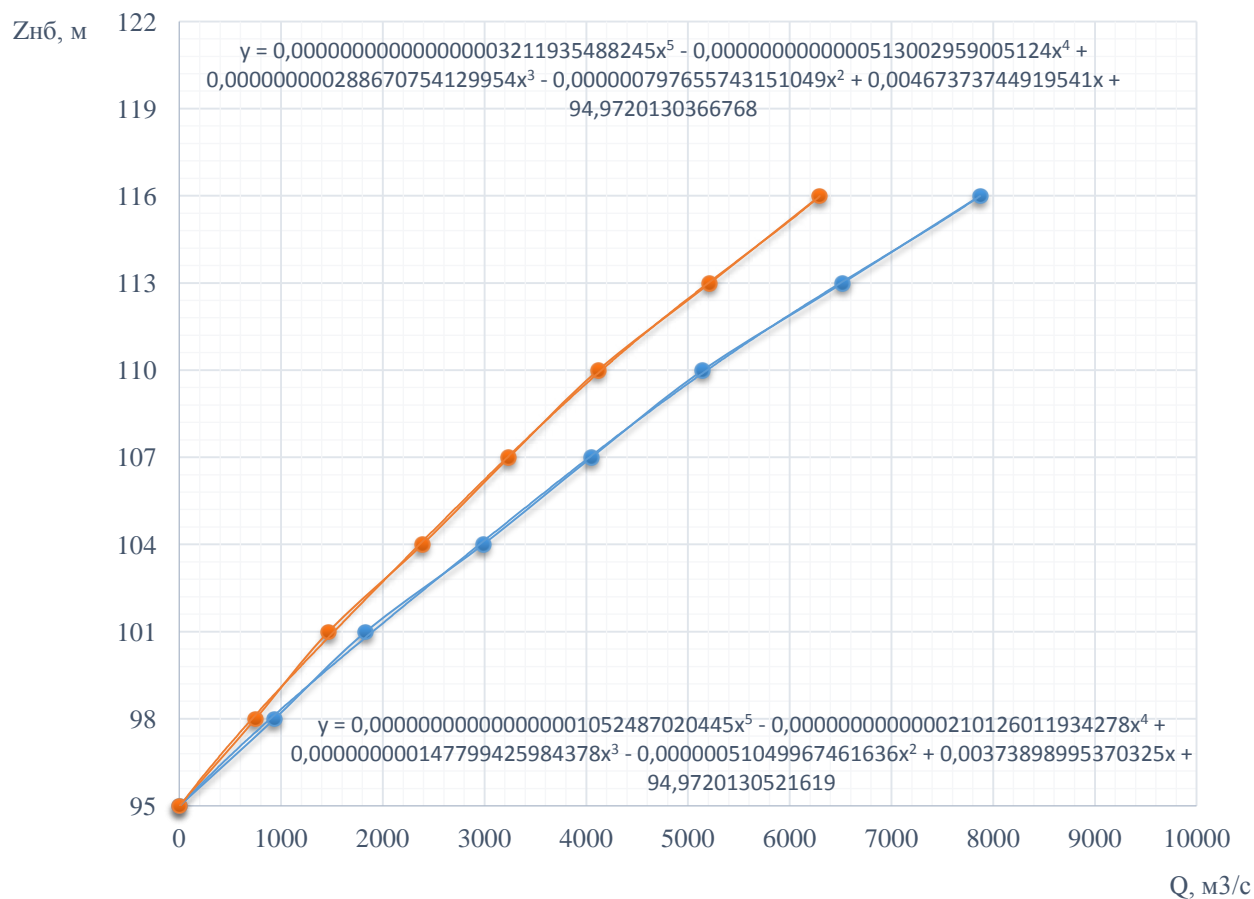


Рисунок 2.3 – Кривая зависимости отметок от расхода нижнего бьефа

2.3 Графики нагрузки

2.3.1 Суточные графики нагрузки

Строиться суточные графики нагрузки исходя из данных плана потребления, представленные в таблице 2.9, взятого с сайта системного оператора ЕЭС. Чтобы построить суточный график для Красноярского РДУ, делим нагрузки на коэффициент равный 3,42. График представлен на рисунке 2.4.

$$k = \frac{\text{Э}_{\text{год}} \text{ОДУ Сибирь}}{\text{Э}_{\text{год}} \text{Красноярское РДУ}} = \frac{201,21 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}}{58,87 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}} = 3,42 \quad (2.5)$$

Данные для лета представлены в плане потребления 23 июля 2015г.
 Данные для зимы представлены в план потребления 23 декабря 2015г.

Таблица 2.9 – Данные для построения суточного графика нагрузки

Мощность потребления (МВт)	Лето		Мощность потребления (МВт)	Зима	
	Красноярское РДУ	t		Красноярское РДУ	t
17717	5180	1	25369	7418	1
17591	5144	2	25613	7489	2
17877	5227	3	26234	7671	3
18544	5422	4	27225	7961	4
19311	5646	5	27978	8181	5
20165	5896	6	28617	8368	6
20816	6087	7	28962	8468	7
20870	6102	8	28966	8470	8
20784	6077	9	28701	8392	9
20805	6083	10	28530	8342	10
20718	6058	11	28421	8310	11
20882	6106	12	28428	8312	12
20888	6108	13	28664	8381	13
20719	6058	14	29157	8525	14
20645	6037	15	29624	8662	15
20527	6002	16	29710	8687	16
20423	5972	17	29418	8602	17
20607	6025	18	29017	8485	18
20744	6065	19	28432	8313	19
20365	5955	20	27445	8025	20
19599	5731	21	26726	7815	21
18677	5461	22	25873	7565	22
18170	5313	23	25426	7435	23
17926	5242	24	25191	7366	24

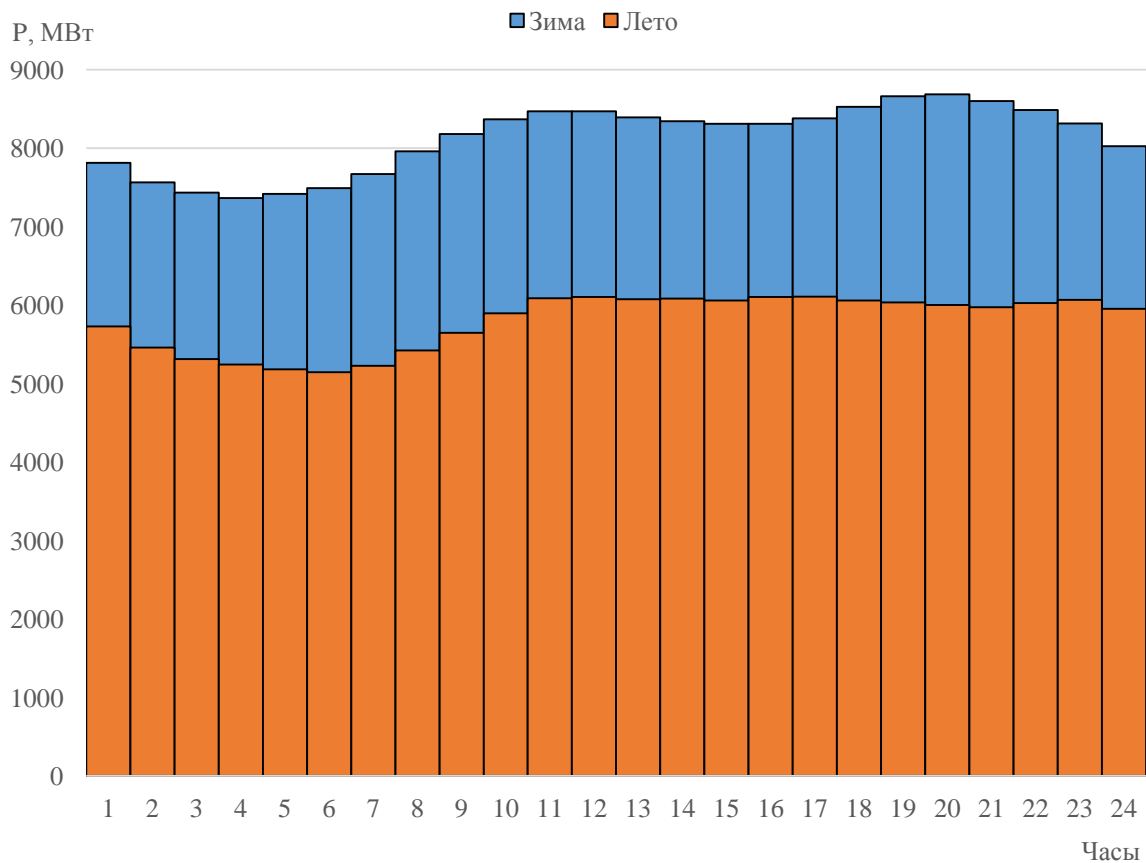


Рисунок 2.4 – Суточный график нагрузки

2.3.2 Годовые графики нагрузки

Данные для построения годового графика нагрузки представлены в таблице 2.10. График представлен на рисунке 2.5. Максимальная нагрузка энергосистемы носит синусоидальный характер и для рабочего дня каждого месяца определяется по формуле:

$$P = a + b \cdot \cos\alpha, \quad (2.6)$$

где a и b – коэффициенты, которые определяются по формулам:

$$a = \frac{\bar{P}_3 + \bar{P}_л}{2} = 7397; \quad (2.7)$$

$$b = \frac{\bar{P}_3 - \bar{P}_л}{2} = 1290; \quad (2.8)$$

Среднемесячные нагрузки энергосистемы:

$$\bar{P}_3 = 8135; \bar{P}_л = 5792$$

Таблица 2.10 – Данные для построения годового графика нагрузки

cos	P
0,965928	8643
0,707123	8309
0,258856	7731
-0,25877	7064
-0,70706	6485
-0,9659	6152
-0,96595	6152
-0,70719	6485
-0,25895	7063
0,258677	7731
0,706992	8309
0,96588	8643

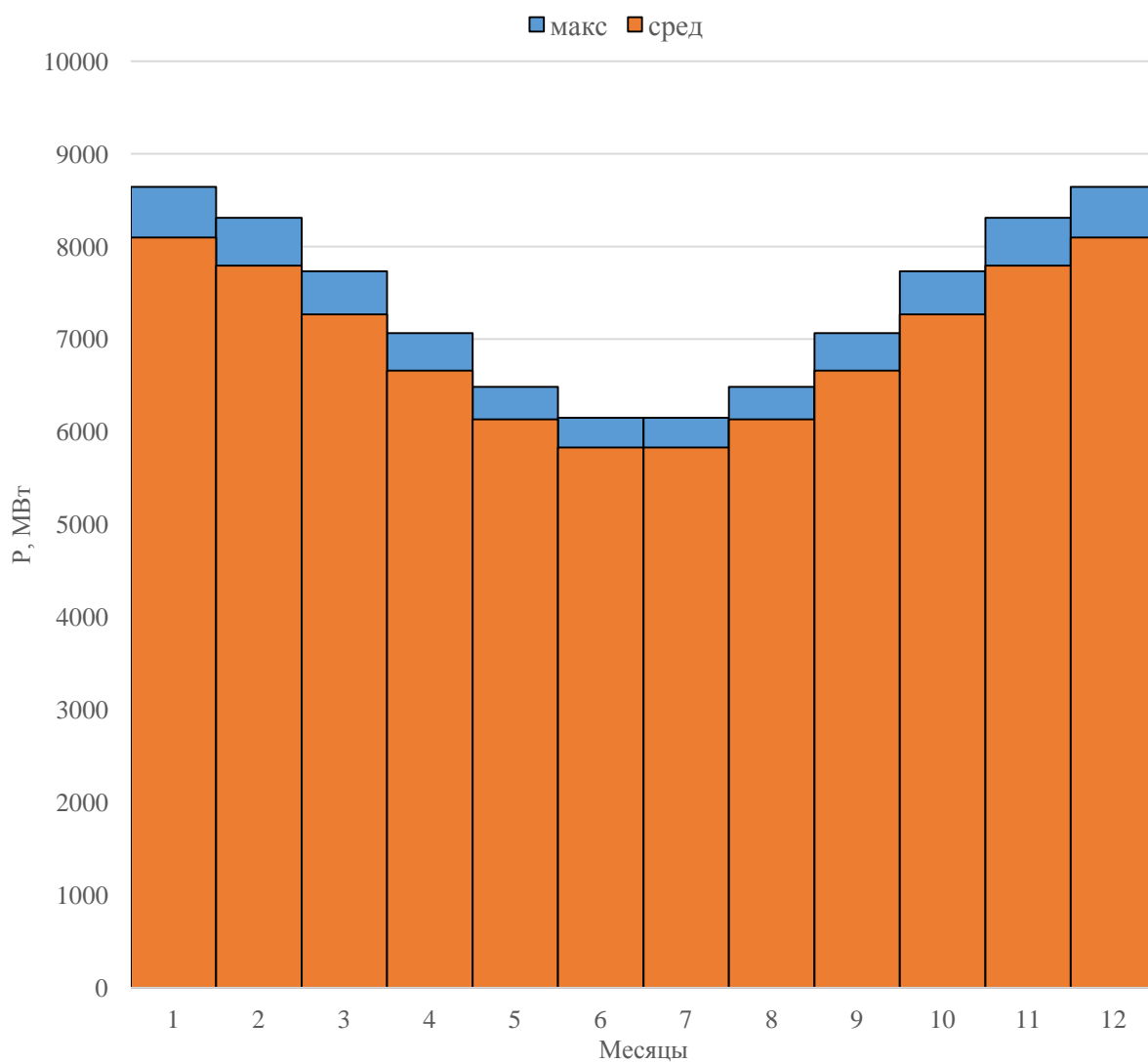


Рисунок 2.5 – Годовой график нагрузки

2.4 Расчет режимов работы ГЭС с учетом требований ВХК

Чтобы осуществить расчет режимов работы необходимо определить потери расхода и расходы ВХК. В таблице 2.11 представлены потери расхода на ВХК, фильтрационные потери, потери связанные с испарением и образованием льда.

Рассчитаны режим работы по водотоку и по вхк (таблицы 2.12, 2.13), найдены их разность, суммировав их данные, получили избыток мощности. Затем провели линию гарантированной мощности так, чтобы площадь над линией была равна избытку мощности в таком же масштабе. В итоге получили линию для вычисления гарантированной мощности. Гарантированная мощность выдается в XI, XII, I, II месяцы.

Таблица 2.11 – Потери расхода

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q _{вхк}	226	226	226	452	452	452	452	452	452	452	226	226
Q _ф	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Q _{исп}					3	3	7	3	3			
Q _{лед}	5	2	1	-8	-8					1	2	5
∑ потери	7	4	3	-6	-3	5	9	5	5	3	4	7

Таблица 2.12 – Расчет режима работы по водотоку

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q _{быт, полезн}	114	82	79	287	1725	1128	945	726	638	360	169	146
Z _{вб}	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Z _{нб}	95	95	95	96	102	100	99	98	98	96	96	96
H	74	74	74	73	68	70	70	71	72	73	74	74
N _{водот}	76	55	53	189	1053	710	601	467	412	237	112	97

Таблица 2.13 – Расчет режима работы по ВХК

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q _{вхк}	226	226	226	452	452	452	452	452	452	452	226	226
Z _{вб}	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Z _{нб}	96	96	96	97	97	97	97	97	97	97	96	96
H	73	73	73	72	72	72	72	72	72	73	73	73
N _{вхк}	150	150	150	295	295	295	295	295	295	297	150	150
N _{водот-N_{вхк}}	-74	-95	-97	-106	757	415	306	172	117	-59	-38	-53
												1245

2.5 Баланс энергий

Данные для построения баланса энергии представлены в таблице 2.14. Результат построения – график, представленный на рисунке 2.6.

Таблица 2.14 – Баланс энергий

t	cos	P	Nполбыт	Nвхк	Nбыт-Nвхк	Nгар
1	0,965928	8095	76	150	-74	567
2	0,707123	7792	55	150	-95	267
3	0,258856	7267	53	150	-97	-
4	-0,25877	6660	189	295	-106	-
5	-0,70706	6135	1053	295	757	-
6	-0,9659	5831	710	295	415	-
7	-0,96595	5831	601	295	306	-
8	-0,70719	6135	467	295	172	-
9	-0,25895	6660	412	295	117	-
10	0,258677	7267	237	297	-59	-
11	0,706992	7792	112	150	-38	267
12	0,96588	8095	97	150	-53	567
			4063	2817	1245	

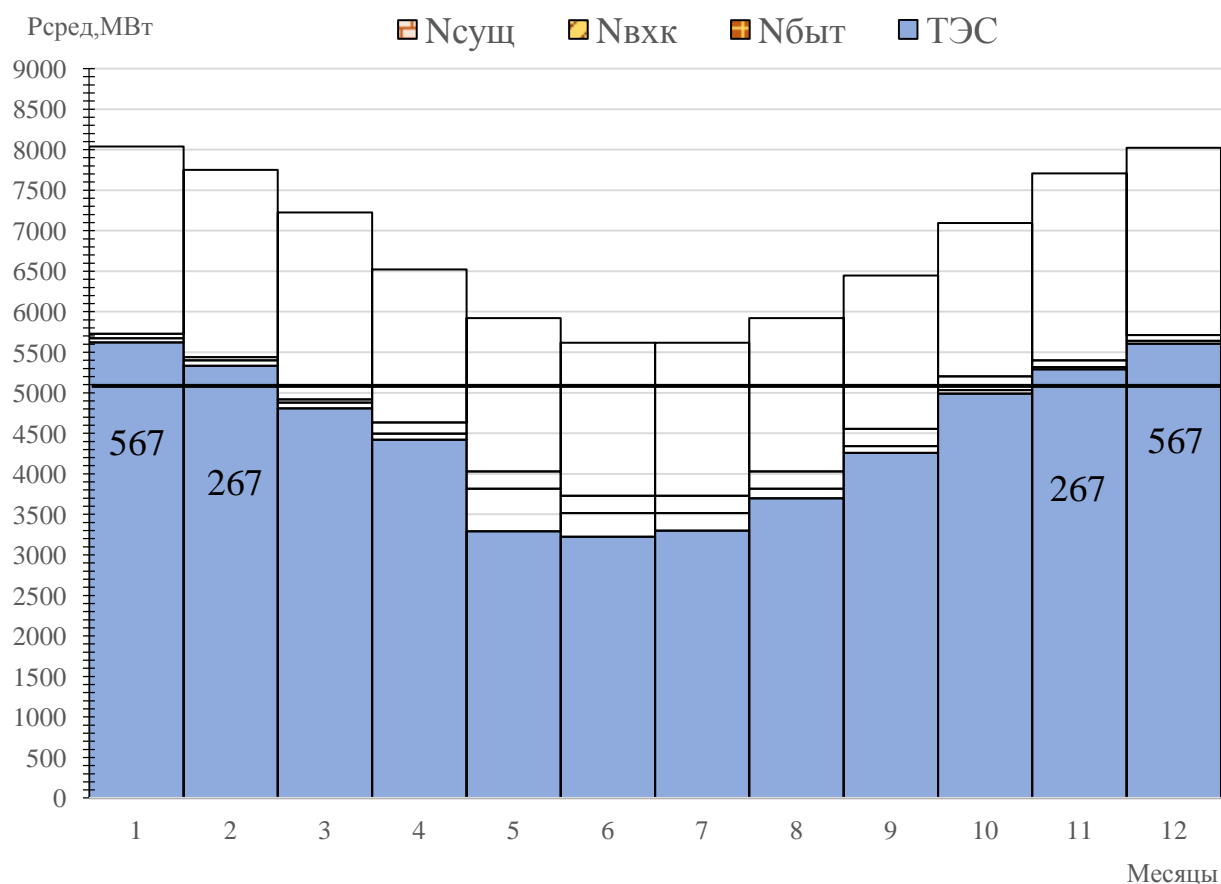


Рисунок 2.6 – Баланс энергий

2.6 Интегральные кривые нагрузки

На основе суточного графика нагрузки Красноярского РДУ строится интегральная кривая нагрузки. На построенной кривой размещается Красноярская ГЭС и проектируемая Тасеевская ГЭС (рисунки 2.7 – 2.8). Координаты Тасеевской ГЭС представлены в таблицах 2.15 – 2.16.

Так как существующая ГЭС размещается в пиковой, полупиковой и часть базовой зон, то проектируемая ГЭС находится в базовой зоне графика нагрузки.

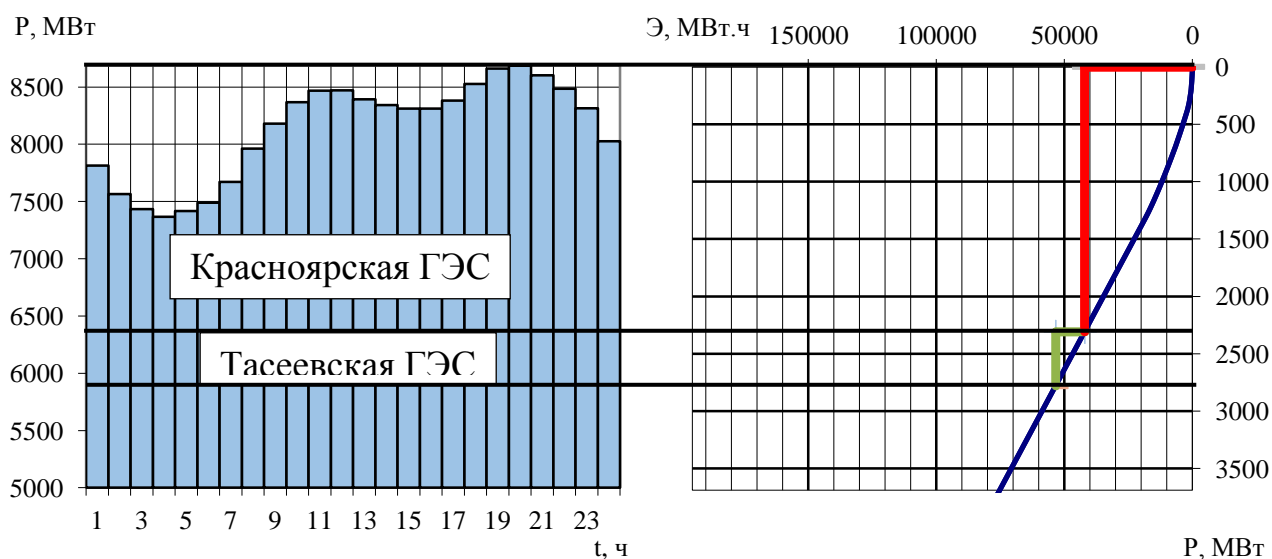


Рисунок 2.7 – Интегральная кривая нагрузки для зимы

Таблица 2.15 – Координаты Тасеевской ГЭС (зима)

Эгар	13608
Нгар	567
Нраб	567
Нуст	624

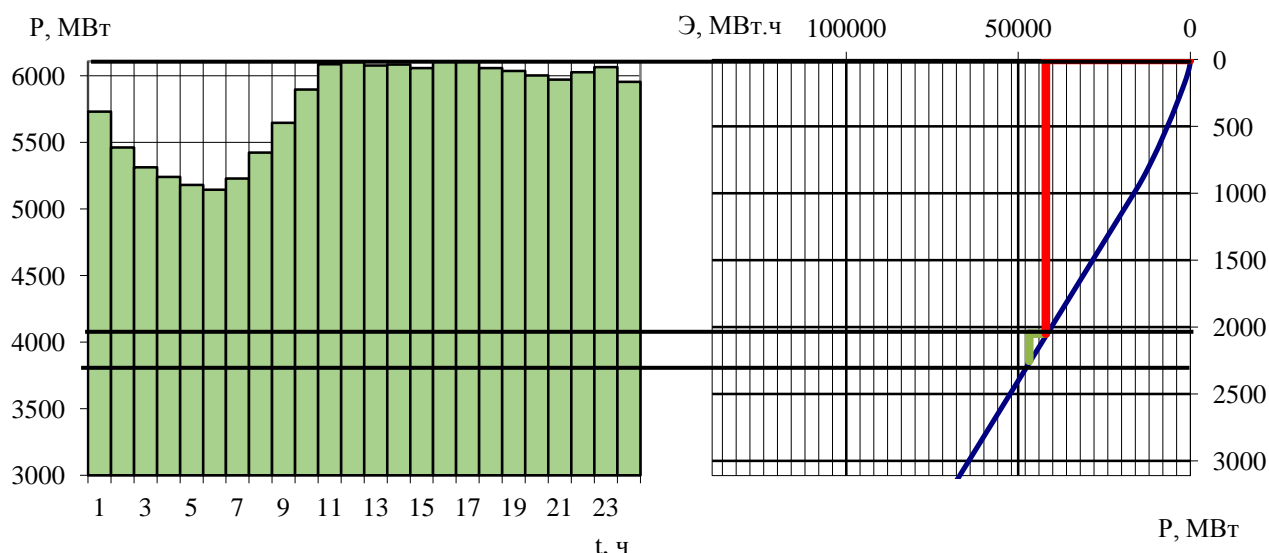


Рисунок 2.8 – Интегральная кривая нагрузки для лета

Таблица 2.16 – Координаты Тасеевской ГЭС (лето)

Э _{гар}	6096
N _{гар}	254
N _{раб}	254
N _{уст}	227

2.7 Водно-энергетический расчет

После был произведен водно-энергетический расчет, в результате которого, были получены данные по маловодному и средневодному годов [Приложение А]. В маловодном году в XI, II месяца получается гарантированная мощность равная 267 МВт. XII, I месяца получается гарантированная мощность равная 567 МВт. Остальные месяцы работа по ВХК. В результате расчета средневодного года среднемноголетняя выработка равная 3,2 млрд. кВт · ч.

2.8 Режимное поле

Режимное поле строится для определения допустимой работы проектируемой ГЭС с указанием линий ограничения различных режимов работы.

Результаты расчетов представлены в таблице Б.1 [Приложение Б].

По полученным значениям построено режимное поле с учетом ограничений по мощности и пропускной способности.

Режимное поле представлено на рисунке Б.1 [Приложение Б].

По режимному полю определяем следующие параметры:

- расчетный напор $H_p = 58,3$ м;
- минимальный напор $H_{\min} = 51,8$ м;

– максимальный напор $H_{\max} = 73,6$ м;

2.9 Баланс мощностей

При составлении баланса мощности энергосистемы учитываем, что нагрузочный резерв системы равен 2% P_t^{\max} , аварийный резерв составляет 10% от P_t^{\max} . Нагрузочный резерв расположен на существующих ГЭС, поэтому аварийный будет размещен на ТЭС.

Расчеты баланса мощностей представлены в таблице В.1 [Приложение В].

По результатам таблицы В.1 строиться баланс мощностей в энергосистеме в маловодном году [Приложение В].

3 Основное и вспомогательное оборудования

3.1 Выбор гидротурбины

Нужно выбрать тип турбины и номинальный диаметр рабочего колеса D_1 , чтобы при наибольшем КПД получить заданную мощность.

Исходные данные:

- Максимальный напор: $H_{\max} = 73,6$ м;
- Расчетный напор: $H_p = 58,3$ м;
- Минимальный напор: $H_{\min} = 51,8$ м;
- Установленная мощность ГЭС: $N_{\text{уст}} = 624$ МВт.

Выбор типа турбины зависит от значения H_{\max} , оно должно быть близко к $H_{\text{пред}}$. В соответствии с этим условием подходит реактивная турбина РО75–В.

Из таблицы [Приложение Г.] составляем таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Основные параметры турбины

Марка	РО75 – В
$H_{\text{пред}}$, м	75
H_{\min}/H_{\max}	0,60
$n_{\text{Г opt}}$, об/м	83
$Q_{\text{Г opt}}$, л/с	1020
η_{opt}	0,920
$Q_{\text{Г max}}$, л/с	1200
σ м	0,13
$D_{1 \text{ м}}$, м	0,460
$H_{\text{мод}}$, м	4
$t_{\text{мод}}$, °С	20

Из методических указаний берется ряд номинальных диаметров D_1 для РО75-В.

Проведен расчет для турбины РО75-В-600. Дальнейшие расчеты выполняются аналогично с помощью программного комплекса MicrosoftExcel. Результаты расчета сведены в таблицу 3.2.

КПД для турбин каждого диаметра:

$$\eta_T = 1 - (1 - \eta_M) \cdot ((1 - 0,75) + 0,75 \cdot \left(D_{1\text{м}} \cdot \frac{1,3}{D_1} \cdot \sigma \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{H_{\text{мод}}}{H_p} \right)^{0,1} =$$

$$\begin{aligned}
&= 1 - (1 - 0,92) \cdot ((1 - 0,75) + 0,75 \cdot \left(0,46 \cdot \frac{1,3}{6} \cdot 0,13\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{4}{58,3}\right)^{0,1} = \\
&= 0,961
\end{aligned}
\tag{3.1}$$

Рассчитываем мощность агрегата:

$$\begin{aligned}
N^* &= 9,81 \cdot Q' \cdot (D_1)^2 \cdot H_p \cdot (H_p)^{0,5} \cdot \eta_T \cdot 0,97 = 9,81 \cdot 1,17 \cdot (6)^2 \cdot 58,3 \cdot \\
&\cdot (58,3)^{0,5} \cdot 0,961 \cdot 0,97 = 171,4 \text{ МВт}
\end{aligned}
\tag{3.2}$$

Необходимое количество агрегатов:

$$Z = \frac{N_{\text{уст}}}{N^*} = \frac{623,7}{171,4} = 3,64 \approx 4
\tag{3.3}$$

Z округляем до целого числа в большую сторону.

Мощность на каждом агрегате ГЭС:

$$N = \frac{N_{\text{уст}}}{Z} = \frac{623,7}{4} = 155,9 \text{ МВт} = 155925 \text{ кВт}
\tag{3.4}$$

Определяем поправку КПД:

$$m = \frac{\eta_T}{\eta_M} = \frac{0,961}{0,92} = 1,044
\tag{3.5}$$

Определение частоты вращения турбины:

$$n = \frac{n' \cdot (m \cdot H_p)^{0,5}}{D_1} = \frac{83 \cdot (1,044 \cdot 58,3)^{0,5}}{6} = 107,9 \text{ об/мин},
\tag{3.6}$$

где $n' = n'_{\text{opt}}$.

Полученное значение округляем до ближайшего синхронного значения частоты вращения. В данном случае $n = 115,4$ об/мин.

Определяем рабочую зону турбины на ГУХ. Для этого определяем n' для каждого значения напора.

$$n'_{\max} = \frac{n_{\text{синх}} \cdot D_1}{(m \cdot H_{\max})^{0,5}} = \frac{115,4 \cdot 6}{(1,044 \cdot 73,6)^{0,5}} = 79,0 \text{ об/мин} \quad (3.7)$$

$$n'_p = \frac{n_{\text{синх}} \cdot D_1}{(m \cdot H_p)^{0,5}} = \frac{115,4 \cdot 6}{(1,044 \cdot 58,3)^{0,5}} = 88,7 \text{ об/мин} \quad (3.8)$$

$$n'_{\min} = \frac{n_{\text{синх}} \cdot D_1}{(m \cdot H_{\min})^{0,5}} = \frac{115,4 \cdot 6}{(1,044 \cdot 51,8)^{0,5}} = 94,1 \text{ об/мин} \quad (3.9)$$

Находим расчетную точку для каждого D_1 турбины:

$$Q'_{\max} = \frac{N}{9,81 \cdot (D_1)^2 \cdot H_{\max} \cdot \sqrt{H_{\max}} \cdot 0,97} = \frac{155925}{9,81 \cdot (6)^2 \cdot 73,6 \cdot \sqrt{73,6} \cdot 0,97} = 1,044 \text{ л/с} \quad (3.10)$$

$$Q'_p = \frac{N}{9,81 \cdot (D_1)^2 \cdot H_p \cdot \sqrt{H_p} \cdot 0,97} = \frac{155925}{9,81 \cdot (6)^2 \cdot 58,3 \cdot \sqrt{58,3} \cdot 0,97} = 0,721 \text{ л/с} \quad (3.11)$$

$$Q'_{\min} = \frac{N}{9,81 \cdot (D_1)^2 \cdot H_{\min} \cdot \sqrt{H_{\min}} \cdot 0,97} = \frac{155925}{9,81 \cdot (6)^2 \cdot 51,8 \cdot \sqrt{51,8} \cdot 0,97} = 1,221 \text{ л/с} \quad (3.12)$$

На данном этапе самым лучше вариантом является турбина РО75-В-600, исходя из того, что её рабочая зона находится в оптимальной зоне. [Приложение Д.]. Данные подбора турбины представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Подбор турбины

$D_1, \text{м}$	5	5,6	6	6,3
КПД турбины	0,960	0,960	0,961	0,961

N*, МВт	118,9	149,3	171,4	189,0
Z*	5,24	4,18	3,64	3,30
Z	6	4	4	4
N, кВт	103950,0	155925,0	155925,0	155925,0
m ₁	1,044	1,044	1,044	1,045
n _{с1} '	129,5	115,6	107,9	102,8
n _{с1}	136,4	125,0	115,4	107,1
n' _{max}	77,8	79,9	79,0	77,0
n' _p	87,4	89,7	88,7	86,5
n' _{min}	92,8	95,2	94,1	91,7
Q _p '	0,982	1,174	1,044	0,927
Q _{max} '	0,692	0,828	0,721	0,654
Q _{min} '	1,172	1,402	1,221	1,107

Переводим полученный приведенный расход в расчетный расход.

$$Q_{\max} = 0,88 \cdot (D_1)^2 \cdot \sqrt{H_{\max}} = 0,88 \cdot (6)^2 \cdot \sqrt{73,6} = 272 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.13)$$

$$Q_p = 1,12 \cdot (D_1)^2 \cdot \sqrt{H_p} = 1,12 \cdot (6)^2 \cdot \sqrt{58,3} = 308 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.14)$$

$$Q_{\min} = 1,09 \cdot (D_1)^2 \cdot \sqrt{H_{\min}} = 1,09 \cdot (6)^2 \cdot \sqrt{51,8} = 282 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.15)$$

Определяем отметки соответствующие полученному расчетному расходу в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Отметки соответствующие расходу

Напоры	H _{max}	H _p	H _{min}
Отметки (▼Z)	95,95	96,08	95,99

Находим высоту отсасывания H_s^{доп}, для турбины РО75-В-600:

$$H_s^{\text{доп}} = 10 - \frac{\nabla}{900} - \sigma \cdot H_p - \Delta H_s + Z_x, \quad (3.16)$$

где ∇ – отметка расположения рабочего колеса;

$\Delta H_s = 1,5$ м – дополнительное заглубление рабочего колеса, учитывающие неточности определения σ при модельных испытаниях, масштабный эффект и антикавитационный запас;

Z_x – разность отметок характерных плоскостей модельной и натурной турбин, которая определяется следующим образом:

- для радиально-осевых (РО)

$$Z_x = \frac{b_0}{2} \quad (3.17)$$

Полученные высоты отсасывания записываем в таблицу 3.4:

Таблица 3.4 – Высота отсасывания

Q' в Q	272	308	282
▼Z	95,95	96,08	95,99
H _s	2,083	-1,051	1,155

Полученная турбина РО75-В-600 удовлетворяет следующим требованиям:

- значение КПД в расчетной точке достаточно велико;
- рабочая зона на ГУХ расположена так, что расчетная точка находится между линиями n'_p и n'_{min} , и не уходит правее линии 5% мощности;
- высота отсасывания соответствует допустимой.

3.2 Выбор отметки установки рабочего колеса

Отметка установки РК:

$$\nabla Z_{p.k} = Z_{НБ} + H_s = 96,08 - 1,05 = 95,03 \text{ м} \quad (3.18)$$

где $Z_{НБ}$ – отметка уровня воды в НБ при $Q_{нб}$, соответствующий расчетному значению высоты отсасывания.

3.3 Расчет и построение металлической спиральной камеры

При ее расчете задаемся тремя главными условиями, которым должен подчиняться поток, через нее проходящий:

- обеспечиваем равномерное распределение расхода по окружности направляющего аппарата;
- обеспечиваем одинаковую закрутку потока (постоянство момента скорости) перед направляющим аппаратом;
- подбираем размеры радиальных сечений спиральной камеры так, чтобы средние скорости потока в них не превосходили предельных значений.

Исходные данные:

- Угол охвата спиральной камеры – $\varphi_{\text{сп}} = 345^\circ$ – рекомендованный угол охвата, для металлической спиральной камеры;
- $D_0 = 7$ м;
- $D_b = 8$ м;
- $D_a = 9,25$ м;
- $D_4 = 9,65$ м;
- $z_0 = 24$;
- $R = 0,5$;
- $h = 0,46$.

Принимаем скорость потока во входном сечении для конкретного типа турбины и расчетного напора H_p (рисунок 3.1)

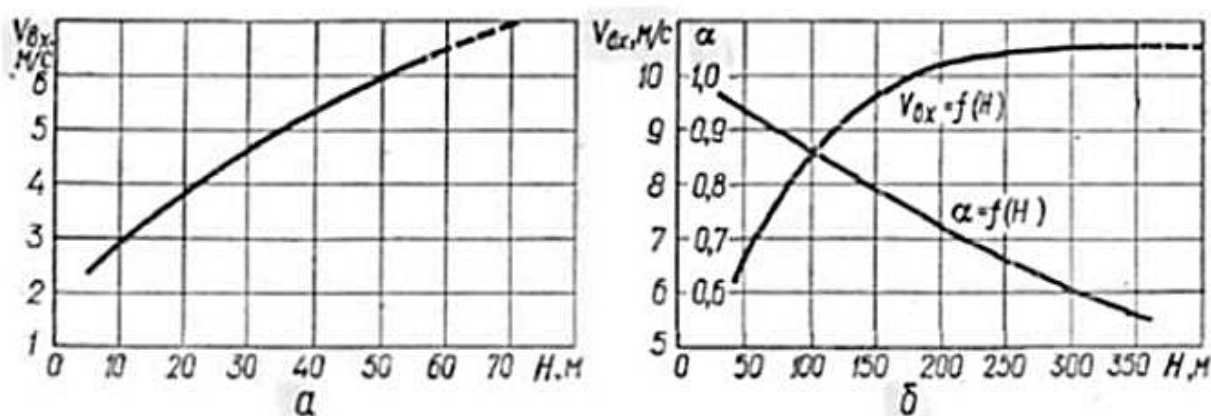


Рисунок 3.1 – Рекомендуемые значения скорости и скоростного коэффициента во входном сечении спиральной камеры:
а – осевые турбины; б – радиально-осевые турбины

Принимается $V_{\text{вх}} = 6,6$ м/с

Расход через входное сечение спирали:

$$Q_{\text{вх}} = Q_p \cdot \frac{\varphi}{360^\circ} = 273 \cdot \frac{345^\circ}{360^\circ} = 261 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.19)$$

где φ – максимальный угол для входного сечения.

Расчетный расход:

$$Q_p = \frac{N}{9,81 \cdot H_p} = \frac{155925}{9,81 \cdot 58,3} = 273 \text{ м}^3/\text{с}$$

(3.20)

Площадь входного сечения:

$$F_{\text{вх}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{V_{\text{сп}}} = \frac{261}{6,6} = 39,6 \text{ м}^2$$

(3.21)

Радиус входного сечения:

$$r_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{F_{\text{вх}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{39,6}{3,14}} = 3,55 \text{ м}$$

(3.22)

Расстояние от оси турбины до центра входного сечения:

$$a_{\text{вх}} = \frac{D_4}{2} + \sqrt{r_{\text{вх}}^2 - \left(\frac{H_1}{2}\right)^2} = 4,825 + \sqrt{3,55^2 - \left(\frac{3,04}{2}\right)^2} = 8,034 \text{ м}$$

(3.23)

Наружный радиус входного сечения:

$$R_{\text{вх}} = a_{\text{вх}} + r_{\text{вх}} = 8,03 + 3,55 = 11,58 \text{ м}$$

(3.24)

Последовательно задавая ряд значений углов φ через $\Delta\varphi = 15^\circ$, рассчитываются все сечения спиральной камеры. Зависимость $\varphi_{\text{сп}} = f(R_i)$ представлена на рисунке 3.2. Для удобства, все расчеты помещают в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Расчет все сочинений спиральной камеры

	φ	-	-	-	-	-	x	x^2	p^2	p	a	R
	-	$\varphi/360$	φ/c	$2 \cdot R_4 \cdot [3]$	$[4] - (H_1/2)^2$	корень [5]	$[6] + [3]$	$[7]^2$	$[8] + (H_1/2)^2$	корень [9]	$R_4 + [7]$	$[10] + [11]$
№	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
1	34 5	0,95 8	0,82 7	7,979	5,669	2,381	3,208	10,29 0	12,601	3,550	8,033	11,583

2	33 0	0,91 7	0,79 1	7,633	5,322	2,307	3,098	9,597	11,907	3,451	7,923	11,374
3	31 5	0,87 5	0,75 5	7,286	4,975	2,231	2,986	8,913	11,224	3,350	7,811	11,161
4	30 0	0,83 3	0,71 9	6,939	4,628	2,151	2,870	8,239	10,549	3,248	7,695	10,943
5	28 5	0,79 2	0,68 3	6,592	4,281	2,069	2,752	7,575	9,885	3,144	7,577	10,721
6	27 0	0,75 0	0,64 7	6,245	3,934	1,984	2,631	6,920	9,231	3,038	7,456	10,494
7	25 5	0,70 8	0,61 1	5,898	3,587	1,894	2,505	6,276	8,587	2,930	7,330	10,261
8	24 0	0,66 7	0,57 5	5,551	3,241	1,800	2,375	5,642	7,953	2,820	7,200	10,020
9	22 5	0,62 5	0,53 9	5,204	2,894	1,701	2,240	5,019	7,330	2,707	7,065	9,773
1 0	21 0	0,58 3	0,50 3	4,857	2,547	1,596	2,099	4,406	6,717	2,592	6,924	9,516
1 1	19 5	0,54 2	0,46 7	4,510	2,200	1,483	1,951	3,805	6,115	2,473	6,776	9,248
1 2	18 0	0,50 0	0,43 1	4,163	1,853	1,361	1,793	3,213	5,524	2,350	6,618	8,968
1 3	16 5	0,45 8	0,39 5	3,816	1,506	1,227	1,623	2,633	4,943	2,223	6,448	8,671

В квадратных скобках указанные графы, из которых в расчетные выражение подставляются требуемые значения.

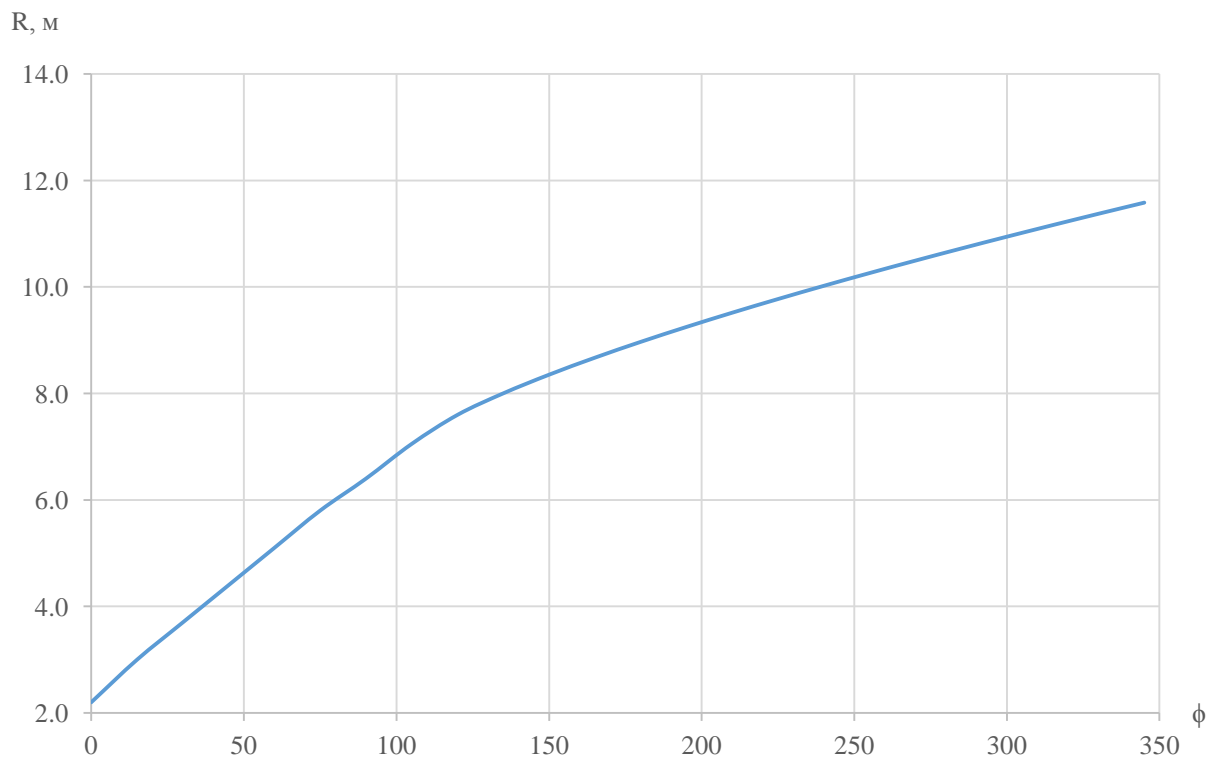


Рисунок 3.2 – Зависимость $\varphi_{\text{сп}} = f(R_i)$.

Больший радиус эллиптического сечения:

$$p_1 = \frac{H_1}{2 \cdot \sin a_k} = \frac{3,04}{2 \cdot \sin 35^\circ} = 2,65 \text{ м} \quad (3.25)$$

Меньший радиус для любого эллиптического сечения:

$$p_{2i} = \frac{R_i - (R_4 + p_1 \cdot (1 - \cos a_k))}{2 \cdot \cos a_k} \text{ (м)} \quad (3.26)$$

Наружные и эллиптические радиусы представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Наружные и эллиптические радиусы

№	φ	p ₁	R	p ₂
14	150	2,650	8,352	2,479
15	135	2,650	8,002	2,252
16	120	2,650	7,597	2,007
17	105	2,650	7,053	1,736
18	90	2,650	6,400	1,523
19	75	2,650	5,800	1,279
20	60	2,650	5,100	1,035
21	45	2,650	4,400	0,791

Постоянная спиральной камеры:

$$k = \frac{Q_p}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{c}} = \frac{272}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,86} = 50,2 \quad (3.27)$$

Угол потока в спиральной камере:

$$\text{tg} \delta = \frac{Q_p / (2 \cdot \pi \cdot b_1)}{k} \quad (3.28)$$

$$\delta = \text{arctg} \left(\frac{Q_p}{\frac{2 \cdot \pi \cdot b_1}{k}} \right) = \text{arctg} \left(\frac{272}{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,12}{50,2}} \right) = 22,15 \quad (3.29)$$

В завершении расчета выполняется теоритический чертеж спиральной камеры на основе размеров представлены в ГУХ [Приложение Е]. Представленный на рисунке 3.3.

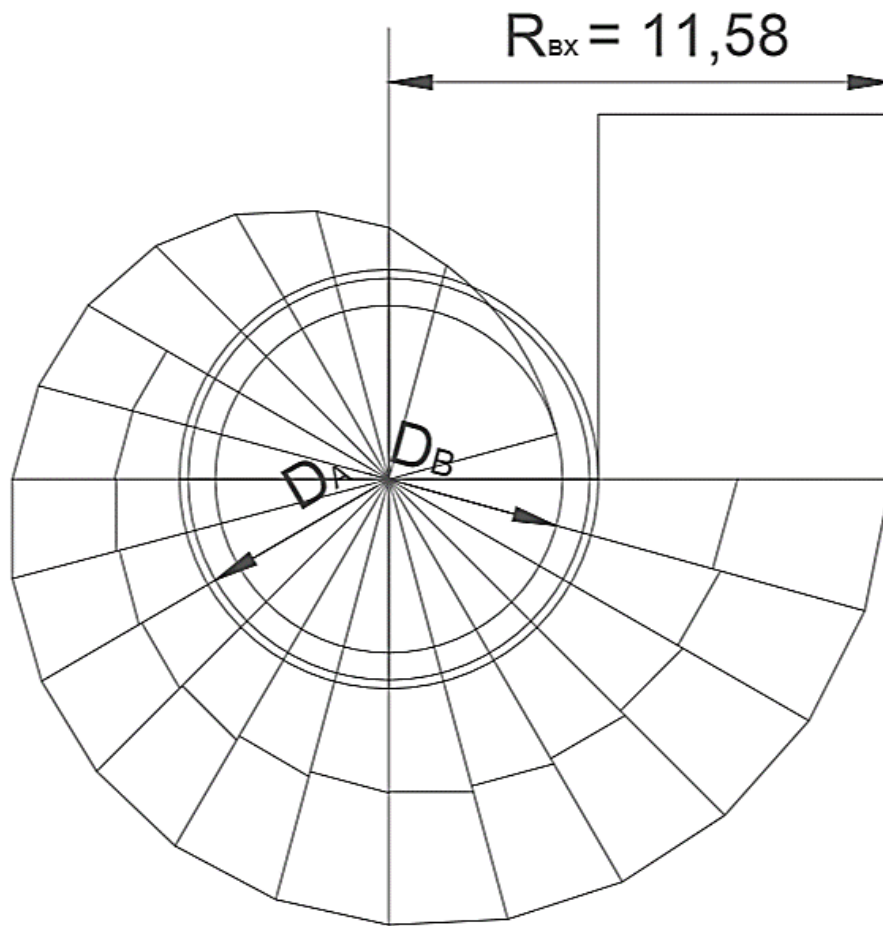


Рисунок 3.3 – Теоритический чертеж спиральной камеры.

3.4 Расчет отсасывающей трубы

Входное сечение конуса:

$$F_{1-1} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4}, \quad (3.30)$$

где $D_2 = 1,043 \cdot D_1 = 6,3 \text{ м.}$

$$F_{1-1} = \frac{3,14 \cdot 6,3^2}{4} = 30,7 \text{ м}^3$$

Входное сечение колена:

$$F_{2-2} = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4}, \quad (3.31)$$

где $D_k = 1,285 \cdot D_1 = 7,7 \text{ м.}$

$$F_{2-2} = \frac{3,14 \cdot 7,7^2}{4} = 46,7 \text{ м}^3$$

Выходное сечение колена:

$$F_{3-3} = h_3 \cdot B, \quad (3.32)$$

где $h_3 = 0,665 \cdot D_1 = 4,0$ м;

$B = 3,133 \cdot D_1 = 18,8$ м.

$$F_{3-3} = 4,0 \cdot 18,8 = 75,0 \text{ м}^3$$

Выходное сечение диффузора:

$$F_{4-4} = 2 \cdot h_4 \cdot \frac{B}{2}, \quad (3.33)$$

где $h_4 = 1,227 \cdot D_1 = 7,4$ м.

$$F_{4-4} = 2 \cdot 7,4 \cdot \frac{18,8}{2} = 138,4 \text{ м}^3$$

Определяем средние меридианные скорости и среднюю кинетическую энергию потока для режима при H_p и режима максимального расхода:

$$V_{i-i} = \frac{Q_k}{F_i}, \quad (3.34)$$

$$E_{i-i} = \frac{100 \cdot V_i^2}{2 \cdot g \cdot H_p} \quad (3.35)$$

Рассчитываем $V_{\text{отп}}$, V_{max} , $E_{\text{отп}}$ и E_{max} для всех сечений отсасывающей трубы. Для удобства, полученные данные записываем в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Сечения отсасывающие трубы

Сечение	F_{i-i}	$V_{i-i\text{отп}}$	$V_{i-i\text{max}}$	$E_{i-i\text{отп}}$	$E_{i-i\text{max}}$	L_i
1-1	30,7	9,2	9,6	7,4	8,1	0
2-2	46,7	6,1	6,4	3,2	3,5	7,9
3-3	75,0	3,8	4,0	1,3	1,4	16,9
4-4	138,4	2,1	2,1	0,4	0,4	43,9

Строим графики изменения средней меридианной скорости и средней кинетической энергии потока для режима при H_p и режима максимального расхода (рисунок 3.4, 3.5):

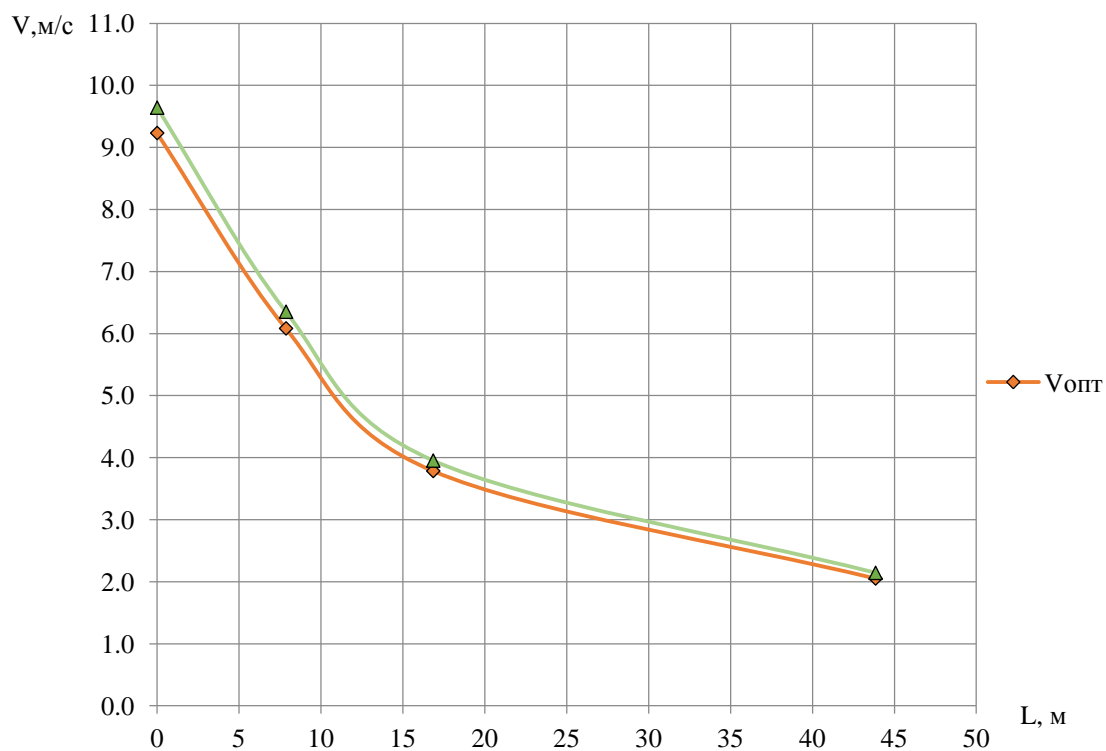


Рисунок 3.4 – Изменение средней меридианной скорости.

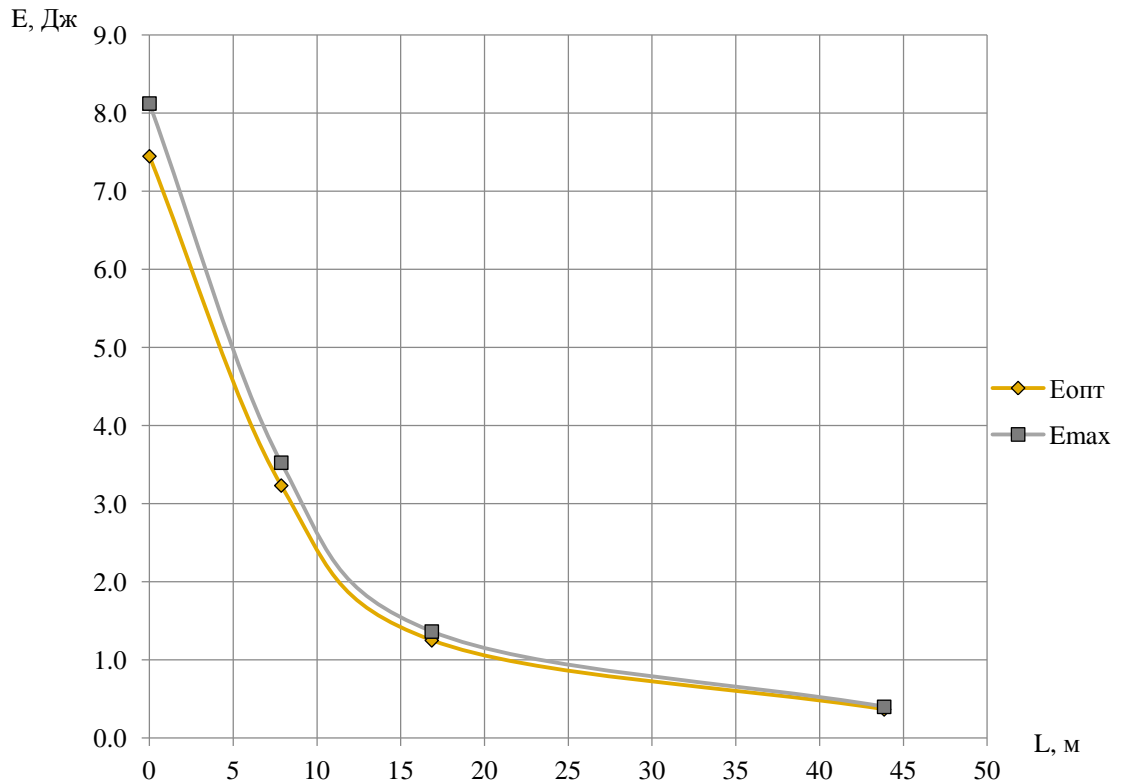


Рисунок 3.5 – Изменение средней кинетической энергии потока.

3.5 Требования к гидрогенератору

Частота вращения генератора принимается равной частоте вращения турбины $n_{\text{синх}} = 115,4$ об/мин.

Разгонная частота вращения:

$$n_{\text{разг}} = k_{\text{разг}} \cdot n_{\text{синх}} = 2 \cdot 115,4 = 230,8 \text{ об/мин}, \quad (3.36)$$

где $k_{\text{разг}}$ принимается равным 1,8 – 2,0 для РО турбин.

Номинальная активная мощность генератора:

$$N_{\text{ген}} = N_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{ген}} = 155925 \cdot 0,98 = 152806,5 \text{ кВт}, \quad (3.37)$$

где $\eta_{\text{ген}}$ задается в пределах 0,975 – 0,98.

Полная мощность генератора:

$$S_{\text{ген}} = \frac{N_{\text{ген}}}{\cos\varphi} = \frac{152806,5}{0,8} = 191008 \text{ кВА} \quad (3.38)$$

$\cos\varphi$ принимается равным 0,8.

Вес ротора генератора и его маховой момент на данном этапе могут быть определены по эмпирическим соотношениям.

Диаметр расточки статора:

$$D_{\text{вн.статора}} = 2,6 \cdot (S_{\text{ген}})^{0,25} \cdot (n_{\text{синх}})^{0,33} = 2,6 \cdot (191008)^{0,25} \cdot (115,4)^{0,33} = 11,3 \text{ м} \quad (3.39)$$

Вес ротора генератора:

$$G_{\text{рот}} = 0,8 \cdot (D_{\text{вн.статора}} - 1) = 0,8 \cdot (11,3 - 1) = 8,3 \text{ МН} \quad (3.40)$$

Маховый момент инерции ротора генератора:

$$GD^2 = 10 \cdot (S_{\text{ген}})^{0,8} \cdot (n_{\text{синх}})^{-1,2} = 10 \cdot (191008)^{0,8} \cdot (115,4)^{-1,2} = 562,6 \text{ мНм}^2 \quad (3.41)$$

Осевое усилие на подпятник агрегата складывается из трех основных параметров: веса ротора генератора, веса рабочего колеса и вала турбины и осевого гидравлического усилия на рабочем колесе.

$$P_{\text{ос}} = G_{\text{рот}} + G_{\text{т}} + P_{\text{ос}}^{\text{гидр}} \quad (3.42)$$

Вес рабочего колеса с валом турбины:

$$G_{\text{т}} = k_G \cdot (D_1)^\alpha \cdot (H_{\text{мах}})^\beta = 0,018 \cdot (6)^{2,3} \cdot (73,6)^{0,1} = 1,7 \text{ МН}, \quad (3.43)$$

где k_G , α и β берутся по таблице 3.8

Таблица 3.8 – Коэффициенты для расчета гидрогенератора

Турбины	k_G	α	β
ПЛ	0,0025	2,5	0,5
ПЛД	0,003	2,5	0,5
РО	0,018	2,3	0,1

Гидравлическое осевое усилие на рабочем колесе РО турбины:

$$P_{oc}^{гидр} = k_{oc} \cdot D_1^2 \cdot H_{max} = 0,003 \cdot 6^2 \cdot 73,6 = 7,9 \text{ МН} \quad (3.44)$$

Осевое усилие (3.42):

$$P_{oc} = G_{рот} + G_T + P_{oc}^{гидр} = 8,3 + 1,7 + 7,9 = 17,9 \text{ МН}$$

Генератор выбирается исходя из синхронной частоты вращения 115,4 об/мин и числа полюсов 24. Принимается генератор: СВ-1130/140-48.

3.6 Расчет подшипника и вала на прочность

Расчет вала на прочность

Вал генератора предназначен для передачи крутящего момента от рабочего колеса к ротору генератора.

Предварительно рассчитывается наружный диаметр вала:

$$D_B^* \geq \left(5,1 \cdot \frac{M_{кр}}{[\tau_{доп}]} \right)^{0,33} \quad (3.45)$$

Причем $[\tau_{доп}] = 30 - 35$ мПА, а крутящий момент определяется:

$$M_{кр} = 0,00974 \cdot \frac{N}{n_{синх}} = 0,00974 \cdot \frac{155925}{115,4} = 13,16 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (3.46)$$

$$D_B^* = \left(5,1 \cdot \frac{13,16}{[32,5]} \right)^{0,33} = 1,27 \text{ м}$$

Округляем полученное значение до 1,3 м.

Расчет подшипника

Направляющий подшипник турбины предназначен для восприятия радиальных нагрузок.

Радиальная сила на рабочем колесе:

$$R_{\text{рад}} = 0,8 \cdot \frac{N}{n_{\text{синх}} \cdot D_1} = 0,8 \cdot \frac{155925}{115,4 \cdot 6} = 180,2 \text{ кН}$$

(3.47)

Диаметр вала под подшипником $d_{\text{п}}$, с учетом облицовки, принимается на 15 – 20 мм больше $D_{\text{в}}$.

$$d_{\text{п}} = D_{\text{в}} + 0,02 = 1,52 \text{ м}$$

(3.48)

Для кольцевого подшипника удельное давление равно:

$$p_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{рад}}}{d_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}} \leq [p_{\text{уд}}]$$

(3.49)

$$p_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{рад}}}{d_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}} = \frac{180,2}{1,52 \cdot 0,5} = 237 \text{ кПа}$$

$h_{\text{п}}$ выбирается по таблице 3.9:

Таблица 3.9 – Данные для выбора $h_{\text{п}}$

$D_{\text{в}}$, мм	500 – 800	850 – 1100	1200 – 1600	1700 – 2200
$h_{\text{п}}$, мм	300	400	500	600
$Z_{\text{сегм}}$	8	8	10	12

где $[p_{\text{уд}}] = 29 \cdot U$, а $U = \pi \cdot n_{\text{синх}} \cdot \frac{d_{\text{п}}}{30} = 18,36$

$$[p_{\text{уд}}] = 29 \cdot 18,36 = 532,4 \text{ кПа}$$

$p_{\text{уд}} \leq [p_{\text{уд}}]$ условие выполняется.

Определяется усилие на наиболее нагруженный сегмент:

$$R_1 = \frac{R_{\text{рад}}}{1+2 \cdot \cos \alpha + 2 \cdot \cos 2\alpha} = \frac{180,16}{1+2 \cdot \cos 36 + 2 \cdot \cos 72} = 55,67 \text{ кН},$$

(3.50)

где α – центральный угол расположения сегментов, равный:

$$\alpha = \frac{360^0}{z_{\text{сегм}}} = \frac{360^0}{10} = 36^0$$

(3.51)

Рассчитывается удельная нагрузка на сегмент:

$$p_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{рад}}}{l_{\text{сегм}} \cdot h_{\text{п}}} \leq [p_{\text{уд}}]$$

(3.52)

$$p_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{рад}}}{l_{\text{сегм}} \cdot h_{\text{п}}} = \frac{180,16}{0,42 \cdot 0,5} = 867,7 \text{ кПа}$$

$$l_{\text{сегм}} = 0,87 \cdot \pi \cdot \frac{d_{\text{п}}}{z_{\text{сегм}}} = 0,87 \cdot 3,14 \cdot \frac{1,52}{10} = 0,42 \text{ м}$$

(3.53)

$$[p_{\text{уд}}] = 50 \cdot U = 50 \cdot 18,36 = 917,97 \text{ кПа}$$

$p_{\text{уд}} \leq [p_{\text{уд}}]$, условие выполняется.

В результате расчета возможно применение обоих подшипников. Принимается сегментный подшипник из-за того, что он более технологичный, менее трудоемкий при изготовлении и удобный в эксплуатации на ГЭС.

3.7 Выбор МНУ и ЭГР

Наиболее крупными элементами по габаритам системы регулирования гидротурбин является маслonaпорная установка (МНУ), размещение которой должно быть предусмотрено при проектировании строительной части здания ГЭС. Она обеспечивает подачу масла под давлением в систему регулирования турбин.

МНУ состоит из маслoвоздушного котла и сливного бака.

Маслonaпорная установка выбирается в учебнике Д.С. Щавелева [21, с. 143] по рисунку 10.8. Выбор производится исходя из H_{max} и D_1 .

В результате получается МНУ10/1-40-8-2.

Электрогидравлический регулятор (ЭГР) выбирается в учебнике Д.С. Щавелева [21, с. 103] по таблице 9.2.

В результате получается ЭГР-2И1-150-11.

4 Компоновка и сооружения гидроузла

4.1 Состав и компоновка сооружений гидроузла

Проектируемый гидроузел имеет энергетическое назначение. В состав входят бетонная водосливная плотина, глухая правобережная и левобережная плотины, здание ГЭС.

В створе сооружения располагаются в зависимости от топографических условий и свойств пород.

Процесс проектирования гидроузла включает выбор конструктивного решения гидротехнических сооружений в соответствии с гидравлическими, фильтрационными и статическими расчетами.

На начальном этапе проектирования определяется отметка гребня плотины, ширина водосбросного фронта, отметка порога водослива и напора на нем. На последующих этапах конструируется профиль водослива, проектируются устройства нижнего бьефа, конструируются элементы подземного контура, быки и устои.

4.1.1 Проектирование сооружений напорного фронта

Определение отметки гребня плотины

$$\nabla_{\text{ГБП}} = \nabla_{\text{НПУ}} + h_{1\%} + a = 170 + 2,34 + 0,8 = 173,14 \text{ м}, \quad (4.1)$$

$$\nabla_{\text{ГБП}} = \nabla_{\text{ФПУ}} + h_{1\%} + a = 172 + 0,85 + 0,8 = 173,65 \text{ м}, \quad (4.2)$$

$$\nabla_{\text{ГБП}} = \nabla_{\text{ГВ}} + 1,6 \cdot H_{\text{ст}} = 158 + 1,6 \cdot 12 = 177,2 \text{ м}, \quad (4.3)$$

где a – величина запаса, зависит от класса сооружения, для I класса – 0,8 м. Принимается отметка гребня водосливной плотины, равная 177,2 м

Для основного сочетания нагрузок и воздействий:

Определяем высоту волны 1% обеспеченности, для этого вычисляем безразмерные параметры $\frac{g \cdot t}{V_w}$, $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$ и, где t – период развития волн на водохранилище, $t = 6$ ч; L – длина разгона волны, при юго-восточном направлении ветра; V_w – расчетная скорость ветра обеспеченностью 2% для I класса сооружения.

$$\frac{g \cdot L}{V_w^2} = \frac{9,81 \cdot 1225}{27^2} = 16,5 \quad (4.4)$$

$$\frac{g \cdot t}{V_w} = \frac{9,81 \cdot 21600}{27} = 7848,0 \quad (4.5)$$

Из графика [Приложение Ж] по верхней огибающей кривой (для глубиной воды), используя значения $\frac{g \cdot t}{V_w}$, $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$, определяем параметры $\frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2}$ и $\frac{g \cdot \bar{T}}{V_w}$.

$$\text{При } \frac{g \cdot L}{V_w^2} = 16,5 \quad \frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2} = 0,015 \text{ и } \frac{g \cdot \bar{T}}{V_w} = 1,4$$

$$\text{При } \frac{g \cdot t}{V_w} = 7848,0 \quad \frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2} = 0,09 \text{ и } \frac{g \cdot \bar{T}}{V_w} = 4,4$$

Используя меньшие из полученных значений $\frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2}$ и $\frac{g \cdot \bar{T}}{V_w}$, вычисляем период волны \bar{T} и среднюю высоту волны \bar{h} :

$$\bar{h} = \frac{0,015 \cdot v^2}{g} = \frac{0,015 \cdot 27^2}{9,81} = 1,11 \text{ м}, \quad (4.6)$$

$$\bar{T} = \frac{1,4 \cdot v}{g} = \frac{1,4 \cdot 27}{9,81} = 3,85 \text{ с}, \quad (4.7)$$

Рассчитаем среднюю длину волны:

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2 \cdot \pi} = \frac{9,81 \cdot 3,85^2}{2 \cdot 3,14} = 23,19 \text{ м} \quad (4.8)$$

Проверим условие для глубоководной зоны водохранилища:

$$d > 0,5 \cdot \bar{\lambda}_d,$$

$$\text{где } d = \frac{\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дно}}}{2} = \frac{170 - 95}{2} = 37,5 \text{ м}$$

$37,5 \text{ м} > 0,5 \cdot 23,19 = 11,6 \text{ м}$, условие выполнено.

Определим высоту волны 1 % обеспеченности:

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot K_i = 1,11 \cdot 2,1 = 2,34 \text{ м.} \quad (4.9)$$

где $K_i = 2,1$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от значения $\frac{g \cdot L}{V_w^2} = 16,5$.

Для особого сочетания нагрузок и воздействий:

Вычисляем безразмерные параметры $\frac{g \cdot d}{V_w}$, $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$ по формулам (4.4), (4.5), где t – период развития волн на водохранилище, $t = 6$ ч; L – длина разгона волны, при юго-восточном направлении ветра; V_w – расчетная скорость ветра обеспеченностью 20% для I класса сооружения.

$$\frac{g \cdot L}{V_w^2} = \frac{9,81 \cdot 968}{21^2} = 21,5$$

$$\frac{g \cdot t}{V_w} = \frac{9,81 \cdot 21600}{21} = 10090,3$$

По графику [Приложение Ж], по верхней огибающей кривой (для глубины воды), используя значения $\frac{g \cdot t}{V_w}$, $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$, определяем параметры $\frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2}$ и $\frac{g \cdot \bar{T}}{V_w}$.

$$\text{При } \frac{g \cdot L}{V_w^2} = 21,5 \quad \frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2} = 0,009 \text{ и } \frac{g \cdot \bar{T}}{V_w} = 1,05$$

$$\text{При } \frac{g \cdot t}{V_w} = 10090,3 \quad \frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2} = 0,1 \text{ и } \frac{g \cdot \bar{T}}{V_w} = 4,3$$

Используя меньшие из полученных значений $\frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2}$ и $\frac{g \cdot \bar{T}}{V_w}$, вычисляем период волны \bar{T} и среднюю высоту волны \bar{h} по формулам (4.6), (4.7):

$$\bar{h} = \frac{0,009 \cdot v^2}{g} = \frac{0,009 \cdot 21^2}{9,81} = 0,4 \text{ м,}$$

$$\bar{T} = \frac{1,05 \cdot v}{g} = \frac{1,05 \cdot 21}{9,81} = 2,25 \text{ с,}$$

Рассчитаем среднюю длину волны по формуле (4.8):

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2 \cdot \pi} = \frac{9,81 \cdot 2,25^2}{2 \cdot 3,14} = 7,89 \text{ м}$$

Проверим условие для глубоководной зоны водохранилища:

$$d > 0,5 \cdot \bar{\lambda}_d,$$

где $d = \frac{\nabla_{\text{ФПУ}} - \nabla_{\text{дно}}}{2} = \frac{172 - 95}{2} = 38,5 \text{ м}$

$38,5 \text{ м} > 0,5 \cdot 7,89 = 3,95 \text{ м}$, условие выполнено.

Определим высоту волны 1 % обеспеченности по формуле (4.9):

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot K_i = 0,4 \cdot 2,1 = 0,85 \text{ м}.$$

где $K_i = 2,1$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от значения $\frac{g \cdot L}{V_w^2} = 21,5$

4.2 Гидравлические расчеты

4.2.1 Определение ширины водосливного фронта

Примерная высота плотины:

$$h_{\text{пл}} = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дно}} = 170 - 95 = 75 \text{ м} \quad (4.10)$$

Класс сооружения зависит от высоты плотины, грунтов основания, социально – экономической ответственности и условий эксплуатации.

Исходя из высоты плотины, равной 75 м, установленной мощности плотины 625 МВт и объема водохранилища 19 км³, принимается I класс плотины [4].

Ежегодная вероятность превышения максимального расхода для основного расчетного случая для сооружения I класса составляет $P = 0,1 \%$. [4]

Максимальный расход с обеспеченностью $P = 0,1 \%$, полученный гидрологическими расчетами, составляет 4132 м³/с. [Приложение Е]

Расчетный расход через водосливную плотину:

$$Q_p = Q_{\text{max,расч}}^{P=0,1\%} - Q_{\text{ГЭС}} \quad (4.11)$$

При количестве агрегатов $n_{\text{га}} = 4$, расход через гидроагрегаты, участвующие в пропуске расходов:

$$Q_{\text{ГЭС}} = (n_{\text{га}} - 1) \cdot Q_{\text{га}} = (4 - 1) \cdot 308 = 924 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.12)$$

$$Q_p = 4132 - 924 = 3208 \text{ м}^3/\text{с}$$

Ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{Q_p}{q_B} \quad (4.13)$$

Отметка уровня нижнего бьефа при расходе основного расчетного случая (4132 м³/с), равна $\nabla \text{УНБ} = 107,3 \text{ м}$.

Глубина воды в нижнем бьефе:

$$h_{\text{нб}} = \nabla \text{УНБ} - \nabla_{\text{дно}} = 107,3 - 95 = 12,3 \text{ м} \quad (4.14)$$

Удельный расход на рисберме:

$$q_p = V_h \cdot h_{\text{нб}} = 6 \cdot 12,3 = 73,8 \text{ м}^2/\text{с}, \quad (4.15)$$

где $V_h = 6 \text{ м/с}$ – допустимая скорость на скальном основании.

Удельный расход на водосливе:

$$q_b = 1,25 \cdot q_p = 1,25 \cdot 73,8 = 92,3 \text{ м}^2/\text{с} \quad (4.16)$$

Ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{Q_p}{q_B} = \frac{3208}{92,3} = 34,8 \text{ м}$$

Ширина водосливного фронта должна быть целым числом, округляем до 35 м.

$$B = b \cdot n, \quad (4.17)$$

где n – количество пролетов;

b – стандартная ширина пролета, принимаемая в соответствии с техническим регламентом; $b = 10 \text{ м}$.

Тогда количество водосливных пролетов будет равно:

$$n = \frac{B}{b} = \frac{35}{10} = 3,5 \approx 4 \text{ пролета}$$

(4.18)

Ширина водосливного фронта:

$$B = 10 \cdot 4 = 40 \text{ м.}$$

4.2.2 Определение отметки гребня водослива

Полный напор на гребне водослива определяется по формуле водослива методом приближения: H_{01} – без учета сжатия и потопления, H_{02} – с учетом сжатия и подтопления.

Проектируется криволинейный безвакуумный водослив типа А, $m = 0,49$.

$$H_{01} = \left(\frac{Q_p}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{3208}{0,49 \cdot 40 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 11,09 \text{ м}$$

(4.19)

$$H_{02} = \left(\frac{Q_p}{m \cdot B \cdot \varepsilon \cdot \sigma_{\Pi} \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{3208}{0,49 \cdot 40 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 11,5 \text{ м,}$$

где $\sigma_{\Pi} = 1,0$ для неподтопленного водослива;
 ε – коэффициент бокового сжатия:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{\xi \cdot (n - 1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b} = 1 - 0,2 \cdot \frac{0,7 \cdot (4 - 1) \cdot 0,45}{4} \cdot \frac{11,09}{10} = 0,95,$$

(4.20)

где ξ – коэффициент формы боковых устоев, для устоя с круглым ребром $\xi = 0,7$;

ξ_0 – коэффициент формы быка, для быка с круглой формой $\xi_0 = 0,45$.

Определяется геометрический напор на водосливе. При выполнении условия $\omega > 4BH$ геометрический напор принимается равным полному напору.

Площадь живого сечения для прямоугольного русла:

$$\omega = (\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дно}}) \cdot [B + (n - 1) \cdot \delta_6] = (170 - 95) \cdot [40 + (4 - 1) \cdot 3,5] = 3788 \text{ м}^2$$

(4.21)

Толщина разрезного быка согласно рекомендации А.Р. Березинского:

$$\delta_6 = 0,25 \cdot b + 1 = 0,25 \cdot 10 + 1 = 3,5 \text{ м} \quad (4.22)$$

$$4BH_{02} = 4 \cdot [40 + (4 - 1) \cdot 3,5] \cdot 11,5 = 2323 \text{ м}^2 \quad (4.23)$$

$\omega > 4BH$ условие выполняется, следовательно, $H = H_{02} = 11,5 \text{ м}$.

$H = H_0 = H_{ст} = 12 \text{ м}$, где $H_{ст}$ – стандартный напор, ближайший к напору в соответствии с техническим регламентом.

Отметка гребня водослива:

$$\nabla_{ГВ} = \nabla_{НПУ} - H_{ст} = 170 - 12 = 158 \text{ м} \quad (4.24)$$

4.2.3 Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае

Максимальный расход для поверочного расчетного случая обеспеченностью $P = 0,01 \%$ определен по результатам гидрологических расчетов [Приложение Е].

Расход через водослив при поверочном расчетном случае:

$$Q_{пов.} = Q_{пов.маx} - Q_{га} \cdot (n_{га} - 1) = 4640 - 308 \cdot (4 - 1) = 3716 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.25)$$

Напор на водосливе для поверочного расчетного случая определяется методом приближений.

Полный напор без учета сжатия и подтопления:

$$H_{01 \text{ пов}} = \left(\frac{Q_{пов.}}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{3716}{0,49 \cdot 40 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 12,24 \text{ м} \quad (4.26)$$

Полный напор с учетом сжатия и подтопления:

$$H_{02 \text{ пов}} = \left(\frac{Q_{пов.}}{m \cdot B \cdot \varepsilon \cdot \sigma_{п} \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{3716}{0,49 \cdot 40 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 12,68 \text{ м} \quad (4.27)$$

Коэффициент бокового сжатия:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{\xi \cdot (n - 1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01 \text{ пов}}}{b} = 1 - 0,2 \cdot \frac{0,7 \cdot (4 - 1) \cdot 0,45}{4} \cdot \frac{12,24}{10} = 0,94$$

(4.28)

Проверятся условие $\omega > 4BH_{02 \text{ пов}}$

Площадь живого сечения для прямоугольного русла:

$$\omega = (\nabla \text{ФПУ} - \nabla \text{дно}) \cdot [B + (n - 1) \cdot \delta_0] = (172 - 95) \cdot [40 + (4 - 1) \cdot 3,5] = 3889 \text{ м}^2$$

(4.29)

$$4BH_{02} = 4 \cdot [40 + (4 - 1) \cdot 3,5] \cdot 12,68 = 2562 \text{ м}^2$$

$\omega > 4BH$ условие выполняется, следовательно, $H_{\text{пов}} = H_{02 \text{ пов}} = 12,68 \text{ м}$.

Определяем расчетную отметку ФПУ:

$$\nabla \text{ФПУ} = \nabla \text{ГВ} + H_{\text{пов}} = 158 + 12,68 = 170,68 \text{ м}$$

(4.30)

Расчетная отметка ФПУ меньше заданной, поэтому заданная отметка ФПУ = 172 м остается неизменной.

4.2.4 Построение профиля водосливной плотины

Оголовок безвакуумного водослива практического профиля

По таблице [13] рассчитываем координаты для построения оголовка безвакуумного водослива практического профиля типа А, который изображен на рисунке 4.1. Табличные координаты каждой точки умножаются на $H_{\text{ст}} = 12 \text{ м}$ (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Координаты оголовка плотины.

Точка	x, м	(x·H _{ст}), м	y, м	(y·H _{ст}), м
1	0.0	0.0	0.126	1.512
2	0.1	1.2	0.036	0.432
3	0.2	2.4	0.0070	0.1
4	0.3	3.6	0.0000	0.0
5	0.4	4.8	0.006	0.072
6	0.5	6.0	0.027	0.324

7	0.6	7.2	0.06	0.72
8	0.7	8.4	0.1	1.2
9	0.8	9.6	0.146	1.752
10	0.9	10.8	0.198	2.376
11	1	12.0	0.256	3.072
12	1.1	13.2	0.321	3.852
13	1.2	14.4	0.394	4.728
14	1.3	15.6	0.475	5.7
15	1.4	16.8	0.564	6.768
16	1.5	18.0	0.661	7.932
17	1.6	19.2	0.764	9.168
18	1.7	20.4	0.873	10.476
19	1.8	21.6	0.987	11.844
20	1.9	22.8	1.108	13.296
21	2.0	24.0	1.235	14.82
22	2.1	25.2	1.369	16.428
23	2.2	26.4	1.508	18.096
24	2.3	27.6	1.653	19.836
25	2.4	28.8	1.813	21.756
26	2.5	30.0	1.96	23.52
27	2.6	31.2	2.122	25.464
28	2.7	32.4	2.289	27.468
29	2.8	33.6	2.462	29.544
30	2.9	34.8	2.64	31.68
31	3	36.0	2.824	33.888
32	3.1	37.2	3.013	36.156
33	3.2	38.4	3.207	38.484
34	3.3	39.6	3.405	40.86
35	3.4	40.8	3.609	43.308
36	3.5	42.0	3.818	45.816
37	3.6	43.2	4.031	48.372

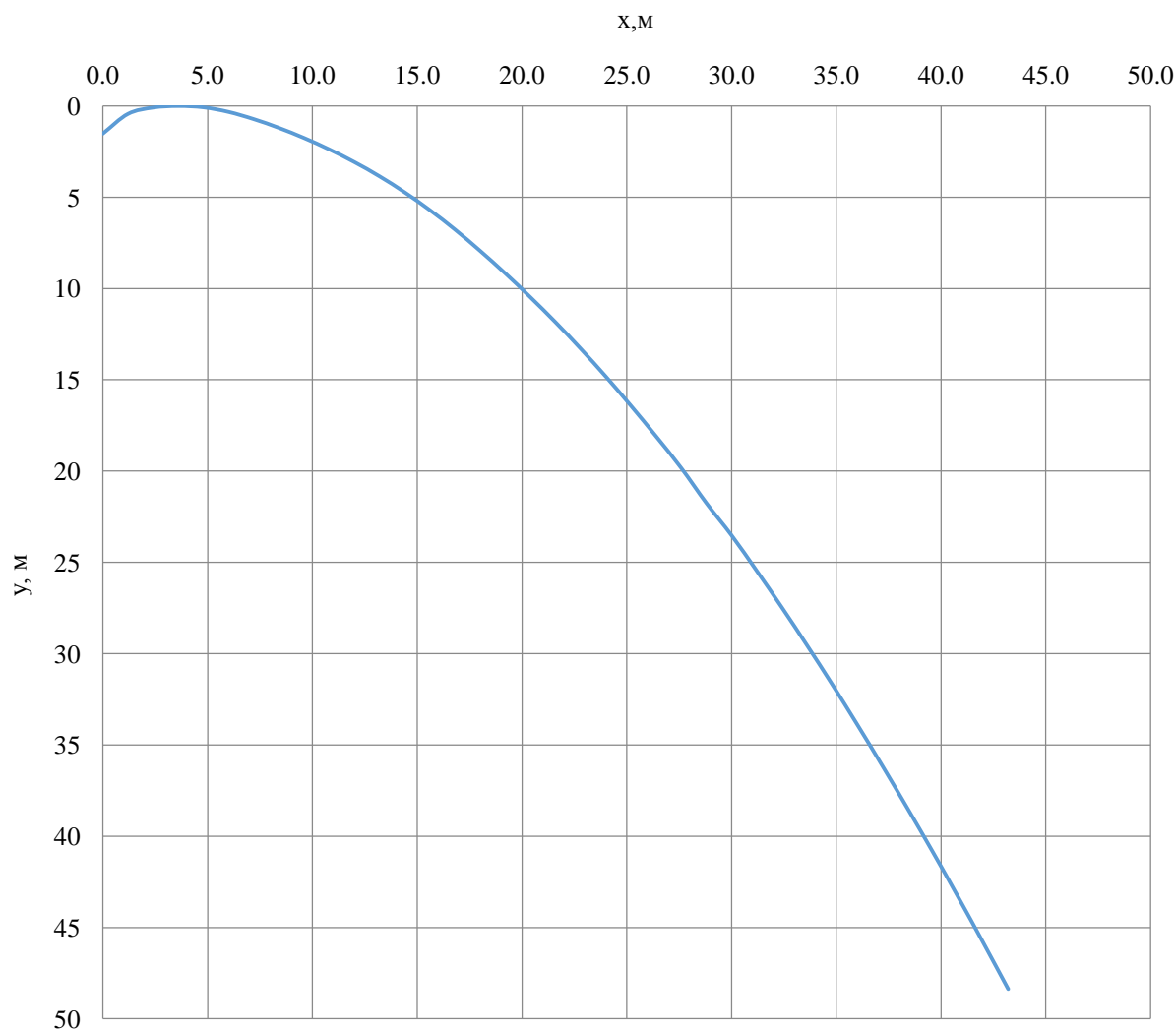


Рисунок 4.1 – Оголовок безвакуумного водослива практического профиля типа А, при $H_{ст} = 12$ м.

Сопряжение водосливной грани с водобоем очерчивается по дуге с радиусом, который назначается в зависимости от напора на водосливе (H) и высоты плотины со стороны нижнего бьефа (P_n).

Для плотины высотой более 60 м, радиус равен:

$$R = (0,2 \div 0,5) \cdot (H + C_n) = 0,2 \cdot (12 + 63) = 15 \text{ м}, \quad (4.31)$$

где $C_n = \nabla_{ГВ} - \nabla_{дно} = 158 - 95 = 63$ м.

4.2.5 Расчет сопряжения бьефов

Определяем полную удельную энергию воды перед сооружением:

$$E_0 = C_n + H_0 = (\nabla_{ГВ} - \nabla_{дно}) + H_{ст} = (158 - 95) + 12 = 75 \text{ м} \quad (4.32)$$

$$H_0 = H_{ст} = 12 \text{ м}$$

Определяем критическую глубину:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q_p^2}{B^2 \cdot g}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 3208^2}{[40 + (4-1) \cdot 3,5]^2 \cdot 9,81}} = 7,68 \text{ м}$$

(4.33)

Относительная полная удельная энергия:

$$\xi_0 = \frac{E_0}{h_{кр}} = \frac{75}{7,68} = 9,77$$

(4.34)

При высоте плотины, равной 75 м, коэффициент скорости, который учитывает потери напора до сжатого сечения φ , равен 0,9. [13]. По графику М.Д. Чертоусова по значениям $\xi_0 = 9,77$ и $\varphi = 0,9$ определяются относительные глубины:

$$\xi_c = 0,255; \xi_c'' = 2,65$$

Глубина в сжатом сечении:

$$h_c' = \xi_c \cdot h_{кр} = 0,255 \cdot 7,68 = 1,96 \text{ м}$$

(4.35)

Вторая сопряженная глубина:

$$h_c'' = \xi_c'' \cdot h_{кр} = 2,65 \cdot 7,68 = 20,34 \text{ м}$$

(4.36)

Так как $h_c'' > h_{нб}$, то прыжок отогнанный, необходимо устройство гасителей.

4.2.6 Гашение энергии способом свободно отброшенной струи

На водосбросных плотинах на скальном основании высотой более 40 м чаще всего используют гашение энергии способом свободно отброшенной струи. В данном случае экономически целесообразно будет использовать этот метод гашения энергии, исходя из коэффициента створности, который должен быть более 3: $\frac{L}{H} = 6,5$, где L – длина плотины на отметке её гребня; H – высота плотины.

Отметка уступа:

$$\nabla_{\text{уступа}} = \nabla_{\text{УНБ}_{Q_{\text{пов.мах}}}} + 1,0 = 108,6 + 1,0 = 109,6 \text{ м},$$

(4.37)

где $\nabla_{\text{УНБ}_{Q_{\text{пов.мах}}}}$ соответствует расходу при поверочном расчетном случае, который определяется по кривой связи, $\nabla_{\text{УНБ}_{Q_{\text{пов}}}} = 108,6 \text{ м}$.

Высота уступа:

$$a = \nabla_{\text{уступа}} - \nabla_{\text{дно}} = 109,6 - 95 = 14,6 \text{ м}$$

(4.38)

Превышение НПУ над отметкой носка-трамплина с учетом скоростного напора:

$$Z_1 = E_0 - a = (\nabla_{\text{ГВ}} - \nabla_{\text{дно}} + H_{\text{ст}}) - a = 75 - 14,6 = 60,4 \text{ м}$$

(4.39)

Превышение НПУ над отметкой УНБ с учетом скоростного напора:

$$Z_0 = E_0 - h_{\text{нб}} = 75 - 12,3 = 62,7 \text{ м}$$

(4.40)

Число Фруда:

$$Fr = \frac{v_{\text{н}}^2}{g \cdot h_{\text{н}}} = \frac{34,4^2}{9,81 \cdot 1,85} = 65,46,$$

(4.41)

где $v_{\text{н}}$ – скорость потока на носке.

$$v_{\text{н}} = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Z_1} = 1,0 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 60,4} = 34,4 \text{ м/с},$$

(4.42)

где φ – коэффициент скорости; для истечения в атмосферу при свободном полете струи $\varphi = 1,0$.

Высота потока воды на носке:

$$h_{\text{н}} = \frac{q}{v_{\text{н}}} = \frac{63,52}{34,4} = 1,85 \text{ м}$$

(4.43)

Удельный расход на водосливе:

$$q = \frac{Q_p}{B+(n-1) \cdot \delta_6} = \frac{3208}{40+(4-1) \cdot 3,5} = 63,52 \text{ м}^2/\text{с}$$

(4.44)

При числе Фруда $Fr > 35$, коэффициент аэрации потока $k_a = 0,8$.
 Дальность отлета струи от плотины до входа в НБ определяется по формуле:

$$L = k_a \cdot Z_1 \cdot \varphi^2 \cdot \sin 2\alpha \left(\sqrt{1 + \left(\frac{Z_0}{Z_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\varphi^2 \cdot \sin^2 \alpha} + 1} \right) =$$

$$= 0,8 \cdot 60,4 \cdot 1,0^2 \cdot \sin 2 \cdot 30 \left(\sqrt{1 + \left(\frac{62,7}{60,4} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,0^2 \cdot \sin^2 30} + 1} \right) = 100,2 \text{ м,}$$

где $\alpha = 30^0$ – угол схода струи с трамплина.

Безопасное расстояние отлета струи для плотины на основании из прочной скалы составляет $L > 0,4 \cdot Z_0$.

$$100,2 > 0,4 \cdot 62,7 = 25,08 \text{ м}$$

Глубину ямы размыва определяем по формуле:

$$h_{\text{раз}} = t - h_{\text{нб}}$$

(4.45)

Превышение отметки НБ над отметкой дна ямы размыва:

$$t = (0,1 + 0,45 \cdot \sqrt[4]{Fr}) \cdot \sqrt{Fr} \cdot \sqrt[4]{\frac{h_{\text{нб}}}{d}} \cdot h_{\text{н}} =$$

$$= (0,1 + 0,45 \cdot \sqrt[4]{65,46}) \cdot \sqrt{65,46} \cdot \sqrt[4]{\frac{12,3}{1}} \cdot 1,85 = 38,59 \text{ м,}$$

(4.46)

где d – средняя крупность отдельностей в скале, принимается равной 1 м.

$$h_{\text{раз}} = t - h_{\text{нб}} = 38,59 - 12,3 = 26,29 \text{ м}$$

Расстояние от плотины до центра ямы размыва:

$$L_1 = L + \frac{t}{\text{tg} \alpha_1} = 100,2 + \frac{38,59}{0,63} = 161,06 \text{ м}$$

(4.47)

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2 \cdot g \cdot (0,5h_H \cdot \cos \alpha + a - h_{\text{нб}})}{v_H^2 \cdot \cos^2 \alpha}} = \\ &= \sqrt{\operatorname{tg}^2 30 + \frac{2 \cdot 9,81 \cdot (0,5 \cdot 1,85 \cdot \cos 30 + 14,6 - 12,3)}{34,4^2 \cdot \cos^2 30}} = 0,63, \end{aligned}$$

(4.48)

где α_1 – угол входа струи в воду.

Длина горизонтального участка ямы размыва вдоль течения на уровне размывого русла равна:

$$b_p = 2,5 \cdot h_{\text{кр}} + 3,7 \cdot h_{\text{раз}} = 2,5 \cdot 7,68 + 3,7 \cdot 26,29 = 116,45 \text{ м}$$

(4.49)

Длина горизонтального участка по дну ямы размыва равна:

$$b_{\text{я}} = 2,5 \cdot h_{\text{кр}} = 2,5 \cdot 7,68 = 19,2 \text{ м}$$

(4.50)

4.3 Конструирование плотины

4.3.1 Определение ширины подошвы плотины

Гравитационные бетонные плотины на скальном основании конструируют, как правило, с вертикальной напорной гранью и без фундаментной плиты, т.к. несущая способность скального основания достаточно высокая. По этим причинам оптимальный теоретический профиль такой плотины - прямоугольный треугольник с вершиной на отметке НПУ. Заложение низовой грани на первом этапе можно принять равным $0,67 \div 0,7$.

Ширина плотины определяется из соотношения $\frac{B_{\text{пл}}}{h} = 0,7$.

Ширина подошвы плотины:

$$B = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 77 = 54 \text{ м}$$

(4.51)

где $h = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 170 - 93 = 77 \text{ м}$

$$\nabla_{\text{под}} = \nabla_{\text{дна}} - a = 95 - 2 = 93 \text{ м.}$$

(4.52)

где a – полезная выемка, равная 2 – 3 м.

Принимаем ширину подошвы равную $B = 54 \text{ м}$.

4.3.2 Разрезка плотины швами

Швы устраивают для обеспечения монолитности бетона плотины при неравномерной осадке и неравномерном распределении температуры по сечению блоков плотины. Предусматривается разрезка плотины межсекционными и межстолбчатыми швами. Межсекционные швы устраиваются по середине быка.

Ширина секции составляет:

$$b + \delta_{\sigma} = 10 + 3,5 = 13,5 \text{ м.} \quad (4.53)$$

Ширина столба:

$$B : 3 = 54 : 3 = 18 \text{ м} \quad (4.54)$$

Столбчатая разрезка имеет следующие преимущества:

- высокие темпы бетонирования;
- большая эффективность охлаждения бетонного массива;
- возможность временного эксплуатации сооружения в условиях строительства, что снизит сроки его окупаемости.

Межсекционные и межстолбчатые швы для обеспечения монолитного состояния плотины цементируются.

4.3.3 Быки

Быки разбивают весь водосливной фронт на отдельные отверстия. Они служат опорами для плоских затворов, перекрывающих отверстия плотины и на них располагаются стационарные подъемные механизмы затворов. Быки выполняем разрезными. Ширина быков принимается равной 3,5 м. С верховой грани бык имеет округленную форму.

Затвор представляет собой металлическую несущую конструкцию, покрытую с верховой стороны водонепроницаемой обшивкой, выполненной из листов стали. Несущая конструкция представляет собой балочную клетку, состоящую из ригелей и стоек.

4.3.4 Устои

Устои плотин предназначены для защиты примыкающих к водосливной части сооружений и берегов от размыва водой; для обеспечения плавного

сооружения схода воды с водосливной грани в нижний бьеф; также служат опорами для затворов.

Раздельные устои отделяют водосливную от глухой плотины или здания ГЭС. Раздельные устои состоят из трех основных элементов: продольной подпорной стенки, играющие роль берегового быка и низовой сопрягающей стенки.

4.3.5 Дренаж тела бетонных плотин

Вдоль напорной грани устраивается дренаж в виде вертикальных скважин (дрен), имеющих выход в дренажную галерею, для спуска собранной воды.

Диаметр вертикальных дренажных скважин 20 см, расстояние между осями дрен 2 м.

Расстояние от напорной грани плотины до оси дренажа, а также до верховой грани продольной галереи не менее 2 м.

4.3.6 Галереи в теле плотины

В теле плотины необходимо предусматривать галереи. При проектировании приняли 2 смотровых галереи на отметках $\nabla 120,0$ м; $\nabla 145,0$ м, а так же цементационную и дренажную галереи на отметке $\nabla 95,0$ м;

Расстояние от напорной грани плотины до верховой грани продольных галерей определяется по формуле:

$$\delta \geq \frac{H_d \cdot \gamma_n}{J_{cr}}, \quad (4.55)$$

где J_{cr} , - критический градиент (для массивных гравитационных плотин принимаем 25);

H_d - максимальный напор над полом галереи.

$$\text{Галерея на } \nabla 120,0 \text{ м} = \frac{(172-120,0) \cdot 1,25}{25} = 2,6 \text{ м.}$$

$$\text{Галерея на } \nabla 145,0 \text{ м} = \frac{(172-145,0) \cdot 1,25}{25} = 1,35 \text{ м, принимаем } 2 \text{ м.}$$

4.4 Назначение размеров основных элементов плотины

4.4.1 Конструирование элементов подземного контура плотины

Бетонные плотины на скальном основании включают в себя основные элементы подземного контура: дренажи, противофильтрационные завесы и понуры. Понуры используются редко.

4.4.2 Цементационная завеса

Толщина противофильтрационной завесы определяется:

$$\delta_3 = \frac{\Delta H_3 \cdot \gamma_n}{J_{cr,m}} \quad (4.56)$$

где ΔH_3 - потери напора на завесе;

γ_n - коэффициент надежности по ответственности сооружения [4];

$J_{cr,m}$ - критический градиент напора на завесе следует принимать в зависимости от вида грунтов основания [6]: в скальных грунтах - 15.

$$\Delta H_3 = H_d - 0,4 \cdot H_d = 0,6 \cdot 74,21 = 44,53 \text{ м}, \quad (4.57)$$

$$H_d = \nabla \text{НПУ} - \nabla \text{УНБ}_{\min} = 170 - 95,79 = 74,21 \text{ м}, \quad (4.58)$$

где $\text{НБ}_{\min} = 95,79 \text{ м}$ – минимальный уровень нижнего бьефа при санитарном попуске расхода, $Q_{\text{сан}} = 226 \text{ м}^3/\text{с}$.

$$\delta_3 > \frac{44,53 \cdot 1,25}{15} = 3,71 \text{ м}$$

Расстояние от напорной грани до оси цементационной завесы:

$$l_3 = (0,1 \div 0,25) \cdot B = 0,1 \cdot 54 = 5,4 \text{ м} \quad (4.59)$$

где B – ширина подошвы плотины.

Глубина цементационной завесы:

$$h_3 = 0,5 \cdot H_d = 0,5 \cdot 74,21 = 37,1 \text{ м} \quad (4.60)$$

Цементационную завесу принимаем двурядной. Шаг скважин в ряду составляет 3 м.

4.4.3 Дренажные устройства в основании

В скальных грунтах дренаж выполняют в виде вертикальных скважин диаметром 300 мм с шагом 3 м.

Расстояние от оси цементационной завесы до оси дренажа:

$$l = 2 \cdot l_1 = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}, \quad (4.61)$$

где l_1 - шаг скважин цементационной завесы в ряду, принимается 3 м.

Глубина скважин равна:

$$h_{др} = 0,5 \cdot h_3 = 0,5 \cdot 37,1 = 18,6 \text{ м} \quad (4.62)$$

4.5 Определение основных нагрузок на плотину

4.5.1 Вес сооружений и затворов

Вес 1 п.м. водосливной части плотины определяется по формуле:

$$G_{пл} = \frac{S_{пл} \cdot b \cdot g \cdot \rho_б}{b + \delta_б} = \frac{2264 \cdot 10 \cdot 9,81 \cdot 2,4}{10 + 3,5} = 39484,2 \text{ кН}, \quad (4.63)$$

где $S_{пл}$ – площадь поперечного сечения, $b = 10$ м – ширина пролета, $\delta_б = 3,5$ м – толщина быка, $\rho_б = 2,4$ – плотность бетона.

Площадь поперечного сооружения и плечо равнодействующей силы относительно центра контактного сечения определяется с помощью программы AutoCAD. Схема представлена на рисунке 4.2.

$S_{пл} = 2264 \text{ м}^2$, плечо относительно центра контактного сечения: $y = 9$ м

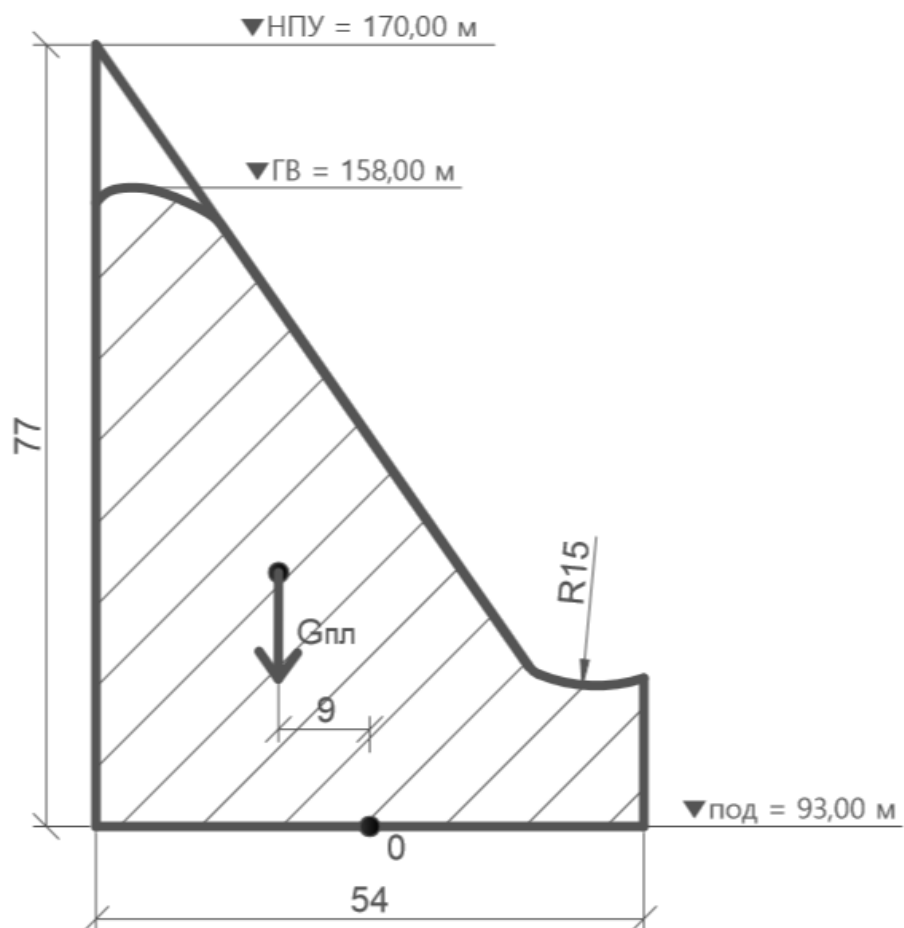


Рисунок 4.2 – Схема к расчету собственного веса плотины и его плеча относительно центра контактного сечения.

Вес быка и его центр тяжести определяется аналогично:

$$G_{\delta} = \frac{S_{\delta} \cdot \delta_{\delta} \cdot g \cdot \rho_{\delta}}{b + \delta_{\delta}} = \frac{2845 \cdot 3,5 \cdot 9,81 \cdot 2,4}{10 + 3,5} = 17365,9 \text{ кН};$$

(4.64)

$S_{\delta} = 2845 \text{ м}^2$, плечо относительно контактного сечения: $y = 17,64 \text{ м}$.

Схема представлена на рисунке 4.2.

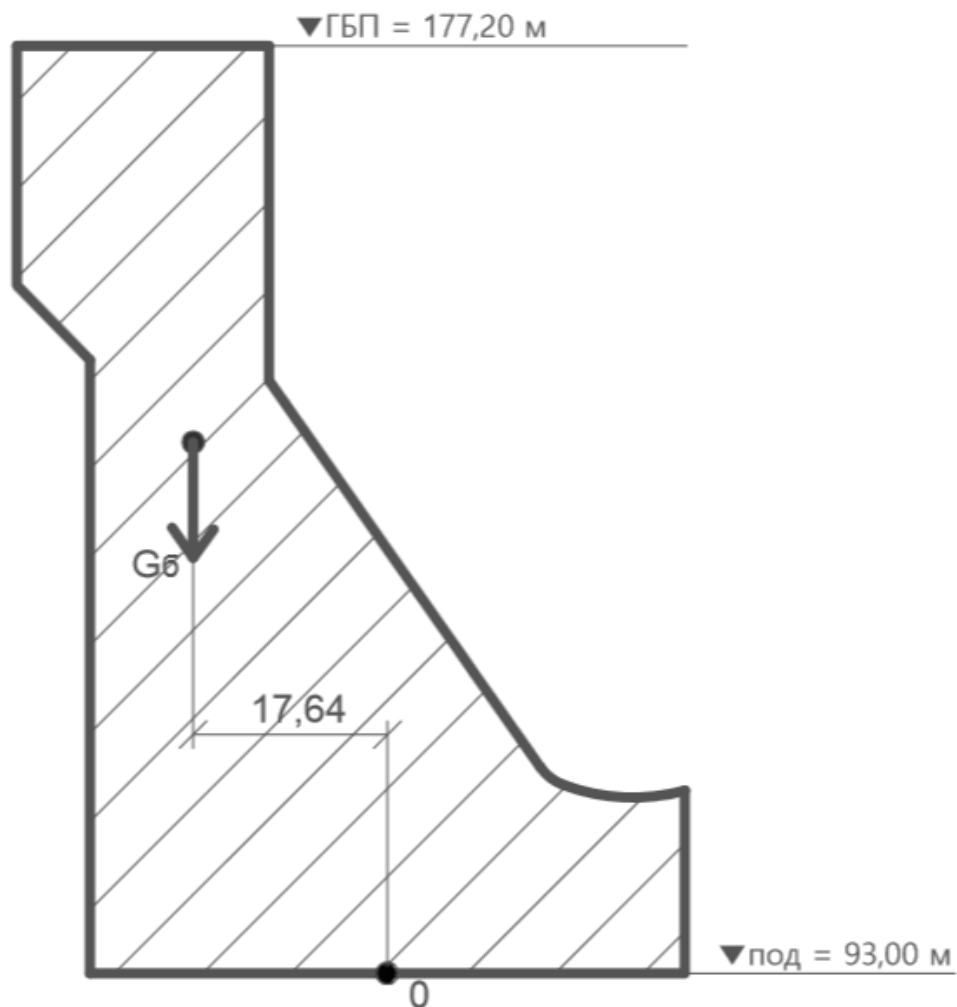


Рисунок 4.3 – Схема к расчету веса быка и его плеча относительно центра контактного сечения.

Вес плоского затвора можно определить по формуле А.Р. Березинского [13].

$$Q_3 = 0,055 \cdot f \cdot \sqrt{f} \cdot g = 0,055 \cdot 145 \cdot \sqrt{145} \cdot 9,81 = 924,1 \text{ кН}, \quad (4.65)$$

где f – площадь затвора.

$$f = (\Phi_{\text{ПУ}} - \Gamma_{\text{В}} + 0,5) \cdot b = (172 - 158 + 0,5) \cdot 10 = 145 \text{ м}^2. \quad (4.66)$$

Плечо относительно контактного сечения: $y = 19 \text{ м}$.

Вес плоского затвора на один погонный метр:

$$q_3 = \frac{Q_3}{b + \delta_6} = \frac{924,1}{10 + 3,5} = 69,8 \text{ кН}. \quad (4.67)$$

4.5.2 Сила гидростатического давления

Силу гидростатического давления определяем по формулам гидравлики. Эпюра гидростатического давления имеет форму равнобедренного прямоугольного треугольника.

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды:
- с верхнего бьефа:

Для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$T_B = \frac{\rho_w g h_1^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 77^2}{2} = 29081,8 \text{ кН},$$

(4.68)

где $h_1 = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 170 - 93 = 77 \text{ м}.$

Плечо относительно центра контактного сечения: $H / 3 = 77/3 = 25,7 \text{ м}.$

Для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$T'_B = \frac{\rho_w g h_1'^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 79^2}{2} = 30612,1 \text{ кН},$$

(4.69)

где $h_1' = \nabla_{\text{ФПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 172 - 93 = 79 \text{ м}.$

Плечо относительно центра контактного сечения: $H/3 = 79/3 = 26,3 \text{ м}.$

- с нижнего бьефа:

Для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$T_H = \frac{\rho_w g h_2^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 2,79^2}{2} = 38,2 \text{ кН},$$

(4.70)

где $h_2 = \nabla_{\text{УНБ}_{\text{min}}} - \nabla_{\text{под}} = 95,79 - 93 = 2,79 \text{ м}.$

Плечо относительно центра контактного сечения: $h_2/3 = 0,93 \text{ м}.$

Для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$T'_H = \frac{\rho_w g h_2'^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 15,6^2}{2} = 1196,7 \text{ кН},$$

(4.71)

где $h_2' = \nabla_{\text{УНБ}_{\text{max}}} - \nabla_{\text{под}} = 108,6 - 93 = 15,6 \text{ м}.$

Плечо относительно контактного сечения: $h'_2 / 3 = 5,2$ м.

4.5.3 Равнодействующая сила взвешивающего давления

Сила взвешивающего давления равна площади эпюры взвешивающего давления для данного расчетного случая. Эпюра представлена на рисунке 4.4. Для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$(4.72) \quad W_{\text{взв}} = \rho_w g S_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 54 \cdot 2,79 = 1477,9 \text{ кН.}$$

Для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$(4.73) \quad W'_{\text{взв}} = \rho_w g S'_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 54 \cdot 15,6 = 8274,5 \text{ кН}$$

4.5.4 Сила фильтрационного давления

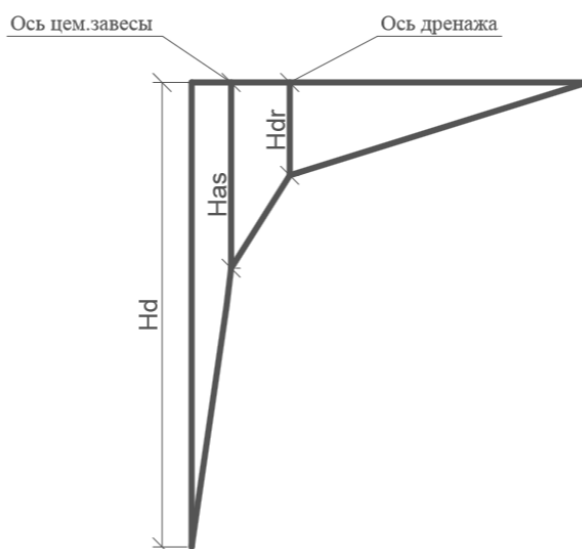


Рисунок 4.4 – Эпюра фильтрационного давления для основного и особого сочетания нагрузок и воздействий.

Напоры на завесе $H_{\text{ас}}$ и дренаже $H_{\text{др}}$ для основного и особого сочетания нагрузок и воздействий равны [4]:

$$(4.74) \quad H_{\text{ас}} = 0,4H_{\text{д}},$$

$$H_{dr} = 0,2H_d, \quad (4.75)$$

где $H_d = \nabla \text{НПУ} - \nabla \text{УНБ}_{\min}$ – для основного сочетания нагрузок и воздействий,

$H_d = \nabla \text{ФПУ} - \nabla \text{УНБ}_{\max}$ – для особого сочетания нагрузок и воздействий.

Основное сочетание нагрузок и воздействий:

$$H_d = 170 - 95,79 = 74,21 \text{ м}$$

$$H_{as} = 0,4 \cdot 74,21 = 29,68 \text{ м}$$

$$H_{dr} = 0,2 \cdot 74,21 = 14,8 \text{ м}$$

Эпюра фильтрационного давления представлена на рисунке 4.5.

Особое сочетание нагрузок и воздействий:

$$H_d = 172 - 108,6 = 63,4 \text{ м}$$

$$H_{as} = 0,4 \cdot 63,4 = 25,36 \text{ м}$$

$$H_{dr} = 0,2 \cdot 63,4 = 12,68 \text{ м}$$

Эпюра фильтрационного давления представлена на рисунке 4.6.

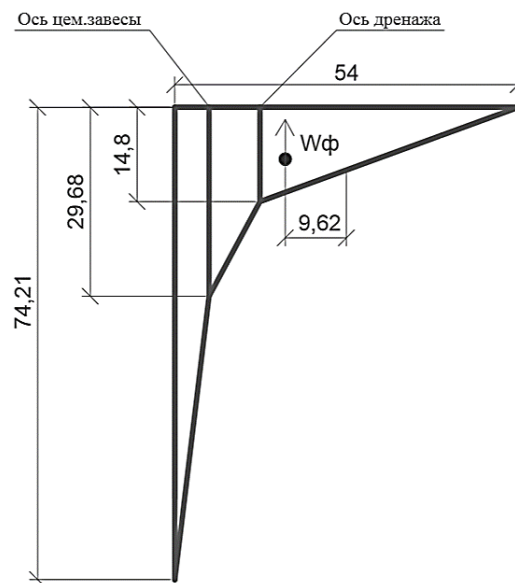


Рисунок 4.5 – Эпюра фильтрационного давления при основном сочетании нагрузок и воздействий.

Сила фильтрационного давления на подошву сооружения для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$W_{\phi} = \rho_w g S_{\text{ЭП}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 759 = 7445,8 \text{ кН}, \quad (4.76)$$

где $S_{\text{ЭП}} = 759 \text{ м}^2$ – площадь эпюры фильтрационного давления.

Плечо относительно контактного сечения: $y = 9,62$ м.

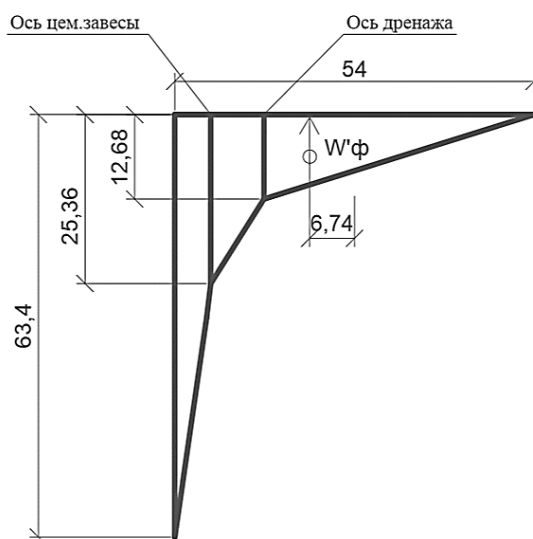


Рисунок 4.6 – Эпюра фильтрационного давления при особом сочетании нагрузок и воздействий.

Сила фильтрационного давления на подошву сооружения для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$W'_{\phi} = \rho_w g S_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 649 = 6366,7 \text{ кН}, \quad (4.77)$$

где $S_{\text{эп}} = 649 \text{ м}^2$ – площадь эпюры фильтрационного давления.

Плечо относительно контактного сечения: $y = 6,74$ м.

4.5.5 Давление грунта

Давление гравийно-песчаных наносов на вертикальную грань:

$$P_H = \gamma_H^{\text{взв}} \cdot h_H \cdot \text{tg}^2 \cdot \left(45 - \frac{\phi_H}{2}\right) = 11 \cdot 3 \cdot \text{tg}^2 \cdot \left(45 - \frac{22}{2}\right) = 15 \text{ кН} \quad (4.78)$$

где h_H - толщина слоя наносов, $h_H = 3$ м;

ϕ_H – угол внутреннего трения наносов во взвешенном состоянии, $\phi_H = 22^\circ$;

$\gamma_H^{\text{взв}} = 11 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес взвешенного грунта.

Равнодействующая давления наносов на 1 п.м.:

$$E_H = \frac{1}{2} \cdot P_H \cdot h_H \cdot \gamma_f = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 3 \cdot 1,2 = 27 \text{ кН/м}. \quad (4.79)$$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы 1 м.

Активное давление грунта основания со стороны верхнего бьефа определяют следующим образом.

В точке на границе слоя наносов и верхнего слоя грунта, боковое давление грунта определяется дважды: считая эту точку принадлежащей слою наносов P'_H и верхнему слою грунта $P'_{гр}$:

$$P'_{гр} = \gamma_H^{B3B} \cdot h_H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) = 11 \cdot 3 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{45}{2} \right) = 33 \cdot 0,172 = 5,7 \text{ кН},$$

(4.80)

где $\varphi_{гр}$ – угол внутреннего трения грунта, $\varphi_{гр} = 45^\circ$.

В точке на нижней границе слоя грунта толщиной $h_{гр}$, где действуют вес наносов и вес грунта, давление равно:

$$P''_{гр} = (\gamma_H^{B3B} \cdot h_H + \gamma_{гр}^{B3B} \cdot h_{гр}) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{45}{2} \right) = (11 \cdot 3 + 14,5 \cdot 2) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{45}{2} \right) = 8,5 \text{ кН},$$

(4.81)

где $h_{гр}$ – толщина нижнего слоя грунта, $h_{гр} = 2$ м;

γ_D^{B3B} – удельный вес долирита во взвешенном состоянии:

$$\gamma_D^{B3B} = \gamma_D^{сух} - (1 - n_0) \cdot \gamma_B = 22 - (1 - 0,25) \cdot 10 = 14,5 \text{ кН/м}^3,$$

(4.82)

где $\gamma_D^{сух}$ – удельный вес долирита в сухом состоянии, $\gamma_D^{сух} = 22 \text{ кН/м}^3$;
 n_0 – пористость сухого грунта, $n_0 = 0,25$.

Равнодействующая активного давления грунта на 1 п.м длины:

$$E_{ак} = S_{ак} \cdot \gamma_f = 31,42 \cdot 1,2 = 37,7 \text{ кН/м}.$$

(4.83)

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы 2,1 м.

Пассивное давление грунта основания на плотину со стороны нижнего бьефа на уровне подошвы плотины:

$$P_{пн} = \gamma_D^{B3B} \cdot h_{гр} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) = 14,5 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{45}{2} \right) = 29 \cdot 5,83 =$$

$$= 169 \text{ кН/м}^2.$$

(4.84)

Равнодействующая пассивного давления грунта на 1 п.м длины :

$$E_{\text{пн}} = \frac{P_{\text{пн}}}{2} \cdot h_{\text{гр}} \cdot \gamma_f = \frac{169}{2} \cdot 2 \cdot 0,8 = 135,2 \text{ кН/м.}$$

(4.85)

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы 1,5м.

4.5.6 Волновое давление

Равнодействующая волнового давления при основном сочетании нагрузок и воздействий:

$$W_{\text{волн}} = 0,5 \rho_w g h_{1\%} \left(\frac{\bar{\lambda}}{\pi} + \frac{h_0}{2} \right) =$$

$$= 0,5 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 2,34 \cdot \left(\frac{23,19}{3,14} + \frac{0,74}{2} \right) = 89,07 \text{ кН}$$

(4.86)

$$\text{где } h_0 = \frac{\pi h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}} = \frac{3,14 \cdot 2,34^2}{23,19} = 0,74 \text{ м.}$$

Плечо силы $W_{\text{волн}}$ относительно уровня покоя верхнего бьефа:

при НПУ:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} h_{1\%} = \frac{23,19}{2 \cdot 3,14} - \frac{3}{8} \cdot 2,34 = 2,82 \text{ м.}$$

(4.87)

Плечо относительно контактного сечения: 79,4 м.

Равнодействующая волнового давления при особом сочетании нагрузок и воздействий:

$$W'_{\text{волн}} = 0,5 \rho_w g h_{1\%} \left(\frac{\bar{\lambda}}{\pi} + \frac{h_0}{2} \right) =$$

$$= 0,5 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{7,89}{3,14} + \frac{0,29}{2} \right) = 11,1 \text{ кН}$$

(4.88)

$$\text{где } h_0 = \frac{\pi h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}} = \frac{3,14 \cdot 0,85^2}{7,89} = 0,29 \text{ м.}$$

Плечо относительно контактного сечения:

при ФПУ:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} h_{1\%} = \frac{7,89}{2 \cdot 3,14} - \frac{3}{8} \cdot 0,85 = 0,94 \text{ м.} \quad (4.89)$$

Плечо относительно контактного сечения: 81,3 м.

4.6 Оценка прочности плотины

Оценка прочности бетонной плотины следует производить по методу предельных состояний первой группы (по непригодности к эксплуатации). Для оценки прочности плотины вводятся критерии прочности. Нагрузки представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные нагрузки на плотину.

№ п/п	Обозначение силы	γ_f	Направление	При НПУ			При ФПУ		
				Сила, кН	Плечо, м	Момент, кН·м	Сила, кН	Плечо, м	Момент, кН·м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T_B	1	→	29081,7	25,7	747400,8	30612,1	26,3	805098,4
2	T_H	1	←	38,2	0,9	-35,5	1196,7	5,2	-6223,1
3	G_6	0,95	↓	17365,9	17,6	-291017,4	117365,9	17,6	-291017,4
4	$G_{пл}$	0,95	↓	39484,2	9,0	-337589,6	39484,2	9,0	-337589,6
5	$W_{взв}$	1	↑	1478,0	0	0	8274,5	0	0
6	W_ϕ	1	↑	7445,8	9,6	71628,5	6366,7	6,7	42911,5
7	E_H	1,2	→	27,0	1,0	27,0	27,0	1,0	27,0
8	$E_{ак}$	1,2	→	37,7	2,1	79,2	37,7	2,1	79,2
9	$E_{пн}$	0,8	←	135,2	1,5	202,8	135,2	1,5	202,8
10	$W_{волн}$	1	→	89,1	79,4	7071,9	11,1	81,3	900,2

11	q_3	1	↓	69,8	19,0	-1325,9	69,8	19,0	-1325,9
ΣN		$\Sigma \downarrow \uparrow$		47996,1			42278,6		
ΣM				196441,8			213063,1		

В расчетах сжимающие напряжения приняты со знаком “–”, а растягивающие – со знаком “+”. Для моментов “+” по часовой, “–” против. Расчет краевых напряжений в горизонтальных сечениях плотины:

Основное сочетание нагрузок

для верховой грани:

нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_d} + \frac{6\Sigma M}{B_d^2} = -\frac{47996,1}{54} + \frac{6 \cdot 196441,8}{54^2} = -468,5 \text{ кН}, \quad (4.90)$$

где B_d – протяженность расчетного сечения (ширина подошвы);

N – нормальная сила, равная сумме проекций на нормаль к расчетному сечению всех сил, действующих на плотину выше расчетного сечения;

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u m_u^2 - \gamma_w H_d^u (1 - m_u^2) = -468,5 \cdot 0^2 - 10 \cdot 77 \cdot 1 = -770 \text{ кН}, \quad (4.91)$$

где m_u – заложение верховой на уровне расчетного сечения;

$H_d^u = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 170 - 93 = 77 \text{ м.}$ – напор над расчетным сечением со стороны верхнего бьефа.

Касательные напряжения у верховой грани:

$$\tau_{xy}^u = (\gamma_w H_d^u + \sigma_y^u) m_u = (10 \cdot 77 - 468,5) \cdot 0 = 0 \text{ кН} \quad (4.92)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u (1 + m_u^2) + \gamma_w H_d^u m_u^2 = -468,5 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 77 \cdot 0^2 =$$

$$= -468,5 \text{ кН} \\ (4.93)$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w H_d^u = -10 \cdot 77 = -770 \text{ кН} \\ (4.94)$$

Нормальные напряжения на площадках контактного сечения у верховой грани:

$$\sigma_c^u = \frac{(1 + m_u^2)}{2} \left\{ \sigma_y^u [\cos 2(\alpha - \delta) + 1] + \gamma_w H_d^u \left[\cos 2(\alpha - \delta) - \frac{1 - m_u^2}{1 + m_u^2} \right] \right\} = \\ = \frac{(1 + 0^2)}{2} \cdot \left\{ -468,5 \cdot [\cos 2(0 - 0) + 1] + 10 \cdot 77 \cdot \left[\cos 2(0 - 0) - \frac{1 - 0}{1 + 0} \right] \right\} = \\ = -468,5 \text{ кН}, \\ (4.95)$$

где δ - угол между плоскостью подошвы и горизонталью;
 α - угол между плоскостью верховой грани и вертикалью.

для низовой грани:

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B_d} - \frac{6 \sum M}{B_d^2} = -\frac{47996,1}{54} - \frac{6 \cdot 196441,8}{54^2} = -1276,9 \text{ кН} \\ (4.96)$$

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^t = \sigma_y^t m_t^2 - \gamma_w H_d^t (1 - m_t^2) = -1276,9 \cdot 0 - 10 \cdot 2,79 \cdot (1 - 0) = \\ = -27,9 \text{ кН}, \\ (4.97)$$

где m_t , - заложение низовой грани на уровне расчетного сечения;

$H_d^t = \nabla_{\text{УНБ}} - \nabla_{\text{дна}} = 97,79 - 95 = 2,79$ - напор над расчетным сечением нижнего бьефа.

Касательные напряжения на низовой грани:

$$\tau_{xy}^t = -(\gamma_w H_d^t + \sigma_y^t) m_t = -(10 \cdot 2,79 - 1276,9) \cdot 0 = 0 \text{ кН} \\ (4.98)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\begin{aligned}\sigma_3^t &= \sigma_y^t(1 + m_t^2) + \gamma_w H_d^t m_t^2 = -1276,9 \cdot (1 + 0) + 10 \cdot 2,79 \cdot 0 = \\ &= -1276,9 \text{ кН} \\ (4.99)\end{aligned}$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\begin{aligned}\sigma_1^t &= -\gamma_w H_d^t = -10 \cdot 2,79 = -27,9 \text{ кН} \\ (4.100)\end{aligned}$$

Особое сочетание нагрузок

для верховой грани:

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_d} + \frac{6\sum M}{B_d^2} = -\frac{42278,6}{54} + \frac{6 \cdot 213063,1}{54^2} = -330,3 \text{ кН}$$

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\begin{aligned}\sigma_x^u &= \sigma_y^u m_u^2 - \gamma_w H_d^u (1 - m_u^2) = -330,3 \cdot 0^2 - 10 \cdot 79 \cdot (1 - 0^2) = \\ &= -790 \text{ кН},\end{aligned}$$

где $H_d^u = \nabla_{\text{ФПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 172 - 93 = 79$ м.- максимальный напор над расчетным сечением со стороны верхнего бьефа.

Касательные напряжения у верховой грани:

$$\tau_{xy}^u = (\gamma_w H_d^u + \sigma_y^u) m_u = (10 \cdot 79 - 330,3) \cdot 0 = 0 \text{ кН}$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\begin{aligned}\sigma_1^u &= \sigma_y^u(1 + m_u^2) + \gamma_w H_d^u m_u^2 = -330,3 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 79 \cdot 0^2 = \\ &= -330,3 \text{ кН}\end{aligned}$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w H_d^u = -10 \cdot 79 = -790 \text{ кН}$$

Нормальные напряжения на площадках контактного сечения у верховой грани:

$$\sigma_c^u = \frac{(1 + m_u^2)}{2} \left\{ \sigma_y^u [\cos 2(\alpha - \delta) + 1] + \gamma_w h \left[\cos 2(\alpha - \delta) - \frac{1 - m_u^2}{1 + m_u^2} \right] \right\} =$$

$$= \frac{(1 + 0^2)}{2} \cdot \left\{ -330,3 \cdot [\cos 2(0 - 0) + 1] + 10 \cdot 79 \cdot \left[\cos 2(0 - 0) - \frac{1 - 0}{1 + 0} \right] \right\} =$$

$$= -330,3 \text{ кН}$$

для низовой грани:

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B_d} - \frac{6\Sigma M}{B_d^2} = -\frac{42278,6}{54} - \frac{6 \cdot 213063,1}{54^2} = -1207,1 \text{ кН}$$

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^t = \sigma_y^t m_t^2 - \gamma_w H_d^t (1 - m_t^2) = -1207,1 \cdot 0 - 10 \cdot 15,62 \cdot (1 - 0) =$$

$$= -156,2 \text{ кН},$$

где $H_d^t = \nabla_{\text{УНБ}_{\text{max}}} - \nabla_{\text{дна}} = 108,62 - 95 = 15,62 \text{ м}$ - максимальный напор над расчетным сечением со стороны нижнего бьефа.

Касательные напряжения на низовой грани:

$$\tau_{xy}^t = -(\gamma_w H_d^t + \sigma_y^t) m_t = -(10 \cdot 15,62 - 1207,1) \cdot 0 = 0 \text{ кН}$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^t = \sigma_y^t (1 + m_t^2) + \gamma_w H_d^t m_t^2 = -1207,1 \cdot (1 - 0) + 10 \cdot 15,62 \cdot 0$$

$$= -1207,1 \text{ кН}$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^t = -\gamma_w H_d^t = -10 \cdot 15,62 = -156,2 \text{ кН}$$

Для удобства главные и касательные напряжения заносим в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Главные и касательные напряжения

Напорная грань		Низовая грань	
Основное сочетание нагрузок и воздействий			
Напряжение	кПа	Напряжение	кПа
σ_y^u	-468,5	σ_y^t	-1276,9

σ_x^u	-770	σ_x^t	-27,9
τ_{xy}^u	0	τ_{xy}^t	0
σ_1^u	-468,5	σ_3^t	-1276,9
σ_3^u	-770	σ_1^t	-27,9
σ_c^u	-468,5		
Особое сочетание нагрузок и воздействий			
Напряжение	кПа	Напряжение	кПа
σ_y^u	-330,3	σ_y^t	-1207,1
σ_x^u	-790	σ_x^t	-156,2
τ_{xy}^u	0	τ_{xy}^t	0
σ_1^u	-330,3	σ_3^t	-1207,1
σ_3^u	-790	σ_1^t	-156,2
σ_c^u	-330,3		

4.7 Критерии прочности плотины

После определения напряжений для основного и особого сочетания нагрузок, необходимо проверить выполнение следующих условий:

Во всех точках плотины:

$$(4.101) \quad \gamma_n \gamma_{1c} |\sigma_3| \leq \gamma_{cd} R_b,$$

где $\gamma_n = 1,25$ – коэффициент надежности по ответственности, для сооружений I класса;

γ_{1c} – коэффициент сочетания нагрузок ($\gamma_{1c} = 1$ – для расчетов по первому предельному состоянию и основному сочетанию нагрузок);

σ_{max} – максимальное главное напряжение;

R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию;

γ_{cd} – коэффициент условия работы ($\gamma_{cd} = 0,9$ – при основном сочетании нагрузок; 1 – при особом сочетании).

для основного сочетания нагрузок и воздействий:

для нижней грани:

$$1,25 \cdot 1 \cdot |-1276,9| \leq 11500 \cdot 0,9$$

$$1596,1 \leq 10350$$

для верхней грани:

$$1,25 \cdot 1 \cdot |-770| \leq 11500 \cdot 0,9$$

$$962,5 \leq 10350$$

для особого сочетания нагрузок и воздействий:

для низовой грани:

$$1,25 \cdot 1 \cdot |-1207,1| \leq 11500 \cdot 1$$

$$1508,9 \leq 11500$$

для верховой грани:

$$1,25 \cdot 1 \cdot |-790| \leq 11500 \cdot 1$$

$$987,5 \leq 11500$$

На верховой грани плотины не должно быть растягивающих напряжений:

Так как $m_u = 0$, то σ_y^u будет равна σ_c^u

Отсюда следует, что можно проверить выполнение двух условий:

$$\sigma_y^u = \sigma_c^u < 0, \quad (4.102)$$

Тогда для основного сочетания нагрузок и воздействий.

$$-468,5 < 0, \text{ условие выполняется.}$$

для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$-330,3 < 0, \text{ условие выполняется.}$$

В зоне верховой грани плотины:

$$|\sigma_y^u| \geq 0,25 \gamma_w H_d^u, \quad (4.103)$$

для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$|-468,5| \geq 0,25 \cdot 10 \cdot 77,$$

$$468,5 \geq 192,5, \text{ условие выполняется.}$$

для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$|-330,3| \geq 0,25 \cdot 10 \cdot 79 ,$$

330,3 ≥ 197,5 , условие выполняется.

Проектируемая плотина удовлетворяем всех условиям, следовательно, плотина отвечает критериям прочности.

4.8 Обоснование устойчивости плотины

Для проверки устойчивости плотины при поступательной форме сдвига, плотина будет устойчива если соблюдается следующее условие:

$$\frac{R \cdot \gamma_{cd}}{F \cdot \gamma_{1c}} \geq \gamma_n ,$$

(4.104)

где γ_{1c} – коэффициент сочетания нагрузок; $\gamma_{1c} = 1$ для основного сочетания нагрузок; $\gamma_{1c} = 0,9$ для особого сочетания нагрузок.

γ_{cd} – коэффициент условий работ, $\gamma_{cd} = 0,95$;

R – расчетное значение обобщенной несущей способности (силы, сопротивляющейся сдвигу);

F – сдвигающая сила;

$$R = (G_{пл} + G_6 + q_3 - W_\phi - W_{взв}) \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot \omega ,$$

(4.105)

где γ'_c – коэффициент условия работы по нагрузке, для пассивного давления грунта принимается $\gamma'_c = 0,7$;

ω – горизонтальная проекция площади подошвы плотины, при расчете на 1 п.м $\omega = B_n \cdot 1 = 54 \cdot 1 = 54 \text{ м}^2$;

$c = 150 \text{ кН/м}^2$ - сцепление для скального основания;

φ – угол трения грунта для скального основания.

F – сдвигающая сила.

$$F = T_B - T_H + W_{волн}$$

(4.106)

для основного сочетания нагрузок:

$$R = (39484,2 + 17365,9 + 69,8 - 7445,8 - 1478,0) \cdot 0,7 + 150 \cdot 54 =$$

$$= 43137,1 \text{ Н/м} ,$$

$$F = 29081,7 + 89,1 + 27 + 37,7 - 38,2 - 135,2 = 29062,1 \text{ Н/м} ,$$

$$\frac{43137,1 \cdot 0,95}{29062,6 \cdot 1} = 1,36 > 1,25.$$

для особого сочетания нагрузок:

$$R = (39484,2 + 17365,9 + 69,8 - 6366,7 - 8274,5) \cdot 0,7 + 150 \cdot 54 = \\ = 38963,4 \text{ Н/м} ,$$

$$F = 30612,1 + 11,1 + 27 + 37,7 - 1196,7 - 135,2 = 29355,9 \text{ Н/м} .$$

$$\frac{38963,4 \cdot 1}{29355,9 \cdot 0,9} = 1,43 > 1,25.$$

5 Этапы возведения сооружений и схема пропуска строительных расходов на различных этапах

Так как высота плотины более 40 м и плотина по гребню шириной 488 м, то принимаем приплотиную компоновку.

При приплотинной компоновке плотина располагают в естественном русле реки, а здание ГЭС за ней.

Пропуск строительных расходов осуществляем методом секционирования русла. Расчет секционированного русла будем выполнять в два этапа. На первом этапе выполним расчет пропуска строительных расходов через стесненное русло, а на втором – через недостроенные сооружения.

Строительство гидроузла разбиваем на 5 этапов:

- 1 этап** – возведение сооружений, необходимых для перекрытия русла;
- 2 этап** – возведение перекрытия русла и здания ГЭС;
- 3 этап** – наращивание сооружений до отметок, необходимых для начала наполнения водохранилища;
- 4 этап** – наполнение водохранилища до отметок пуска первых агрегатов;
- 5 этап** – наращивание сооружений и наполнение водохранилища до проектных отметок с последовательным поочередным пуском всех агрегатов.

5.1 Первый этап

Строительные работы необходимо начинать со строительства сооружений, необходимых для перекрытия русла реки – водосливной и глухой частей плотины, примыкающих к левому берегу.

Пропуск строительных расходов на этом этапе будет производится по стесненному руслу реки со стороны правого берега.

Для того, чтобы обеспечить строительство сооружений, необходимых для перекрытия русла реки, требуется возвести перемычки, образующие котлован первой очереди (перемычки первой очереди).

Часть русла, перекрытая перемычками, составляет 50 % ширины русла в створе.

Основные строительные работы 1 этапа:

- возведение верховой, продольной и низовой перемычек (котлован первой очереди);
- откачка воды из котлована первой очереди;
- бетонирование тела водосбросной плотины до отм. 110 м с организацией донных отверстий в секциях № 17÷21;
- врезка в скалу правого берега;
- бетонирование глухих секций;
- устройство глубокой цементационной завесы;
- бурение дренажных скважин в основании плотины;
- монтаж затворов для донных отверстий и необходимого на этом этапе гидромеханического оборудования водосливной плотины.

5.1.1 Расчет перемычек первой очереди с учетом пропуска строительных расходов через стесненное русло

Цель расчета – обеспечить безопасный пропуск строительных расходов и определить оптимальные размеры перемычек первой очереди. Перемычки относятся к временным сооружениям IV класса капитальности. Ежегодную расчетную вероятность превышения расчетных максимальных расходов воды при сроке эксплуатации перемычек до 3-х лет принимаем равной – 10%.

Расчетный строительный расход 10% обеспеченности составляет $Q_{стр} = 2826 \text{ м}^3/\text{с}$, при этом глубина воды в реке равна 1,4 м.

Отметка гребней продольной и верховой перемычек напрямую зависит от повышения уровня воды перед верховой перемычкой.

При определении отметки гребня верховой перемычки также необходимо учесть конструктивный запас по высоте.

Таким образом, отметки гребней продольной и верховой перемычек первой очереди можно определить по формулам:

для верховой перемычки:

$$H_{вп} = h_{нб} + Z + a = 8,65 + 0,25 + 1 = 9,9 \text{ м} \quad (5.1)$$

для продольной перемычки:

$$H_{пп} = h_{нб} + Z = 8,65 + 0,25 = 8,9 \text{ м}, \quad (5.2)$$

где $h_{нб}$ – глубина воды в нижнем бьефе, соответствующая $Q_{стр}$;

Z – значение повышения уровня воды перед верховой перемычкой; a – конструктивный запас, принимаемый равным 1 м.

Значение повышения уровня воды перед верховой перемычкой можно вычислить по формуле:

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{V_c^2}{2 \cdot g} - \frac{V_0^2}{2 \cdot g} = \frac{1}{0,85^2} \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} - \frac{0,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,25 \text{ м}, \quad (5.3)$$

где φ – коэффициент скорости, для трапецеидальных перемычек $\varphi = 0,8 - 0,85$, принимаем φ равным 0,85;

V_0 – бытовая скорость воды в реке;

V_c – бытовая скорость воды в реке и скорость потока в суженном русле.

Бытовую скорость воды в реке можно определить по формуле:

$$V_0 = \frac{Q_{стр}}{w_0} = \frac{2826}{3533} = 0,8 \text{ м/с} \quad (5.4)$$

где w_0 – площадь поперечного сечения русла реки до стеснения при $Q_{стр}$.

$$V_c = \frac{Q_{cmp}}{w_c} = \frac{2826}{1020} = 2,77 \text{ м/с}$$

(5.5)

где w_c - площадь поперечного сечения суженной части русла при Q_{cmp} (принимается 50% от w_0);

Скорость в сжатом сечении V_c не должна превышать допустимой скорости течения в реке по условиям судоходства (3 м/с) и не может быть больше размывающей скорости для грунтов ложа реки, приведенных в справочнике гидравлики. При большой величине ее производят проверку стесненного русла реки на размыв.

5.1.2 Тип и конструкцию перемычек

Принимаем тип перемычек каменно-земляные. Типовой профиль земляных перемычек – трапецеидальный.

Минимальная ширина по гребню – 4 м, но лучше 7 м для удобства производства работ.

Откосы назначаются в зависимости от угла естественного откоса отсыпаемых грунтов и метода возведения сооружения. Обычно принимают:

- верховой откос 1:2
- низовой откос 1:1

Схемы перемычек представлены на рисунках 5.1 – 5.2.

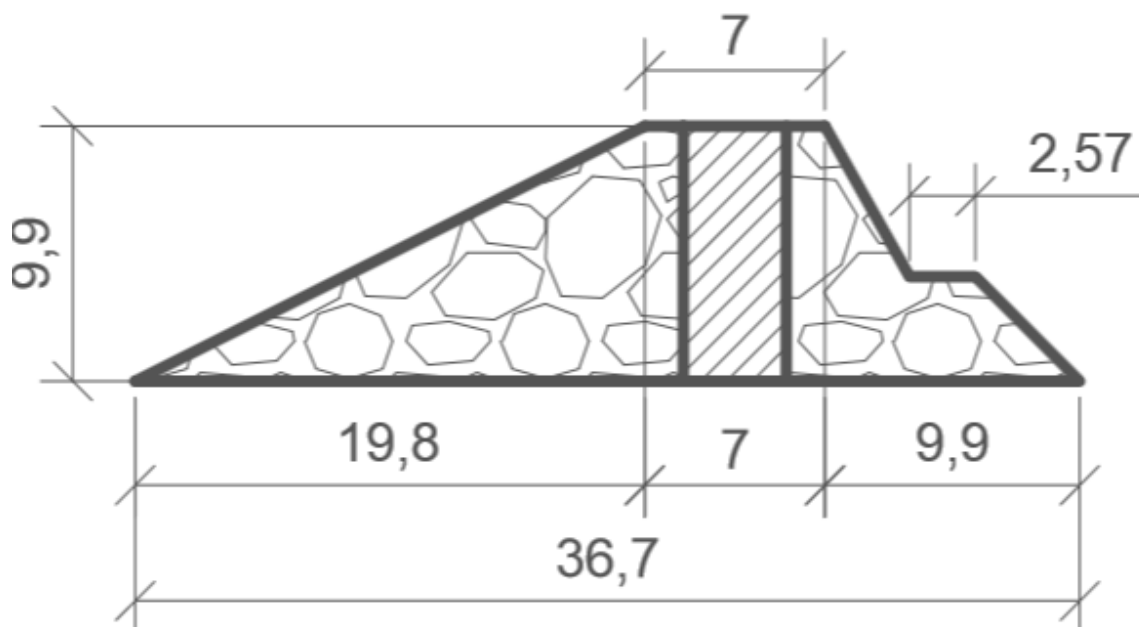


Рисунок 5.1 – Поперечное сечение верховой перемычки.

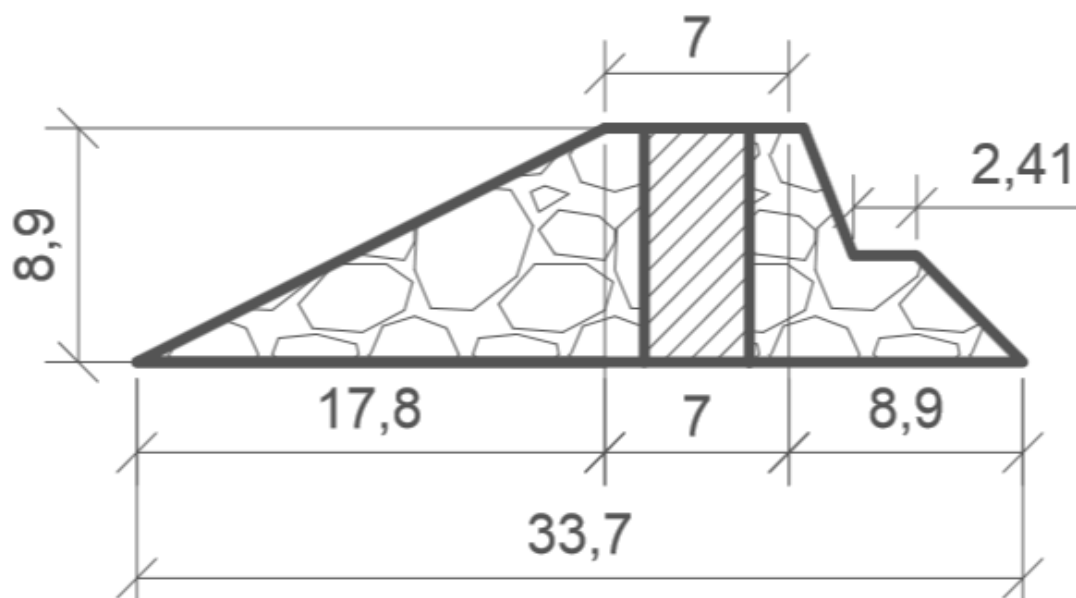


Рисунок 5.2 – Поперечное сечение низовой перемычки.

Определяем площади поперечного сечения перемычек – $\omega_{\text{пп}}$, $\omega_{\text{вп}}$
 Определяем суммарный объём верховой и продольной перемычек первой очереди:

$$V_{\text{пер}} = \frac{\omega_{\text{пп}} \cdot L_{\text{пп}} + \omega_{\text{вп}} \cdot L_{\text{вп}}}{2} = \frac{177 \cdot 156,11 + 209 \cdot 160}{2} = 30536 \text{ м}^3 \quad (5.6)$$

Определяем отметку гребня низовой перемычки:

$$H_{\text{нп}} = h_{\text{нб}} + a = 8,65 + 1 = 9,65 \text{ (м)} \quad (5.7)$$

Определяем объём низовой перемычки равен:

$$V_{\text{нп}} = \frac{\omega \cdot L_{\text{нп}}}{2} = \frac{177 \cdot 156,11}{2} = 13815,7 \text{ м}^3 \quad (5.8)$$

Назначаем время начала работ по возведению перемычек.

Определяем время, необходимое для возведения всех перемычек:

$$t_{\text{пер}} = \frac{V_{\text{пер}}}{J_{\text{пер}}} = \frac{30536}{400} = 77 \text{ сут} \quad (5.9)$$

где $\Sigma V_{\text{пер}}$ – суммарный объём всех перемычек, $J_{\text{пер}}$ – интенсивность возведения грунтовой перемычки, принимаем $400 \text{ м}^3/\text{сут.}$ (отсыпка призм, уплотнение, крепление верхового откоса).

5.1.3 Осушение котлована 1-й очереди

Определяем срок начала работ. Размеры котлована в плане 154,8 x 160 м. Определяем площадь котлована по программе AutoCad, 27991 м². Определяем глубину воды в котловане h = 8,6 м. при среднем расходе воды в реке Q = 2994 м³/с.

Находим объём воды, которую требуется откачать из котлована, V = 213005 м³.

Для откачки воды из котлована выбираем консольные насосы (4К-25, имеющие производительность W=80 м³/час при высоте подъема воды до 18 м) [2, табл.15-42] в количестве 6 шт.

Рассчитываем время откачки с использованием 2 – х насосов.

$$t = \frac{V}{W \cdot n} = \frac{213005}{80 \cdot 6} = 443,8 \text{ час} = 19 \text{ суток} \quad (5.10)$$

Округляем полученное значение кратно смене (полусуткам).

Находим интенсивность понижения уровня воды $\frac{h}{t} = \frac{8,6}{19} = 0,5$ (м/сутки)

Эти насосы будут применяться и в дальнейшем для поддержания котлована в осушенном состоянии.

5.1.4 Разработка котлована под водосливную плотину

Определим объём разрабатываемого грунта. Размеры котлована в плане составляют 160 x 156, глубина 3 м. Определяем объём вынимаемого грунта 74880 м³.

Принимаем основные машины для разработки грунта основания (экскаватор ЭО-5122А, вместимость ковша q_{ков} = 1,6 м³).

Вычислим производительность цикла экскаватора

$$P_{\text{эч}} = q_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot k_{\text{в}} = 1,07 \cdot 97,3 \cdot 0,75 = 78,1 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (5.11)$$

где $q_{\text{ц}} = q_{\text{ков}} \cdot k_{\text{н}} / k_{\text{р}} = 1,07$;

$k_{\text{н}} = 0,9$ - коэффициент наполнения ковша;

$k_{\text{р}} = 1,35$ - коэффициент разрыхления легкого скального грунта;

$k_{\text{в}} = 0,75$ - коэффициент использования внутрисменного рабочего времени;

$q_{\text{ков}}$ - геометрическая емкость ковша экскаватора;

$n_{\text{ц}} = 3600/t_{\text{ц}} = 97,3$ - число циклов в час.

где $t_{\text{ц}}$ - продолжительность цикла экскаватора 37

Определим время разработки котлована (выемка мягкого и скального грунта) под водосбросную плотину:

$$t_{\text{выем}} = \frac{V_{\text{выем}}}{P_{\text{эч}}} = \frac{74880}{78,1} = 959 \text{ час} = 40 \text{ сут.} \quad (5.12)$$

Для бесперебойной работы ведущей машины и перевозки грунта из котлована применяется автосамосвал АС – 6890V0 со следующими характеристиками:

- грузоподъемность 18,7 тонн;
- вместительность кузова 31,2 м³.

Скорости транспортирования грунта по строительной дороге:

- груженный $V_{\text{гр}} = 20$ км/ч;
- порожний $V_{\text{пор}} = 30$ км/ч.

Согласно стройгенплана определяем расстояние от места выемки грунта до места разгрузки, примерно 2 км.

Определение количества ковшей грунта в емкости низового автосамосвала:

$$q_{\text{ков}} = \frac{Q_{\text{сам}}}{\rho \cdot n_{\text{ков}} \cdot k_{\text{н}}} = \frac{18,7}{2,3 \cdot 4 \cdot 0,9} = 2,5 \text{ м}^3, \quad (5.13)$$

$$n_{\text{ков}} = \frac{Q_{\text{сам}}}{\rho \cdot q_{\text{ков}} \cdot k_{\text{н}}} = \frac{18,7}{2,3 \cdot 1,6 \cdot 0,9} = 5,6, \text{ принимаем } 5 \text{ ковшей, если будет } 6, \text{ то}$$

грунт будет сыпаться вокруг машины, это запрещено. (5.14)

где $k_{\text{н}}$ - коэффициент наполнения ковша, $k_{\text{н}} = 0,9$;
 $Q_{\text{сам}}$ - грузоподъемность самосвала, $Q_{\text{сам}} = 18,7$ тонн;
 ρ – плотность грунта, $\rho = 2,3$ кг/м³

Время одного цикла транспортировки грунта

$$t_{\text{ца/с}} = \frac{L_{\text{т}}}{v_{\text{гр}}} + \frac{L_{\text{т}}}{v_{\text{пор}}} + (t_{\text{р}} + t_{\text{з}}) = \frac{3}{20} + \frac{3}{30} + (0,033 + 0,017) = 0,35 \text{ час} = 21 \text{ МИН} \quad (5.15)$$

где $t_{\text{р}}$ - время разгрузки;
 $t_{\text{з}}$ - время загрузки.

Определяем необходимое для бесперебойной работы ведущей машины (экскаватора) количество транспортных машин:

$$N_{a/c} = \frac{t_{ца}}{t_{цэ} \cdot n_{ков}} = \frac{0,35 \cdot 3600}{27 \cdot 5} = 10 \text{ машин} \quad (5.16)$$

5.1.5 Бетонные работы в нижней части водосливной плотины

Основные характеристики водосливной плотины:

- Ширина подошвы плотины $B = 54 \text{ м}$
- Высота бетонируемой части водосливной плотины $h = 15 \text{ м}$
- Длина бетонируемого участка плотины $L = 57,5 \text{ м}$

Определяем общий объём бетонируемой части водосливной плотины:

$$V_{б.р.} = B \cdot L \cdot h = 46575 \text{ м}^3 \quad (5.17)$$

Задаемся интенсивностью бетонирования $J_{б.р.} = 25000 \text{ м}^3/\text{мес}$, на основе аналога Красноярская ГЭС.

Определяем время бетонирования $t = V_{б.р.} / J_{б.р.} = 1,9 \text{ мес}$.

Поперечный разрез первого этапа представлен на рисунке 5.3

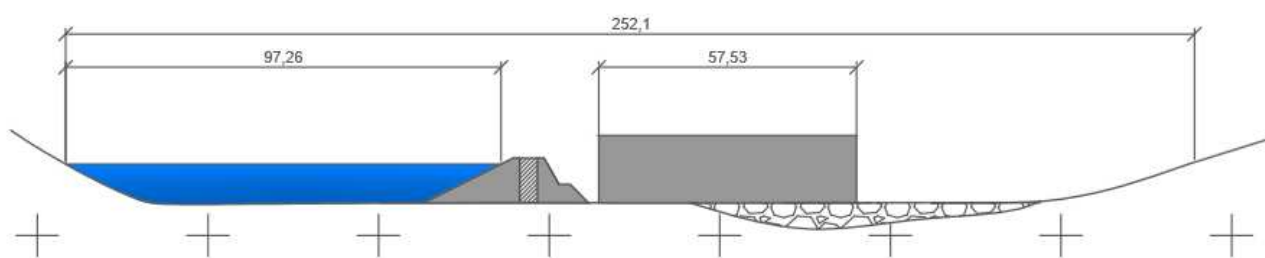


Рисунок 5.3 – Поперечный разрез плотины на первом этапе строительства.

5.1.6 Расчет пропуска расчетного строительного расхода через гребенку

Расчет начинаем с определения требуемой длины водосливного фронта и необходимого числа водосливных пролетов. Минимально необходимое число пролетов водосливной плотины по условию неразмываемости дна реки при сходе потока с водослива определяем по формуле

$$n = Q_p / (V_{\text{доп}} h_p l) = 2826 / (20 \times 8,5 \times 10) = 1,66. \quad (5.18)$$

где $V_{\text{доп}}$ принята для скального основания равной 20 м/с.

Определяем длину водосливного фронта из условия закрытия гребенки по двух- и трехступенчатой схемам

$$L_2 = Q_f / [0,5 m (2g)^{1/2} (H_3 - 0,5)^{3/2}] = 839 / [0,5 \times 0,32 (2 \times 9,81)^{1/2} (12 - 0,5)^{3/2}] = 30 \text{ м} \quad (5.19)$$

$$L_3 = A_3 L_2 = 0,717 \times 30 = 21,5 \text{ м} \quad (5.20)$$

где $H_3 = 12$ м - высота затвора;

$A_3 = 0,717$ - коэффициент трехступенчатой гребенки

Необходимое число пролетов соответственно будет при двухступенчатой гребенке $n = L_2 / \epsilon b = 30 / (0,9 \times 10) = 3,33$;

при трех ступенчатой $n = 21,5 / (0,9 \times 10) = 2,39$.

Отметку временных порогов водосливов находим из условия перекрытия русла реки.

Для принятого расчетного расхода перекрытия $Q_{\text{рп}} = 218 \text{ м}^3/\text{с}$ при неразмываемом русле принимаем конечный перепад на банкете $Z_{\text{макс}} = 1,0$ м и определяем критическую $h_{\text{кр}}$ глубину над порогом гребенки:

$$h_{\text{кр}} = (aq^2/g)^{1/3} = [1,1 \times [218 / (4 \times 10)]^2 / 9,8]^{1/3} = 1,49 \text{ м}. \quad (5.21)$$

Напор H на гребне водослива при его работе в неподтопленном режиме будет:

$$H = \{Q_{\text{рп}} / [m \epsilon n b (2g)^{1/2}]\}^{2/3} = \{218 / [0,32 \times 0,9 \times 4 \times 10 (2 \times 9,81)^{1/2}]\}^{2/3} = 2,6 \text{ м}. \quad (5.22)$$

Проверяем расчет подтопления водослива. Так как $H = 2,6 > Z_{\text{макс}} + h_{\text{кр}} = 1,0 + 1,49 = 2,49$, то водослив подтоплен. Поэтому сначала находим глубину воды $h_{\text{п}}$ над порогом водослива:

$$h_{\text{п}} = Q_{\text{рп}} / [\phi \epsilon n b (2g Z_{\text{макс}})^{1/2}] = 218 / [0,9 \times 0,9 \times 4 \times 10 (2 \times 9,81 \times 1,0)^{1/2}] = 1,5 \text{ м}, \quad (5.23)$$

Определяем отметку порога гребенки:

$$ПГ = 107,3 - 1,5 = 105,8 \text{ м. Принимаем } ПГ = 105 \text{ м.}$$

Для назначения отметок гребня перемычек второй очереди определяем отметку ВБ при прохождении через плотину расчетного строительного расхода $Q_{рс} = 2826 \text{ м}^3/\text{с}$:

$$h_{кр} = [1,1 \times [2826(4 \times 10)]^2 / 9,81]^{1/3} = 2,13 \text{ м и } h_{п} = УНБ - ПГ = 107,3 - 105 = 2,3 \text{ м.}$$

Так как $h_{п} < h_{кр}$, то водослив будет не подтоплен и следовательно:

$$H = [Q_p / (m \epsilon n b (2g)^{1/2})]^{2/3} = \{2826 / [0,3 \times 0,9 \times 4 \times 10 (2 \times 9,81)^{1/2}]\}^{2/3} = 15,2 \text{ м} \quad (5.24)$$

$$УВБ = ПГ + H = 105,8 + 15,2 = 121 \text{ м} \quad (5.25)$$

Отметки перемычек второй очереди будут
верховая перемычка низовая перемычка:

$$ГВП = УВБ + d = 121 + (1,5 + 2,0) = 124,5 \text{ м} \quad (5.26)$$

низовая перемычка:

$$ГНП = УНБ + a = 107,5 + (0,5 + 2,0) = 110, \text{ м} \quad (5.27)$$

5.2 Второй этап

Пропуск расчетного строительного расхода производится через пдонных отверстий в построенной в котловане первой очереди бетонной плотине.

Основные работы второго этапа:

- разбирают низовую перемычку первой очереди и затапливают котлован;
- разбирают верховую перемычку первой очереди (вода пропускается через донные отверстия);
- отсыпают банкет для перекрытия реки и образования котлована второй очереди, для возведения стационарной части плотины;
- возводят стационарную часть плотины и подводную часть здания ГЭС с монтажом металлоконструкций в водоотводящем тракте;
- устраивают глубокую цементационную завесу;

- бурят дренажные скважины в основании плотины;
- разрабатывают грунт под отводящий канал здания ГЭС.

5.2.1 Возведение перемычек второй очереди

Верховую перемычку – банкет, выполняем трапециевидного сечения с заложением откосов:

Верхового 1:2;

Низового 1:1.

Ширину по гребню принимаем 7 м.

Площадь поперечного сечения банкета составляет $\omega = 209 \text{ м}^2$,

Длина банкета составляет $L_{\text{бан}} = 74 \text{ м}$.

Таким образом, объем банкета равен

$$(5.28) \quad V = L_{\text{бан}} \cdot \omega / 2 = 7733,5 \text{ м}^3$$

Конструкция низовой перемычки второй очереди аналогична низовой перемычке первой очереди, длина ее $L_{\text{низ}} = 70 \text{ м}$. Объем низовой перемычки равен:

$$(5.29) \quad V = \omega \cdot L_{\text{низ}} / 2 = 7315 \text{ м}^3$$

Определим время необходимое для возведения банкета и низовой перемычки отдельно:

$$(5.30) \quad t_{\text{бан}} = V_{\text{бан}} / J_{\text{бан}} = 10 \text{ сут} \approx 0,3 \text{ мес}$$

$$(5.31) \quad t_{\text{пер}} = V_{\text{пер}} / J_{\text{пер}} = 9 \text{ сут} \approx 0,3 \text{ мес}$$

5.2.2 Осушение котлована 2-й очереди

Определяем площадь котлована, 12906 м^2 . Глубина воды в котловане при среднем расходе воды в реке $Q = 2994 \text{ м}^3/\text{с}$ (для месяца перекрытия) равна $h = 8,6 \text{ м}$. Таким образом, объем воды, которую требуется откачать из котлована равен $V = 110992 \text{ м}^3$. Для откачки воды из котлована используем те же, что и на котловане первой очереди консольные насосы.

Проведем расчет времени откачки с использованием 2-х насосов. Время откачки составит:

$t = 694 \text{ часов} \approx 29 \text{ суток}$.

Интенсивность откачки воды составит $0,3 \text{ м}/\text{сутки}$.

Эти же 4К-25 насосы будем применять и в дальнейшем для поддержания котлована в осушенном состоянии.

5.2.3 Разработка котлована под водосливную плотину и здание ГЭС

Определим объемы разрабатываемого грунта в котловане второй очереди. Размеры котлована под здание ГЭС в плане составляют 100 х 42, средняя глубина 3 м. Объем вынимаемого грунта равен 12600 м³.

Для разработки скального грунта основания – долерит, используем экскаватор ЭО-5122А (производительность цикла $P_{эч} = 78,1$ м³/час была определена выше).

Определим время разработки котлована под стационарную часть плотины

$$t_{\text{выем}} = \frac{V_{\text{выем}}}{P_{\text{эч}}} = 135 \text{ часа} = 6 \text{ суток.} \quad (5.32)$$

Определим время разработки котлована под здание ГЭС

$$t_{\text{выем}} = \frac{V_{\text{выем}}}{P_{\text{эч}}} = 162 \text{ часа} = 7 \text{ суток.} \quad (5.33)$$

5.2.4 Бетонные работы в нижней части стационарной плотины и глухих секций

Нижняя часть стационарной плотины - секции №№ 22 ÷ 29 и глухих секций №№ 30 ÷ 36, имеет форму параллелепипеда.

Ширина нижней части стационарной плотины и глухих секций - $B = 54$ м.

Высота бетонируемого участка стационарной плотины $h = 15$ м

Длина бетонируемого участка плотины $L = 153,9$ м

Объем $V = B \cdot L \cdot h = 124659$ м³.

Время бетонирования $t = 5$ мес, интенсивность бетонирования $J_{б,р} = 25000$ м³/мес, на основе аналога Красноярская ГЭС.

Бетонные работы в подводной части здания ГЭС

Подводная часть здания ГЭС имеет форму параллелепипеда.

- Ширина подводной части здания ГЭС $B = 42$ м
- Высота подводной части здания ГЭС $h = 54$ м
- Длина подводной части здания ГЭС $L_{ГЭС} = 100$ м

Объем $V = B \cdot L \cdot h = 226800$ м³

Время бетонирования $t = 9$ мес, интенсивность бетонирования $J_{б,р} = 25000$

м³/мес, на основе аналога Красноярская ГЭС.
Поперечный разрез первого этапа представлен на рисунке 5.4

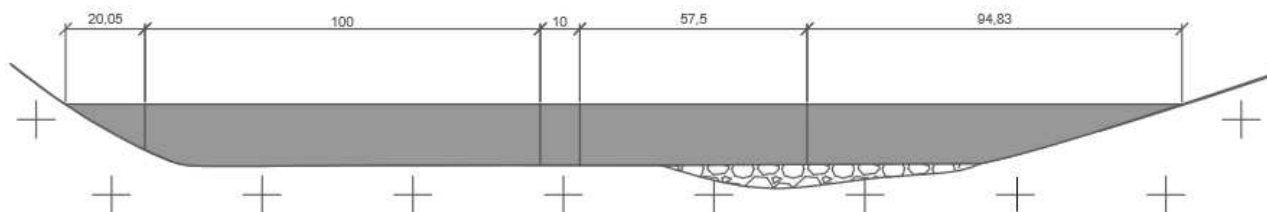


Рисунок 5.4 – Поперечный разрез плотины на втором этапе строительства

5.3 Третий этап

Основные работы третьего этапа:

- Разработка котлована под береговые участки плотины
- Бетонные работы по всему напорному фронту
- Начало наполнения водохранилища

5.3.1 Разработка котлованов под береговые участки плотины

Определяем объем грунта при разработке котлованов.

Правобережный котлован, секции 30 ÷ 32:

Длина 40 м, характерная ширина 61, глубина 30 м. Объем правобережного котлована

$$V = 73200 \text{ м}^3.$$

Время на разработку грунта:

$$V/P_{\text{эч}} = 254 \text{ час} = 11 \text{ суток}.$$

Левобережный котлован, секции 7 ÷ 17:

Длина 140 м, характерная ширина 61, глубина 30 м. Объем левобережного котлована

$$V = 256200 \text{ м}^3.$$

Время на разработку грунта:

$$V/P_{\text{эч}} = 887 \text{ час} = 37 \text{ суток}.$$

5.3.2 Бетонные работы по всему напорному фронту

Бетонируемый участок плотины имеет форму призмы.

- Наибольшая высота участка бетонирования 15 м
- Длина бетонируемого участка плотины $L_{\text{пл}} = 347,5$ м
- Ширина сечения в нижней части 61 м
- Ширина сечения в верхней части 23 м

Наибольшая площадь поперечного сечения участка плотины

$$\omega_{\text{п}} = 915 \text{ м}^2$$

Объём бетона $V = \omega_{\text{п}} \cdot L_{\text{пл}} = 317962,5 \text{ м}^3$.

Принимаем интенсивность бетонирования $25000 \text{ м}^3/\text{мес}$.

Время бетонирования $t = 12,7 \text{ мес}$.

Поперечный разрез первого этапа представлен на рисунке 5.5

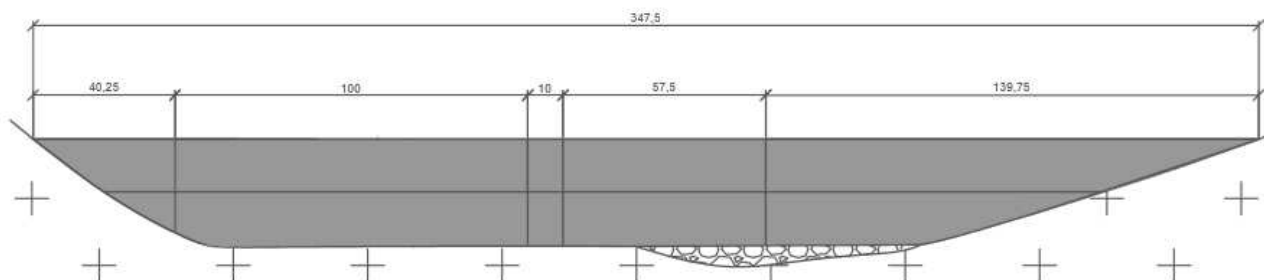


Рисунок 5.5 – Поперечный разрез плотины на третьем этапе строительства

5.4 Четвертый этап

Основные работы третьего этапа:

- Бетонные работы по всему напорному фронту
- Наполнение водохранилища до отметок пуска первого агрегата

5.4.1 Бетонные работы по всему напорному фронту

Бетонируемый участок плотины имеет форму призмы.

- Наибольшая высота участка бетонирования 20 м
- Длина бетонируемого участка плотины $L_{\text{пл}} = 418,5 \text{ м}$
- Ширина сечения в нижней части 61 м
- Ширина сечения в верхней части 23 м

Наибольшая площадь поперечного сечения участка плотины

$$\omega_{\text{п}} = 1220 \text{ м}^2$$

Объём бетона $V = \omega_{\text{п}} \cdot L_{\text{пл}} = 510570 \text{ м}^3$.

Принимаем интенсивность бетонирования $25000 \text{ м}^3/\text{мес}$.

Время бетонирования $t = 20 \text{ мес}$.

Поперечный разрез первого этапа представлен на рисунке 5.6

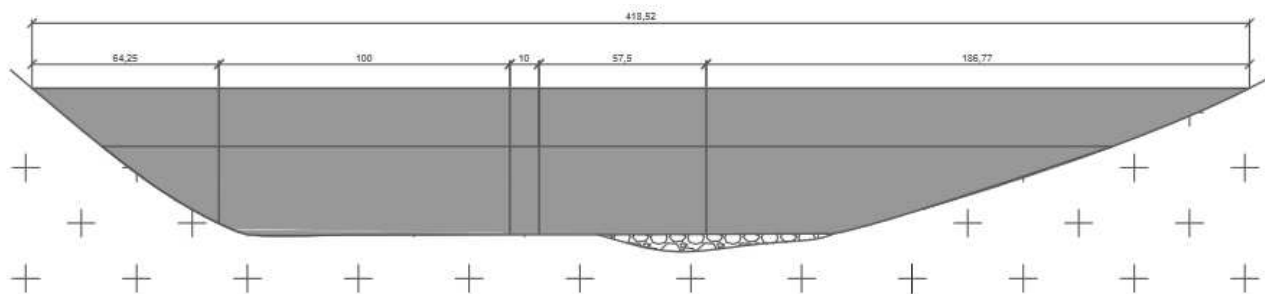


Рисунок 5.6 – Поперечный разрез плотины на четвертом этапе строительства

5.5 Пятый этап

Основные работы третьего этапа:

- Бетонные работы по всему напорному фронту, бетонирование до отм. НПУ.
- Пуск остальных гидроагрегатов

5.5.1 Бетонные работы по всему напорному фронту

Бетонируемый участок плотины имеет форму призмы.

- Наибольшая высота участка бетонирования 25 м
- Длина бетонируемого участка плотины $L_{пл} = 488$ м
- Ширина сечения в нижней части 61 м
- Ширина сечения в верхней части 23 м

Наибольшая площадь поперечного сечения участка плотины

$$\omega_{п} = 1525 \text{ м}^2$$

Объём бетона $V = \omega_{п} \cdot L_{пл} = 744200 \text{ м}^3$.

Принимаем интенсивность бетонирования $25000 \text{ м}^3/\text{мес}$.

Время бетонирования $t = 29,7$ мес.

Поперечный разрез первого этапа представлен на рисунке 5.7

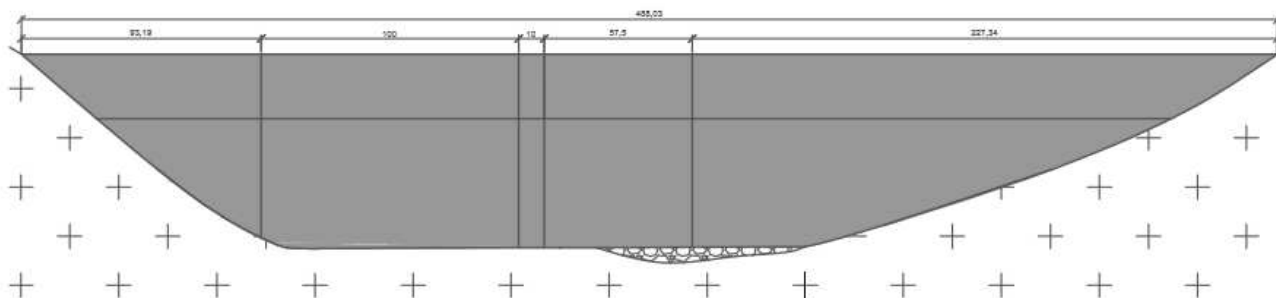


Рисунок 5.7 – Поперечный разрез плотины на пятом этапе строительства

6 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации

6.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии

Электроэнергия — физический термин, широко распространённый в технике и в быту для определения количества электрической энергии, выдаваемой генератором в электрическую сеть или получаемой из сети потребителем. Основной единицей измерения выработки и потребления электрической энергии служит киловатт-час.

Электрическая энергия является также товаром, который приобретают участники оптового рынка у генерирующих компаний, а участники розничного рынка у энергосбытовых компаний. Цена на электрическую энергию

выражается в рублях и копейках за потребленный киловатт-час (коп/кВт·ч, руб/кВт·ч).

Особенности электроэнергии:

– Электроэнергию нельзя «складировать».

– Электроэнергия это продукт, поставляемый многими производителями в общие электрические сети.

– Электроэнергия это товар первой необходимости.

Проектирование ГЭС предполагает выполнение определенных этапов, начиная от земляных работ и заканчивая установкой оборудования.

Оценка объемов представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Оценка объемов реализации электроэнергии в первые годы эксплуатации

Наименование показателя	Единица измерения	Год реализации проекта				
		2023	2024	2025	2026	2027
Установленная мощность	МВт	624	624	624	624	624
Число часов использования установленной мощности	Часы	8640	8640	8640	8640	8640
Выработка электроэнергии	МВт*ч	5391360	5391360	5391360	5391360	5391360
Расход электроэнергии на	%	2	2	2	2	2

собственные нужды						
Расход электроэнергии на собственные нужды	МВт*ч	107827,2	107827,2	107827,2	107827,2	107827,2
Объем реализации электроэнергии	МВт*ч	1092331	1191633	1191633	1191633	1191633
Тариф на электроэнергию	руб/ МВт*ч	1110	1143	1175	1206	1235
Выручка от реализации электроэнергии	млн.руб.	488,7	503,3	517,3	531,0	543,8
НДС к выручке	млн.руб	74,55	76,76	78,92	81,01	82,95

6.2 Текущие расходы по гидроузлу

Формирование текущих расходов выполнено на основании «ПАО «РусГидро» от 16.01.2017 №9 - «Единые сценарные условия ПАО «РусГидро» на 2017-2042 гг.) с учетом реализованной электроэнергии.

Единые сценарные условия предназначены для унификации исходной информации в целях обеспечения единого подхода при формировании прогнозных документов на среднесрочный и долгосрочный горизонт планирования всеми структурными подразделениями ОАО «РусГидро», дочерними и зависимыми обществами ОАО «РусГидро», дочерними и зависимыми обществами ДЗООАО «РусГидро».

Единые сценарные условия представляют собой перечень наиболее значимых показателей, а также условий и допущений, необходимых для подготовки расчетов в рамках формирования прогнозных документов на среднесрочную и долгосрочную перспективу, включая проведение расчета параметров экономической эффективности инвестиционных проектов.

Затраты, необходимые для создания продукции, называются текущими расходами, это денежные средства, необходимые для организации производственного процесса и создания продукции, работ или услуг.

Себестоимость продукции непосредственно зависит от текущих расходов предприятия, так как характеризует величину затрат, приходящихся на единицу продукции. Очевидно, что все факторы, влияющие на формирование расходов, оказывают непосредственное влияние и на себестоимость продукции.

Текущие расходы по гидроузлу включают в себя:

- амортизационные отчисления;
- расходы по страхованию имущества;
- эксплуатационные расходы;
- расходы на ремонт производственных фондов;
- расходы на услуги регулирующих организаций;

- налог на воду.

Амортизационные отчисления определяются по каждому виду актива, в соответствии с рассчитанной нормой амортизации.

Расходы по страхованию имущества принимаются в размере (от суммы восстановительной стоимости имущества объектов основных средств и объектов незавершенного строительства, определенной для целей страхования, с учетом прироста балансовой стоимости основных средств м незавершенного строительства за истекший период от даты последнего определения восстановительной стоимости): 0,08%.

Эксплуатационные расходы (оплата труда, производственные затраты, прочие расходы) по ГЭС определяются в расчете на 1 МВт установленной мощности.

Эксплуатационные расходы представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Эксплуатационные расходы гидроузла

Наименование	Ставка, тыс.руб/Мвт	Сумма, млн.руб.
Расходы на оплату труда	255,2	159,24
Прочие	274,0	170,98
Итого по ГЭС		330,22

Отчисления на ремонт основных производственных фондов определяются исходя из величины их стоимости, удельные значения расходов на ремонт в %, представлены в таблице 6.3.

Таблице 6.3 – Удельные значения расходов на ремонт

Этап проекта	Величина	%
2023-2027	0,04	
2028-2037	0,06	
2038-2041	0,08	

Рассчитываются услуги регулирующих организаций исходя из ставок в соответствии единым сценарным условиям РусГидро, результат представлен в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Расходы на услуги регулирующих организаций

Наименование	Ставка	Сумма, млн.руб.
АО «СО – ЕЭС»	135,38 тыс.руб/Мвт	84,47
АО АТС (администратор торговой системы)	0.001097 тыс.руб/Мвт*ч	6,57
АО ЦФР (центр финансовых расчетов)	0.000318 тыс.руб/Мвт*ч	1,91
Итого		92,95

Налог на воду в расчете на 1 тыс. кВт*ч в соответствии с Налоговым кодексом РФ для реки Тасеева составляет 4,8 руб.

Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2023	2024	2025	2026	2027
Амортизационные отчисления, млн.руб.	73,9	74,1	74,1	74,1	74,1
Расходы на страхование, млн.руб.	24,6	23,9	23,2	22,5	21,8
Эксплуатационные затраты, млн.руб.	330,2	330,2	330,2	330,2	330,2
Расходы на ремонт производственных фондов, млн.руб.	12,3	11,9	11,6	11,3	10,9
Расходы на услуги регулирующих компаний, млн.руб.	92,9	92,9	92,9	92,9	92,9
Налог на воду, млн.руб.	27,0	28,8	28,8	28,8	28,8
Итого, млн.руб.	561,0	561,8	560,8	559,7	558,6

Для большей наглядности текущие затраты по гидроузлу представлены в виде диаграммы (рисунок 6.2).

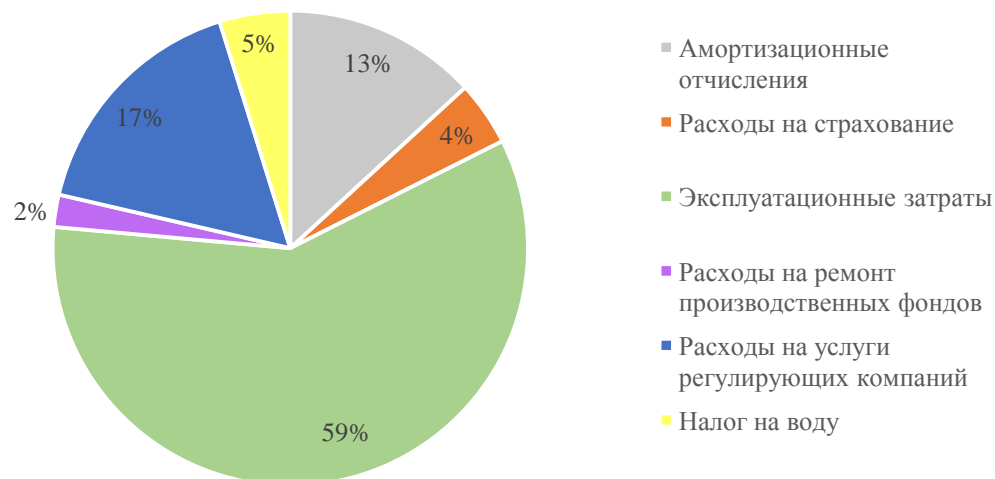


Рисунок 6.2 – Структура текущих затрат по гидроузлу, %

6.3 Налоговые расходы

Налоговые расходы представляют собой отток денежных средств после завершения строительства Тасеевской ГЭС. Значительная часть отчисляется в региональный бюджет в соответствии с Налоговым Кодексом РФ.

Учтены следующие налоги:

- Налог на прибыль – 20%;
- НДС – 18%;
- Взносы в социальные фонды – 34%;
- Налог на имущество – 1,6%
- Налог на воду на 1 тыс. кВт.ч – 4,8 руб.

Предполагаемые налоговые расходы приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Налоговые расходы

Наименование	Год реализации проекта				
	2023	2024	2025	2026	2027
Налог на прибыль, млн.руб.	1047,3	1151,1	1184,8	1217,4	1248,1
НДС, млн.руб.	980,1	1072,9	1102,9	1132,0	1159,3
Взносы в социальные фонды, млн.руб.	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
Налог на имущество, млн.руб.	59,0	53,7	50,5	48,9	47,2
Итого, млн.руб.	2097,7	2289,0	2351,3	2411,3	2467,7

6.4 Оценка суммы прибыли от реализации электроэнергии и мощности

Прибыль является конечным финансовым результатом от продажи электроэнергии генерирующей компании и в общем виде представляет разницу между ценой продукции и её себестоимостью.

Годовая прибыль первых лет эксплуатации представлена в таблице 6.7. График чистой прибыли представлен на рисунке 6.4.

Таблица 6.7 – Годовая прибыль в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2023	2024	2025	2026	2027
Выручка (нетто), млн.руб.	5793,7	5975,5	6141,5	6302,5	6453,2
Текущие расходы, млн.руб.	561,0	561,9	560,8	559,8	558,7
ЕВИТДА (Валовая прибыль), млн.руб.	5232,7	5413,7	5580,6	5742,7	5894,5
ЕВИТ(прибыль от налогообложения), млн.руб.	5232,6	5413,7	5580,6	5742,7	5894,5
Скорректированный налог на прибыль, млн.руб.	1046,5	1082,7	1116,1	1148,5	1178,9
НОРАТ (чистая прибыль), млн.руб.	4186,1	4330,9	4464,5	4594,2	4715,6
Ставка налога на прибыль, %	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

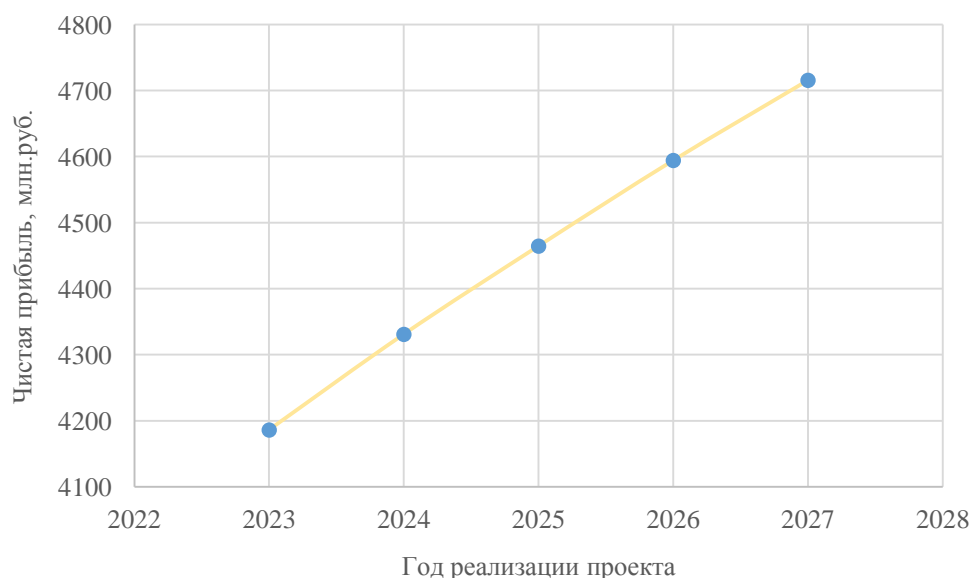


Рисунок 6.4 – Чистая прибыль, млн. руб.

6.5 Оценка инвестиционного проекта

Главной целью оценки инвестиционного проекта является определение целесообразности реализации проекта, с учетом условий Заказчика (Приложение к приказу ОАО «РусГидро» от 16.01.2017 №9 - «Единые сценарные условия ОАО «РусГидро» на 2017-2042 гг.»)

6.5.1 Методология, исходные данные

Целью оценки является определение показателей эффективности проекта, к таким показателям относятся:

1. Чистый, дисконтированный доход
2. Индекс прибыльности
3. Срок окупаемости
4. И т.д.

Расчёт показателей эффективности проекта выполняется в соответствии с:

а) «Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике», утвержденных приказом ОАО РАО «ЕЭС России» от 07.02.2000г. № 54 на основании Заключения Главгосэкспертизы России от 26.05.1999г. №24-16-1/20-113;

б) «Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии

предТЭО и ТЭО», Москва, 2008 г., утвержденными РАО «ЕЭС России» от 31.03.2008г № 155 и Главгосэкспертизой России от 26.05.99г. №24-16-1/20-113.

в) Приложение к приказу ОАО «РусГидро» от 16.01.2017 №9 - «Единые сценарные условия ОАО «РусГидро» на 2017-2042 гг.»

Расчёты проводились с использованием лицензионной версии программного продукта ProjectExpert, фирмы ExpertSystems.

Для целей оценки эффективности инвестиционного проекта принимаются следующие предпосылки:

- 1) Период прогнозирования для Тасеевской ГЭС составляет 24 года, в соответствии со сроком службы основного оборудования.
- 2) Используемая при оценке эффективности информация отражает экономическую ситуацию, сложившуюся на 1 кв. 2017 года.
- 3) Предполагается что в течении прогнозного периода не будет происходить глобальных изменений в экономической ситуации, существующих правил и законов.

6.5.1 Коммерческая эффективность

Цель проведения расчёта коммерческой эффективности проекта является расчёт показателей, которые представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Показатели эффективности реализации проекта «Тасеевская ГЭС на реке Тасеева»

Наименование	2017
Ставка дисконтирования, %	11,6
Период окупаемости - DPB, мес	81
Чистый приведенный доход – NPV, млн.руб	20321,9
Индекс прибыльности – PI, руб.	1,11
Себестоимость эл.энергии, руб/Квт*ч	0,094
Удельные капиталовложения, руб/Квт	95314,1

6.5.3 Бюджетная эффективность

Показатели бюджетной эффективности отражают влияние результатов проекта на доходную часть федерального и регионального бюджета. Доходная часть бюджетов различных уровней формируется за счёт налоговых поступлений величина которых показана в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Предполагаемые налоговые поступления в федеральный и региональные бюджеты

Наименование	2023	2024	2025	2026	2027
В федеральный бюджет, млрд.рублей	2,066	2,264	2,328	2,389	2,447
В региональный бюджет, млрд.рублей	0,059	0,054	0,052	0,050	0,049
Итого налоговых поступлений, млрд.рублей	2,125	2,318	2,380	2,439	2,496

7 Мероприятия по охране окружающей среды в зоне влияния Тасеевского ГУ. Охрана труда и противопожарная безопасность

7.1 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства

При строительстве Тасеевского ГУ выполняются следующие виды работ:

- выемка грунта и складирование его в полезную насыпь;
- отсыпка перемычек;
- подготовка площадки к строительству и ее обустройство;
- расчистка и планировка территории;
- возведение и последующий демонтаж временных зданий и сооружений;
- строительство основных сооружений;
- строительство поселка эксплуатирующего персонала.

В период строительства предусмотрены мероприятия по подготовке ложа водохранилища, а также мероприятия по минимизации воздействия на окружающую среду непосредственно от строительства.

Воздействие на окружающую среду в период строительства:

- создание водохранилища, трансформация ландшафтов, климатические изменения;
- подготовка ложа водохранилища, в том числе свodka леса и санация территории;
- выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на этапе строительства;
- образование и обращение с отходами;
- опасности и риски для населения и персонала, связанные с состоянием гидротехнических сооружений и порядком строительства и эксплуатации ГЭС;
- переселение населения из зоны затопления.

Создание водохранилища будет сопровождаться следующими процессами:

1. Формирование новых процессов водного, ледового и термического режимов;
2. Изменение процессов переноса и седиментации наносов;
3. Формирование нового гидрохимического режима и изменение качества воды Тасеевой в нижнем бьефе Тасеевского гидроузла;
4. Формирование нового гидробиологического режима и изменения биологической продуктивности водоема в связи с тем, что речной тип экосистемы изменится на озерный.

В соответствии с требованиями СП от 01.07.1985 № 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации

водохранилищ» в рамках проведения работ по санитарной подготовке ложа водохранилища необходимо выполнить следующие работы:

- очистка территории от остатков строений и мусора;
- вывоз нечистот из уборных, бытовых отходов;
- санитарная очистка территорий животноводческих объектов;
- засыпка искусственных углублений и тампонаж скважин;

Кроме того, в состав санитарных мероприятий входит очистка ложа от древесной и кустарниковой растительности.

При проектировании мероприятий по инженерной защите населенных пунктов, попадающих в зону затопления, подтопления, берегообрушения, должны быть предусмотрены:

- технические мероприятия, исключаящие затопление и подтопление оставляемых населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений, обеспечивающие нормальные условия труда и быта населения;
- технические мероприятия по дренированию естественного поверхностного стока с собственной территории инженерной защиты;

Воздействие на окружающую среду в период строительства будет связано с работой автотранспорта, проведением различных видов строительных работ.

7.2 Мероприятия по подготовке ложа водохранилища

Основные требования к проектированию, строительству и эксплуатации водохранилищ регламентируются СП от 1.07.1985 № 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ», в соответствии с которыми:

1. Разрабатываемые предпроектные материалы, проекты строительства и реконструкции водохранилищ подлежат обязательному согласованию с органами государственного санитарного надзора.

2. Мероприятия по подготовке ложа водохранилища и санитарные попуски составляются с учетом необходимых инженерных изысканий расчетов, вариантных проработок в ТЭО (ТЭР), в проектах строительства водохранилищ.

3. Работы по санитарной подготовке ложа водохранилища должны быть закончены не позднее, чем за один весенне-летний сезон до начала заполнения водохранилища.

4. Требования к переносу и инженерной защите населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений.

Создание водохранилища влечет за собой необходимость в переселении жителей из зоны затопления.

- На территории населенных пунктов, полностью или частично выносимых из зоны затопления, подлежат удалению мосты, телеграфные столбы, фундаменты и другие сооружения.

- Оставшийся строительный мусор, солома, гнилая древесина и др. сжигаются на месте.

- Металлический лом собирается и вывозится за пределы территории зоны санитарной очистки.

- Выгреба уборных после вывоза отходов дезинфицируются сухими препаратами ДТС КГ или хлорной известью и засыпаются чистым грунтом.

- Нечистоты из уборных, бытовые отбросы вывозятся за пределы территории зоны санитарной очистки.

- Очистные канализационные сооружения, свалки, поля ассенизации, орошения и фильтрации, попадающие в зону санитарной очистки, подлежат закрытию.

- Навоз, навозные стоки и мусор животноводческих объектов обеззараживаются, после чего вывозятся на сельскохозяйственные поля.

- Почва животноводческих помещений, загонов прожигается с применением горючих материалов или орошается растворами двурети основной соли гипохлорита кальция или хлорной извести, содержащей не менее 5% активного хлора, после чего слой почвы глубиной до чистого вывозится за пределы территории затопления и закапывается на территории скотомогильника на глубину не менее 2м.

Основные мероприятия по охране окружающей среды в данный период:

1 Организационные

1.1 Разработка и утверждение проектов нормативов предельно-допустимых выбросов в атмосферный воздух (ПДВ) ;

1.2 Разработка и утверждение проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР);

1.3 Разработка, согласование и утверждение нормативов допустимых сбросов (НДС) веществ и микроорганизмов в водные объекты;

1.4 Получение разрешений на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

1.5 Получение разрешений на сброс загрязняющих веществ в водные объекты;

1.6 Оформление Решения о предоставлении водного объекта в пользование в целях сброса сточных или дренажных вод;

1.7 Расчет и своевременное внесение платы за негативное воздействие на окружающую среду;

1.8 Организация и проведение производственного экологического контроля

2 Санитарно-технические

2.1 Раздельное накопление опасных отходов по видам отходов и классам опасности;

2.2 Размещение отходов на специализированных и оборудованных в соответствии с требованиями законодательства полигонах ;

2.3 Передача на использование лома черных и цветных металлов, отходов кабельной продукции;

2.4 Передача отработанных масел на обезвреживание специализированной организации;

2.5 Учет образования, использования, передачи отходов с регистрацией в журналах;

2.6 Организация контроля за соблюдением установленных нормативов ПДВ

2.7 Организация и осуществление контроля качества сточных, дренажных и природных поверхностных вод;

2.8 Соблюдение режима хозяйствования в водоохранной зоне;

2.9 Передача хозяйственно бытовых сточных вод специализированной организации на обезвреживание;

2.10 Организация стоянок автотранспорта в специально- оборудованных местах, имеющих твердое покрытие.

7.3 Отходы, образующиеся при строительстве

В связи с тем, что в период строительства будет выполняться большой объем строительно-монтажных работ, при этом будет образовываться большое количество отходов, в том числе:

7.3.1 Лом бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме

Код отходов по ФККО – 2014 **8 22 201 01 21 5**

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho, \text{ т} \quad (7.1)$$

где N - объем бетонных работ, м³

q - удельный норматив образования, %

ρ - плотность бетона, т/м³

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} = \frac{525704 \cdot 1,8}{100\%} \cdot 2,5 = 23656 \text{ т}$$

7.3.2 Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные

Код отходов по ФККО – 2014 **4 61 010 01 20 5**

Удельный норматив образования отходов принимается в соответствии с Приложением к сборнику Типовых норм потерь материальных ресурсов в

строительстве (дополнение к РДС 82-202-96) Москва, Госстрой России, 1988г., таблица 4, норма образования отходов арматуры составляет 1,0 %.

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho, \text{ т} \quad (7.2)$$

где N - количество арматуры, т

q - удельный норматив образования, %

ρ - удельный вес арматуры, т/м³

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} = \frac{114 \cdot 1,0}{100\%} \cdot 2,0 = 2,3 \text{ т}$$

Таким образом в результате строительства будет образовано 23656 т лома бетонных изделий (отходы бетона в кусковой форме), 2,3 т отходов черных металлов в виде изделий, кусков. Отходы бетона должны быть вывезены на захоронение на специализированный полигон. Отходы черного металла должны быть переданы специализированной организации, имеющей лицензию на заготовку лома черных металлов в целях дальнейшей переплавки, так как черный металл является вторичным ресурсом.

7.4 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации

В период эксплуатации Тасеевского ГУ воздействие на окружающую среду будет оказываться:

- 1) Сбросом сточных (дренажных, дождевых и талых) вод;
- 2) Выбросами в атмосферу от: периодического опробования дизель-генераторов, сварочных и окрасочных работ, проводимых в период текущих и капитальных ремонтов;
- 3) Образованием отходов при эксплуатации, техобслуживании и текущих капитальных ремонтах оборудования, производственных зданий и сооружений;
- 4) На среду обитания населения близлежащих населенных пунктов, связанные с процессом строительства и эксплуатации ГЭС и состоянием гидротехнических сооружений.

В период эксплуатации ГЭС основными мероприятиями по охране окружающей среды являются:

1. Регулирование водным режимом водотока;
2. Очистка воды, сбрасываемой в водные объекты;
3. Обеспечение условия непопадания масел и других загрязняющих веществ в водный объект;

4. При проведении ремонтов должно обеспечиваться непопадание загрязняющих веществ в водные объекты.

В связи с тем, что на расстоянии 7 км от ГЭС находится населенный пункт – Керсантьево, согласно СП от 2.2.1/2.1.11200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» требуется проведение исследований по необходимости установления санитарно-защитной зоны: исследования химических (выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от источников выбросов) и физических (шум, инфразвук, интенсивность электромагнитных полей) факторов.

Также, согласно СП от 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения питьевого назначения» требуется выполнение мероприятий по не ухудшению качества воды реки Тасеева от сбросов Тасеевской ГЭС ниже по течению реки.

Режим использования зон санитарной охраны источников (ЗСО) питьевого водоснабжения поселка Керсантьево, в пределах промплощадок объектов Тасеевской ГЭС регламентируется требованиями СанПиН 2.1.4.1110-02:

- в первом поясе ЗСО не допускается спуск любых сточных вод, в том числе сточных вод водного транспорта;

- выявление объектов загрязняющих источников водоснабжения, с разработкой конкретных водоохранных мероприятий, обеспеченных источником финансирования, подрядными организациями и согласованных с центром государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

8 Технология возведение бетонных плотин из укатанного бетона

Важнейшим преимуществом укатанных бетонов является малое тепловыделение в сооружение и за счет этого возможно увеличение блоков бетонирования. Так же, малое содержание цемента позволяет непосредственно после укладки движение по поверхности блока строительных машин и применение простых методов работ, аналогичных методам возведения грунтовых плотин. Первые успехи проявились в 1969-1977 гг. при строительстве плотин Альпа Джери и Кваира дель Миньера (Италия).

Первая большая плотина из укатанного бетона Симадзигава высотой 89 м была построена в Японии в 1981 году. Японский метод строительства плотин из укатанного бетона с самого начала и до последних лет представляет собой метод использованный на строительстве плотины Альпа-Джери с той разницей, что уплотнение бетона производят не глубинными вибраторами, а виброкатком.

В 1983 г. одна из первых гравитационных плотин из укатанного бетона – Уиллоу Крик в США высотой 52 м и объемом 333 тыс.м³ была возведена за 5,5 месяцев, причем на ее строительстве было занято всего 70 человек.

Преимущества укатанного бетона при строительстве:

- существенно сокращены сроки возведения плотин и их стоимость;
- доставка на блок любым видом транспорта, в том числе автосамосвалами, движущимися по уложенному слою укатанного бетона;
- разравнивание смеси бульдозерами;
- уплотнение смеси высокопроизводительными виброкатками.

Отличие свойств укатанного бетона от обычного вибрированного бетона тех же классов по прочности на сжатие можно характеризовать следующими данными:

- содержание вяжущего вещества меньше на 180 – 200 кг/м³;
- низкое тепловыделение и возможность бетонировать блоками больших размеров;
- пониженная плотность, на 15%;
- меньший модуль деформации;
- низкая морозостойкость;
- повышенная неоднородность;
- отчетливо выраженная слоистость с изменением значений прочности и плотности по высоте слоя;
- отсутствие заметной цементной пленки на поверхности уложенного бетона, что исключает необходимость специальной обработки ниже лежащего слоя перед укладкой следующего;
- достаточно высокие сдвиговые характеристики горизонтальных швов;

- повышенная водопроницаемость бетонной кладки по горизонтальным швам.

8.1 Виды конструкций гравитационных плотин из укатанного бетона

Конструкции гравитационных плотин из укатанного бетона различают трех типов (рисунок 8.1):

а) плотина с ядром из укатанного бетона заключённого в оболочку из традиционного вибрированного бетона;

б) плотина с ядром из укатанного бетона, с устройством противофильтрационного вертикального элемента у напорной грани в виде стенки из традиционного вибрированного бетона, толщина которой зависит от напора. Низовая грань может быть защищена сборными железобетонными элементами, или тем же укатанным бетоном;

в) плотина с ядром из укатанного бетона и противофильтрационным элементом из обогащённого цементом укатанного бетона;

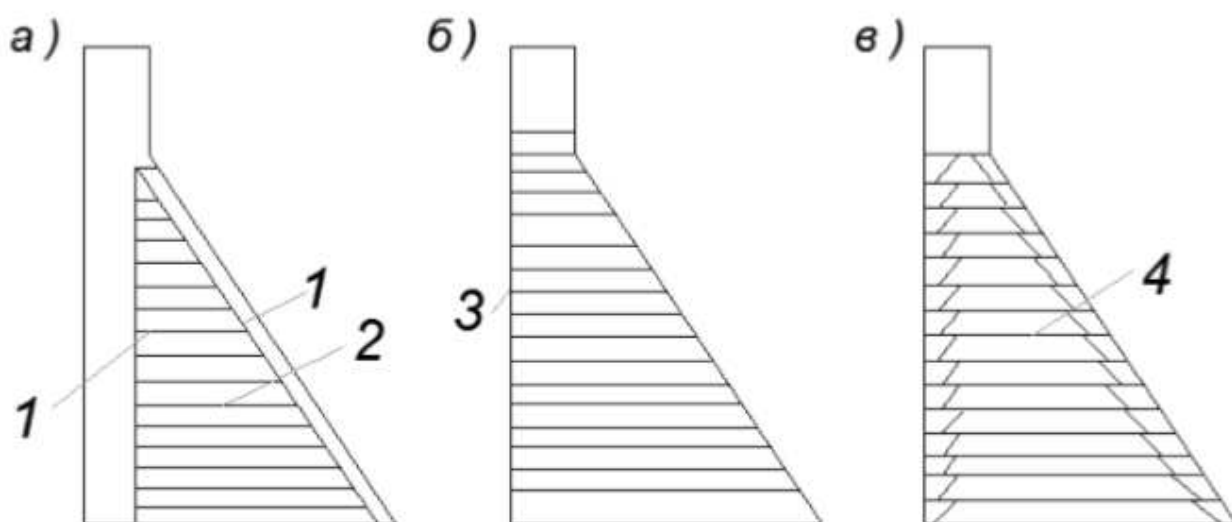


Рисунок 8.1 – Варианты зонального распределения бетона в плотинах из укатанного бетона:

1- наружная зона из вибрированного бетона; 2 – внутренняя зона из укатанного бетона; 3 – противофильтрационный элемент; 4 – зоны укатанного бетона с различными свойствами

8.2 Технология возведения на основе плотины гидроузла Бени Харун (Алжир)

Бени Харун плотина высотой 118 м, длиной по гребню 714 м, объемом укатанного бетона 1,6 млн. м³, при общем объеме 1,9 млн. м³, построена в Алжире в 2000 г. Строительство плотины производила фирма Драгадос (Испания). Работы по возведению плотины были закончены в рекордно

короткие сроки за 16 месяцев. Среднемесячная интенсивность укладки укатанного бетона достигала 104 тыс. м³, максимальная – 175 тыс. м³. Плотина Бени Харун имеет вертикальную напорную и ступенчатую низовую грань с заложением 0,8 и высотой ступеней 1,2 м. По верховой грани плотины уложен слой вибрированного бетона шириной по 1 м. Водосливная грань плотины облицована слоем железобетона толщиной 2 м. Водослив разбит на 6 пролетов шириной по 19 м и рассчитан на пропуск расхода 13230 м³/с при напоре 14,8 м с отбросом струи. Редким решением является включение в профиль этой плотины верховой перемычки высотой 35 м и объемом укатанного бетона 220 тыс. м³ для ускорения строительства всей плотины. Плотина представлена на рисунке 8.2.

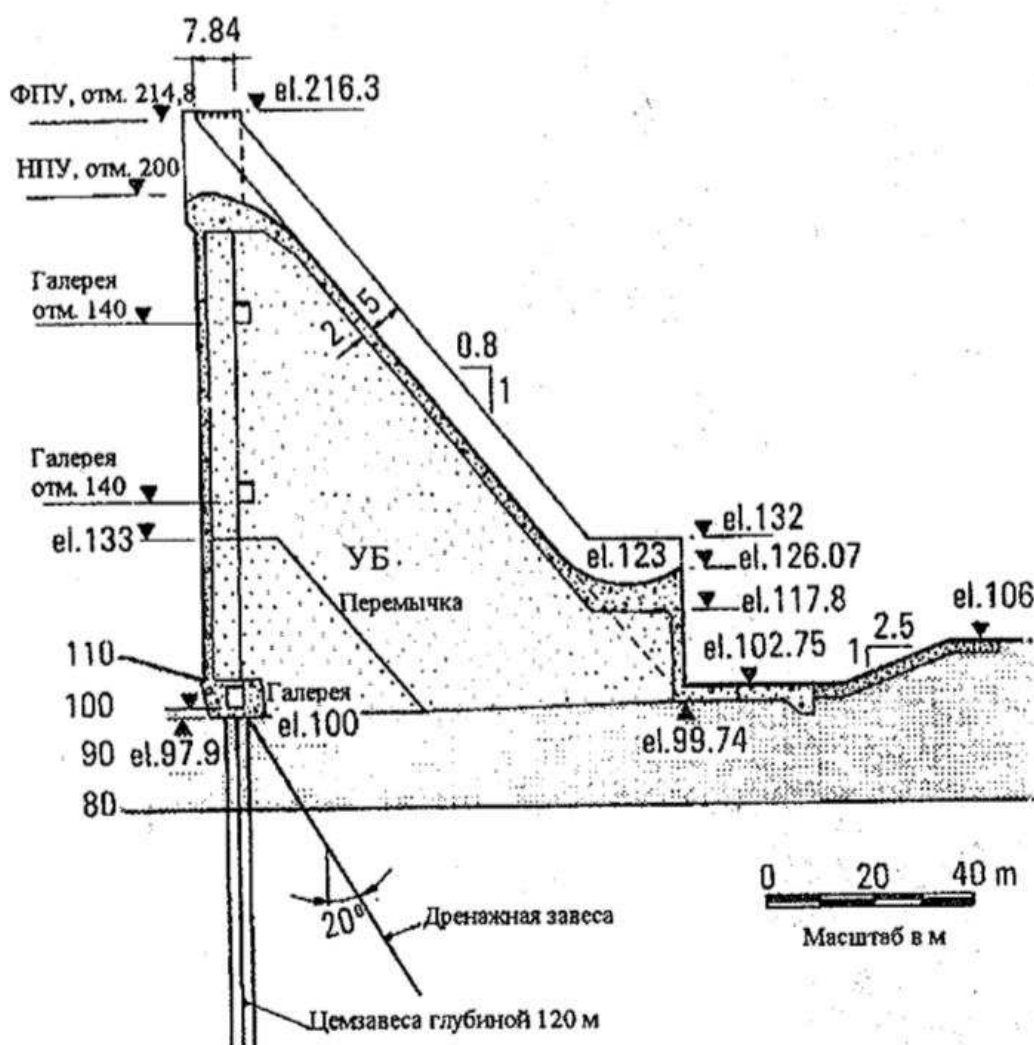


Рисунок 8.2 – Плотина Бени Харун (Алжир)

Подача смеси от бетонного завода на плотину производилась с помощью пяти конвейеров с интенсивностью 500 м³/ч с перегрузкой смеси в самонаращиваемый телескопический поворотный кран со стрелой – конвейером, который представлен на рисунке 8.3. Смесь разгружалась в автосамосвалы и развозилась по блокам укатанного бетона (рисунок 8.4).

Технология укладки укатанного бетона была отработана в процессе его укладки в опытную насыпь в самое жаркое время, когда средняя температура воздуха составляла 28°C, а максимальная – 43°C. В укатках состав укатанного бетона не менялся за исключением добавки в укатанный бетон замедлителей схватывания с тем, чтобы свести к минимуму влияние состава укатанного бетона на его свойства и технологию укладки.

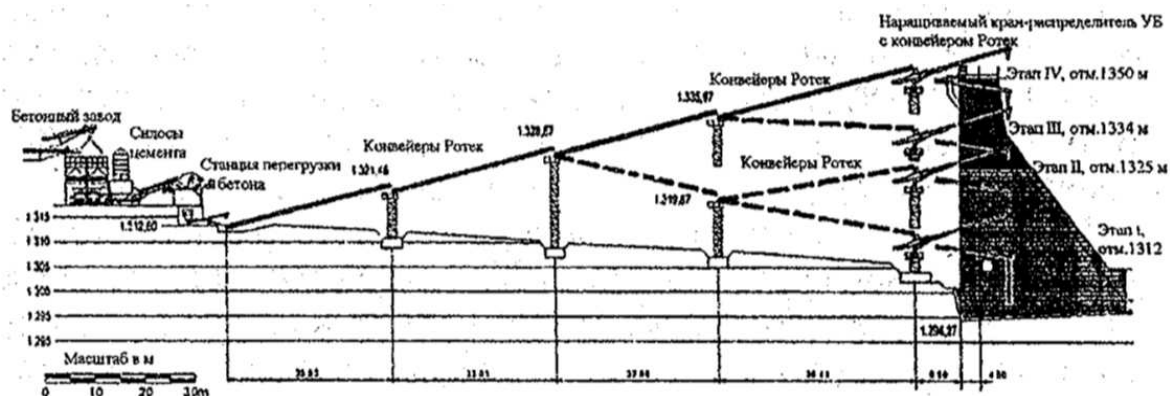


Рисунок 8.3 – Транспортировка укатанного бетона конвейерами на плотину

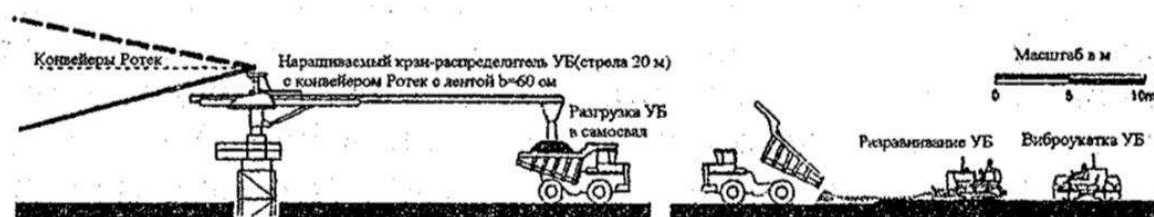


Рисунок 8.4 – Распределение укатанного бетона в блоке краном и укатка

Установлено, что предельное время перекрытия швов для каждого месяца зависит от способа их обработки. Так при очистки поверхности шва с помощью пылесосных машин время его перекрытия зимой может достигать 23 часа, летом – 16 часов. Максимальная температура укладки укатанного бетона принята равной 20°C из условия разрезки плотины на 36 секций швами с шагом 20 м. Из – за высокой скорости подачи смеси конвейерами её температура после выдачи с бетонного завода (18,5°C) не повышалась в блоке более чем на 1,0°C. На заводе смесь охлаждалась в смесителях с помощью льда.

В проекте с учетом сейсмичности района строительства (8 баллов) минимальная прочность укатанного бетона на растяжение принята равной 0,8 МПа в возрасте 90 дней, что соответствовало прочности на сжатие 18 МПа. Испытания цилиндрических образцов укатанного бетона показали, что фактическая эта прочность была намного выше расчетной.

8.3 Сравнение сроков строительства плотин из укатанного и вибрированного бетона

Мировой рекорд по крупнейшему объему укатанного бетона, уложенного за 24 ч, принадлежит плотине Тха Дан, и равен 13280 куб. м.

Плотина Лонтань также установила мировой рекорд, но уже по максимально быстрой укладке укатанного бетона, 18476 куб. м. в сутки, 400754 куб. м. в месяц.

Сравнение сроков строительства представлено на рисунке 8.5.

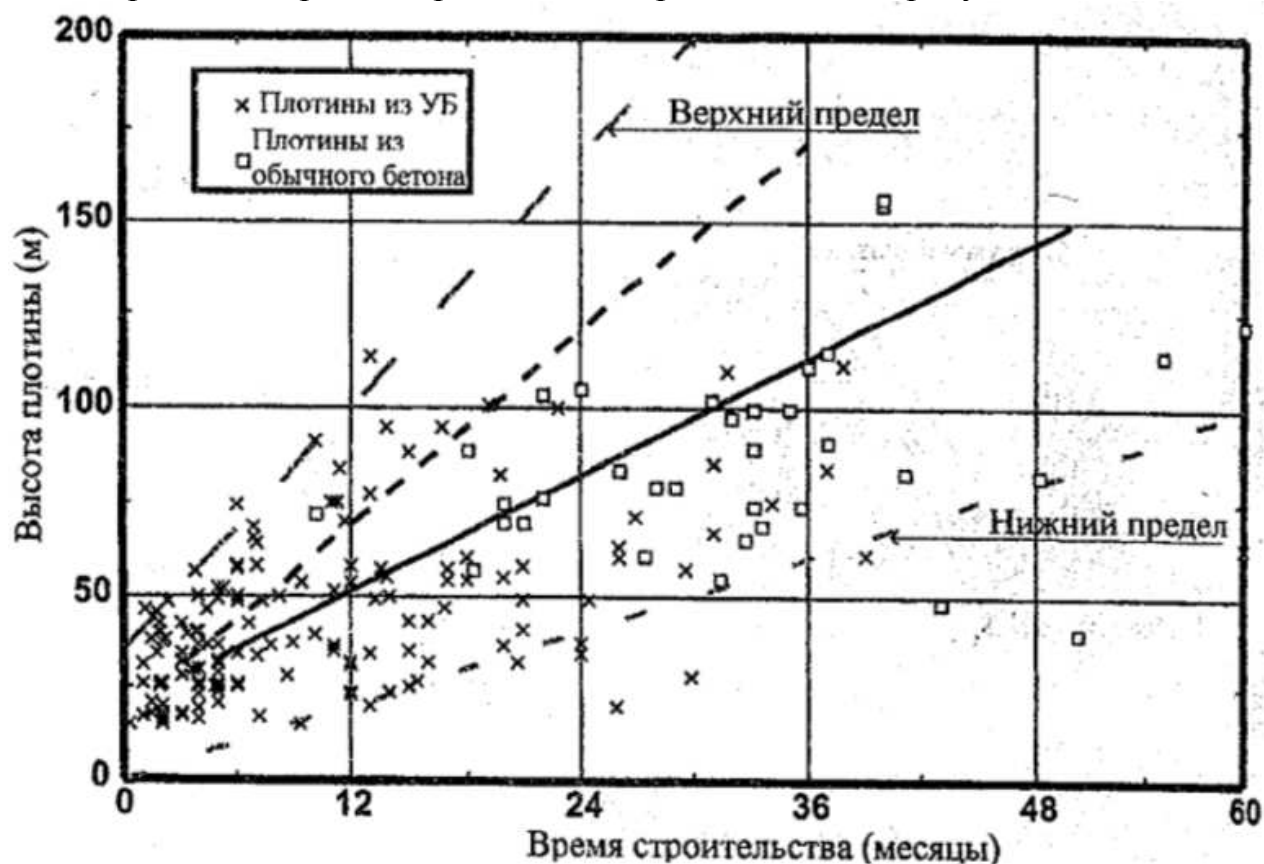


Рисунок 8.5 – Сроки строительства плотин из укатанного и вибрированного бетона.

Исходя из рисунка 8.5 видно, что строительство плотин из укатанного бетона наиболее выгодно, во-первых из-за низкого содержания цемента и низкого тепловыделения, во-вторых быстрые сроки возведения плотин.

8.4 Новый тип плотин из укатанного бетона

Применения укатанного бетона повлек за собой новые конструктивные особенности, связанные с технологией применяемого вида укатанного бетона и иных причин конструктивного и технологического характера, такие как добавление грунтовой смеси с добавкой цемента. Появился так называемый

«особо тощий укатанный бетон», который открыл новую концепцию конструкций гравитационных плотин – профиль трапециевидного симметричного очертания. Данный тип конструкции с точки зрения устойчивости не уступает предыдущим традиционным типам с вертикальной верховой гранью, намного уменьшает требования по прочностным характеристикам материала плотины, имеет пониженные напряжения в теле плотины и в основании и их можно строить на слабых полускальных основаниях, где нецелесообразно строительство традиционных гравитационных плотин.

8.5 Общий вывод о строительстве плотин из укатанного бетона

Укатанный бетон является новым типом особо жёсткого малоцементного бетона с большим технологическими достоинствами и широким физико – механическими свойствами, зависящими не только от его свойств, но и от технологии его укладки. Массовое строительство плотин из укатанного бетона обусловлено тем, что данное решение предоставляет возможность укладки бетонной смеси с большими темпами. В силу его высокой ранней прочности движение строительной техники осуществляется непосредственно после укладки бетона.

Внедрение плотин из укатанного бетона в практику строительства в России связано с необходимостью преодоления серьезных осложнений, обусловленных длительными периодами низких зимних температур. Переход на сезонную укладку укатанного бетона во внутреннюю зону плотины и зимнюю укладку столбов обычного бетона в наружные зоны приводит к созданию составного профиля плотины, в котором применение двух разных технологий укладки разных бетонов препятствует существенному ускорению и удешевлению строительства.

В связи с этим образуются недостатки возведения плотин из укатанного бетона в России:

- низкая однородность по прочности и высокая водонепроницаемость;
- высокие затраты ручного труда при подготовке основания перед укладкой;
- невозможность ведения работ в зимнее время;
- необходимость иметь на сооружении две технологии – укатанного и вибрированного бетона;
- необходимость специального проектирования сооружения под технологию укатанного бетона;
- сложность организации водонепроницаемости сооружения;
- защиты бетона от морозов и других климатических воздействий.

Основные преимущества:

- низкий расход цемента и, соответственно, низкое тепловыделение, что позволяет вести укладку большими блоками;

- высокий темп укладки за счёт механизации работ.

Более подробно преимущества и недостатки можно увидеть сравнив таблицы 8.3 – 8.6.

Таблица 8.3 – Самые быстро завершенные плотины из укатанного бетона

Плотина	Страна	Н, м	Объем УБ, м ³	Время кладки, месяцы	Объем в месяц, м ³	
					Средняя	Пиковая
Лонгтан	Китай	217	4623	32,4	142758	400755
Аппер Стиллиуотер	США	91	1125	9	125324	204430
Оливенхейн	США	97	1070	8,8	121895	224675
Бейдаг	Турция	96	2350	20,9	112566	165000
Бени Гарун	Алжир	118	1690	16,4	102860	175000
Таум Саук	США	49	2448	25,7	95253	189470
Сон Ла	Вьетнам	139	2677	31,5	84984	200075
Ваитарна	Индия	103	1217	15,8	77300	134125
Ралко	Чили	155	1596	20,9	76449	147600
Ал Вехдах	Иордания/Сирия	94	1426	19	75172	123860
Иёва	Мьянма	134	2473	34,3	72247	147320

Таблица 8.4 – Характеристики плотин из укатанного бетона в ведущих странах, по строительству плотин из укатанного бетона

Страна	Число плотин	Высота, м Средняя - максимальная	Объем укатанного бетона, м ³ · 10 ³ Средний - максимальный	Объем бетона м ³ · 10 ³ Средний - максимальный	Содержание укатанного бетона, % Среднее - максимальное
Китай	107	75 – 217	380 – 4600	580 – 6700	65 – 67
Бразилия	40	42 – 100	220 – 945	250 – 1440	82 – 95
Япония	48	87 – 156	375 – 1537	593 – 2000	63 – 77
США	39	36 – 94	160 – 1125	180 – 1280	90 – 92
Испания	24	52 – 120	150 – 1050	170 – 1200	87 – 90

Таблица 8.5 – Содержание вяжущих материалов в укатанном бетоне

Страна	Число плотин	Расход цемента, кг/м ³ Средний - максимальный	Расход пуццолана, кг/м ³ Средний - максимальный	Общий расход вяжущих, кг/м ³ Средний - максимальный
Китай	107	79 – 140	94 – 140	173 – 230
Бразилия	40	70 – 80	15 – 50	85 – 100
Япония	48	87 – 96	35 – 78	122 – 130
США	39	85 – 184	53 – 173	138 – 252
Испания	24	75 – 88	133 – 170	208 – 270

Таблица 8.6 – Десять самых высоких гравитационных плотин из укатанного бетона

Плотина	Страна	Высота, м	Объем, м ³ · 10 ³		Содержание вяжущих, кг/м ³	
			Укатанный бетон	Общий	Цемент	Пуццолана
Лонгган	Китай	217	4952	7458	99	121
Гуанчжоу	Китай	201	820	2870	61	91
Майл 1	Колумбия	188	1669	1730	85 - 160	0
Уравама	Япония	156	1294	1860	91	39
Миягази	Япония	156	1537	2001	91	39
Джинангиао	Китай	156	2400	3920	72	108
Ралко	Чили	155	1596	1640	133	57
Такизава	Япония	140	810	1800	84	36
Сон Ла	Вьетнам	139	2677	4800	60	160
Сайне	Турция	137	1560	165	85	105

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На первом этапе на основе гидрологических данных, были рассчитаны гидрографы маловодного и средневодного года, построены кривые обеспеченности.

На втором этапе в ходе водно-энергетических расчетов по энергосистеме и гидрологии была рассчитана установленная мощность Тасеевской ГЭС, а также определена зона ее работы в суточных графиках нагрузки для зимы и лета. Установленная мощность составила $N_{уст}^{ГЭС} = 624$ МВт. Тасеевская ГЭС будет работать в базовой части графика. Определены отметки УМО = 151,10 и НПУ = 170,00. Полезный объем при данных отметках равен 7,6 км³. Произведена оценка среднемноголетней выработки электроэнергии, которая составила 3,2 млрд. кВт·ч.

В дальнейшем был выбран оптимальный вариант с четырьмя гидроагрегатами с радиально-осевыми турбинами с диаметром рабочих колес 6,00 м (РО-75-В-600).

По справочным данным для выбранной радиально-осевой турбины с синхронной частотой вращения 115,4 об/мин был подобран серийный гидрогенератор СВ-1130/140-48 с номинальной активной мощностью 152,8 МВт.

Сооружения гидроузла относятся к наивысшему классу. В результате проектирования была рассчитана водосливная плотина и её элементы, устройства подземного контура. Ширина водосливно-го фронта плотины 57,5 м с 4 водосливными отверстиями и напором на водосливе 12 м. Высота водосбросной плотины 65 м и ширина 54 м по основанию. Заложение низовой грани 0,7. Плотина способна пропустить расход воды до 4640 м³/с.

В качестве гасителя энергии был выбран способ гашения свободно отброшенной струи, исходя из скальных грунтов основания, высоты плотины более 40 м и коэффициента створности, который должен быть больше 3. В результате расчета получилось расстояние от плотины до центра ямы размыва 161 м и яма глубиной 26,29 м.

Для обеспечения монолитности бетона секций плотины устраиваются швы (межсекционные и межстолбчатые). Длина каждой секций равна 13,5 м. В результате разрезки межстолбчатыми швами получилось 3 столба по 18 м. При проектировании были приняты 2 смотровых галереи на отметках 120,00 и 145,00, а так же цементационная и дренажная галереи на отметке 95,00. Эти галереи необходимы для осмотра и ремонта сооружения, чистки дренажа. Также спроектирован дренаж в теле плотины, необходимый для сбора воды из галерей и её сброса в нижний бьеф через дренажную скважину. Для безопасной работы здания ГЭС предусмотрен разделительный устой выдвинутый в нижний бьеф на 49,5 м. На гребне предусмотрена дорога II

класса шириной 6 м и козловой кран грузоподъемностью 80 т для подъема аварийного и рабочего затворов.

Подземный контур состоит из цементационной завесы и дренажа. Глубина цементационной завесы равна 37,1 м. Глубина дренажной скважины равна 18,6 м.

В результате проверки критериев прочности плотина отвечает необходимым условиям надежности для I класса сооружений.

Условие устойчивости плотины на сдвиг выполняется с запасом: с коэффициентом надежности равным 1,36 для основного и 1,43 для особого сочетания нагрузок. Сооружение удовлетворяет требованиям прочности и устойчивости.

Экономическая оценка показала, что проект «Тасеевская ГЭС на реке Тасеева», с установленной мощностью 624 МВт экономически оправдан.

Проект окупится еще до его окончания, так как срок проекта составляет 300 месяца (25 лет), а период окупаемости - 81 месяцев (6,75 лет).

Себестоимость электроэнергии составляет 0,094 руб/кВт·ч. Удельные капиталовложения 95314,1 руб/кВт.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). / Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2004. – 46 с.
- 2) СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений – Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85 – введ. 20.05.2011. – Москва: ОАО, ВНИИГ им. Веденева.
- 3) СП 33-101-2003. Определение расчетных гидрологических характеристик – от 26.12.2003. взамен СНиП 2.01.14-83-ГГИ Росгидромета.
- 4) СНиП 2.06.06-85 Плотины бетонные и железобетонные./Минэнерго СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1985. – 50с.
- 5) СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений/ Минэнерго СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1987. – 32с.
- 6) СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения./Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2003. – 40 с.
- 7) ОСТ 17330282.27.140.018-2008 Гидротурбинные установки. Условия поставки. Конструктивные схемы. Введен в действие от 09.04.85-Москва: Министерство энергетического машиностроения 1985 г.
- 8) СП 40.13330.2012 Плотины бетонные и железобетонные – Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85 - Москва: ОАО “ВНИИГ им. Б.Е. Веденева.”.
- 9) СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на ГТС – Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82 - Москва: ОАО “ВНИИГ им. Б.Е. Веденева.”.
- 10) «Единые сценарные условия ОАО «РусГидро» на 2017 - 2042 гг. (приказ ОАО «РусГидро» от 16.01.2017 г. №62)
- 11) ОСТ 108.023.06.-84 Турбины гидравлические вертикальные радиально-осевые. Конструктивные схемы. введен в действие от 09.04.85 – Москва: ОАО ВНИИГ им. Веденева.
- 12) СТО 59012820.27.010.001-2013 СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
- 13) Киселёв П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам: справочник/Киселёв П.Г. – Москва: Энергия 1972 347с.
- 14) «Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО», Москва, 2008 г., утвержденными РАО «ЕЭС России» от 31.03.2008г № 155 и Главгосэкспертизой России от 26.05.99г. №24-16-1/20-113.
- 15) Единые сценарные условия ОАО «РусГидро» на 2012-2037 гг.
- 16) Часть вторая Налогового кодекса Российской Федерации от 5 августа 2000 г. N 117-ФЗ // Текст части второй Налогового кодекса

опубликован в "Российской газете" от 10 августа 2000 г. N 153-154.

17) Александровский, А.Ю. Выбор параметров ГЭС: учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию гидротехнических объектов/ А.Ю. Александровский, Е.Ю.Затева, Б.И.Силаев. – Саяногорск: СШФ КГТУ, 2005. - 174 с.

18) Мосин, К.Ю. Гидрология: Методические указания к практическим занятиям/ сост.– Саяногорск: СШФ КГТУ, 2006. – 53 с.

19) Федеральный закон РФ «Об отходах производства и потребления»(№ 89-ФЗ от 24.06.1998 г).

20) «Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике», утвержденных приказом ПАО РАО «ЕЭС России» от 07.02.2000г. № 54 на основании Заключения Главгосэкспертизы России от 26.05.1999г. №24-16-1/20-113;

21) Использование водной энергии. Под ред. Д.С. Щавелева. Учебное пособие для вузов. Л., «Энергия», 1976. 656с. с ил.

22) Судаков В.Б., Толкачев Л.А.: Современные методы бетонирования высоких плотин. Энергоатомиздат, 1988 г.

23) Ляпичев Ю.П: Проектирование и строительство современных высоких плотин: Учебное пособие. Изд-во РУДН, 2004. 275 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Водно-энергетический расчет

Таблица А.1 – Водно-энергетический расчет маловодного года

Месяц	Q, м ³ /с					Q _{ВХК} <Q _{Нб}	Q _{гэс}	V _{вдхщ} , км ³			Z _{вб} , м			Z _{нб} , м	H, м	N, МВт	N _{гар} , МВт
	Q _{бытпол}	Q _{холсбр}	Q _{фильтр}	Q _{вдхщ}	Q _{вхк}	Q _{нб}		нач	dV	кон	нач	кон	средн				
10	360	0	2	90	452	452	450	19,17	0,23	18,94	170,00	168,87	169,43	96,95	71,79	292	ПО ВХК
11	169	0	2	253	226	424	422	18,94	0,66	18,28	168,87	166,16	167,51	96,83	69,98	267	267
12	146	0	2	843	226	991	989	18,28	2,19	16,10	166,16	160,28	163,22	99,05	63,46	567	567
1	114	0	2	974	226	1090	1088	16,10	2,52	13,57	160,28	155,30	157,79	99,43	57,67	567	567
2	82	0	2	444	226	528	526	13,57	1,15	12,42	155,30	152,90	154,10	97,26	56,15	267	267
3	79	0	2	145	226	226	224	12,42	0,38	12,04	152,90	152,07	152,49	95,99	55,79	113	ПО ВХК
4	287	0	2	163	452	452	450	12,04	0,42	11,62	152,07	151,11	151,59	96,57	54,32	221	ПО ВХК
5	1725	0	2	-1275	452	452	450	11,6221	-3,30	14,93	151,11	157,95	154,53	96,57	57,26	233	ПО ВХК
6	1128	0	2	-678	452	452	450	14,93	-1,76	16,68	157,95	161,57	159,76	96,57	62,49	254	ПО ВХК
7	945	0	2	-495	452	452	450	16,68	-1,28	17,97	161,57	165,07	163,32	96,57	66,05	268	ПО ВХК
8	726	0	2	-276	452	452	450	17,97	-0,72	18,68	165,07	167,74	166,41	96,57	69,14	281	ПО ВХК
9	638	0	2	-188	452	452	450	18,68	-0,49	19,17	167,74	170,00	168,87	96,57	71,60	291	ПО ВХК

Таблица А.2 – Водно-энергетический расчет средневодного года

Месяц	Q, м ³ /с					Q _{ВХК} <Q _{Нб}	Q _{гэс}	V _{вдхщ} , км ³			Z _{вб} , м			Z _{нб} , м	H, м	N, МВт	N _{гар} , МВт
	Q _{бытпол}	Q _{холсбр}	Q _{фильтр}	Q _{вдхщ}	Q _{вхк}	Q _{нб}		нач	dV	кон	нач	кон	средн				
10	383	0	2	67	452	452	450	19,17	0,17	19,00	170,00	169,15	169,57	96,95	71,93	293	ПО ВХК
11	210	0	2	210	226	422	420	19,00	0,54	18,45	169,15	166,81	167,98	96,82	70,45	267	267
12	203	0	2	775	226	980	978	18,45	2,01	16,44	166,81	161,02	163,91	99,01	64,20	567	567
1	160	0	2	912	226	1074	1072	16,44	2,36	14,08	161,02	156,31	158,67	99,37	58,60	567	567
2	115	0	2	400	226	517	515	14,08	1,04	13,04	156,31	154,22	155,27	97,21	57,36	267	267
3	114	0	2	110	226	226	224	13,04	0,29	12,76	154,22	153,6	153,9	95,99	57,23	116	ПО ВХК

											2	3	2				
4	443	0	2	438	452	883	881	12,76	1,14	11,62	153,6 3	151,1 1	152,3 7	97,97	53,70	427	ПО ВХК
5	2311	0	2	-1191	452	1122	1120	11,62	-3,09	14,71	151,1 1	157,5 3	154,3 2	98,70	54,92	555	ПО ВХК
6	1536	0	2	-790	452	748	746	14,71	-2,05	16,76	157,5 3	161,7 4	159,6 3	97,54	61,40	414	ПО ВХК
7	1037	0	2	-470	452	569	567	16,76	-1,22	17,98	161,7 4	165,1 0	163,4 2	96,96	65,76	337	ПО ВХК
8	851	0	2	-208	452	645	643	17,98	-0,54	18,51	165,1 0	167,0 5	166,0 8	97,21	68,17	396	ПО ВХК
9	680	0	2	-253	452	429	427	18,51	-0,66	19,17	167,0 5	170,0 0	168,5 3	96,49	71,33	275	ПО ВХК

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Данные режимного поля

Таблица Б.1 – Данные для построения режимного поля

Qнб	Zнб(лето)	Zнб(зима)	Hнпу	Hумо	Hзвб ₁	H	Q	H	Q
м ³ /с	м	м	м	м	м	м	м ³ /с	м	м ³ /с
0	95,00	95,00	74,50	55,6	62,3	72,3	1017	58,3	1261
100	95,36	95,45	74,14	55,2	61,9	71,3	1031	57,3	1250
200	95,72	95,89	73,78	54,9	61,6	70,3	1045	55,8	1233
300	96,06	96,32	73,44	54,5	61,2	69,3	1061	54,3	1217
400	96,40	96,74	73,10	54,2	60,9	68,3	1076	52,8	1200
500	96,74	97,15	72,76	53,9	60,6	67,3	1092	51,3	1183
600	97,06	97,55	72,44	53,5	60,2	66,3	1109	49,8	1165
700	97,39	97,94	72,11	53,2	59,9	65,3	1125	48,3	1147
800	97,70	98,33	71,80	52,9	59,6	64,3	1143	46,8	1129
900	98,02	98,71	71,48	52,6	59,3	63,3	1161	45,3	1111
1000	98,33	99,09	71,17	52,3	59,0	62,3	1180	43,8	1093

1100	98,63	99,46	70,87	52,0	58,7	61,3	1199	42,3	1074
1200	98,94	99,83	70,56	51,7	58,4	60,3	1219	40,8	1055
1300	99,24	100,20	70,26	51,4	58,1	59,3	1239	39,3	1035
1400	99,54	100,57	69,96	51,1	57,8	58,3	1261	37,8	1015

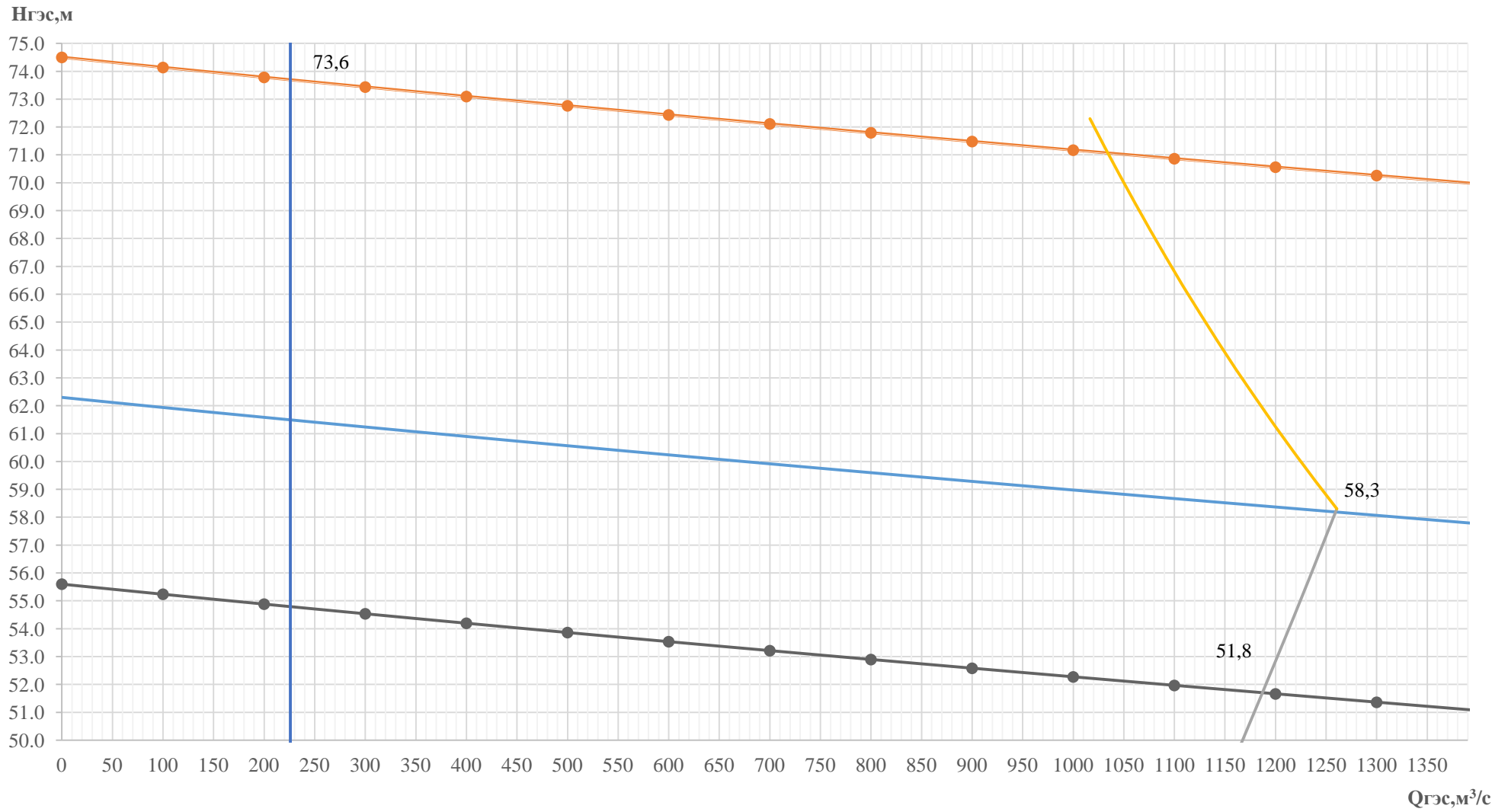


Рисунок Б.1 – Режимное поле

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Баланс мощностей

Таблица В.1 – Данные для построения баланса мощностей

месяцы	Нагрузка системы			Существующая ГЭС				Проектируемая ГЭС				ГЭС			
	P	P _{ар}	P _{нр}	N _{раб}	N _{ар}	N _{нр}	N _{рем}	N _{раб}	N _{ар}	N _{нр}	N _{рем}	N _{раб}	N _{ар}	N _{нр}	N _{рем}
I	8643	691	173	2310	185	46		567	45	11		5820	466	116	
II	8309	665	166	2310	185	46		267	21	5		5732	459	115	
III	7731	618	155	2310	185	46	329	147	12	3		5274	422	105	
IV	7064	565	141	1890	151	38		198	16	4		4976	398	100	430
V	6485	519	130	1890	151	38		205	16	4		4390	351	88	680
VI	6152	492	123	1890	151	38		202	16	4		4060	325	81	1030
VII	6152	492	123	1890	151	38		205	16	4		4057	325	81	1030
VIII	6485	519	130	1890	151	38		218	17	4		4377	350	88	670
IX	7063	565	141	1890	151	38		188	15	4		4985	399	100	540
X	7731	618	155	1890	151	38		231	18	5	100	5610	449	112	
XI	8309	665	166	2310	185	46		267	21	5	50	5732	459	115	
XII	8643	691	173	2310	185	46		567	45	11		5820	466	116	

N, МВт

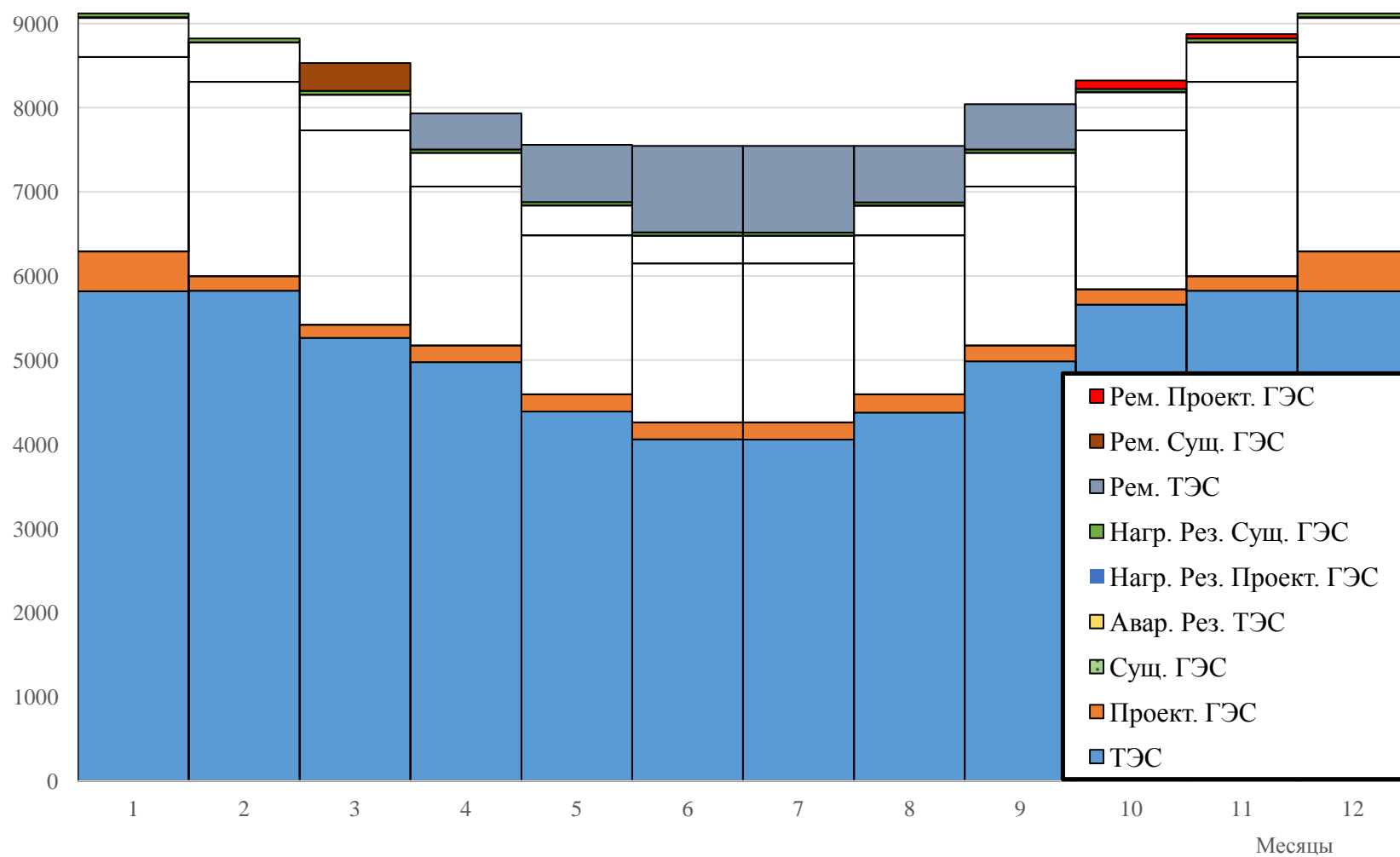


Рисунок В.1 – Баланс мощностей

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Рабочая зона РО75-В-600

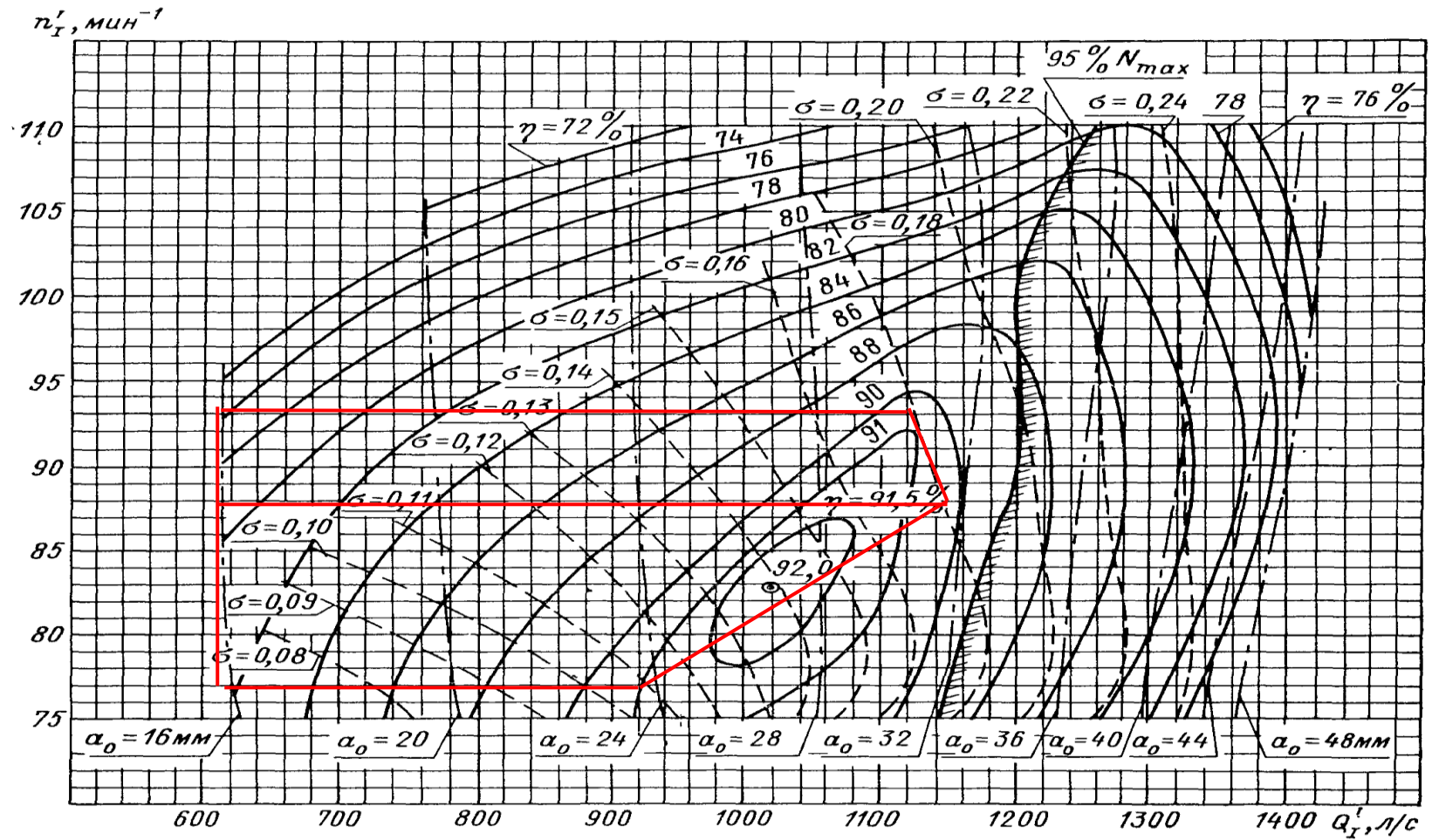


Рисунок Г.1 – Рабочая зона РО75-В-600

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
ГУХ турбины РО75-В

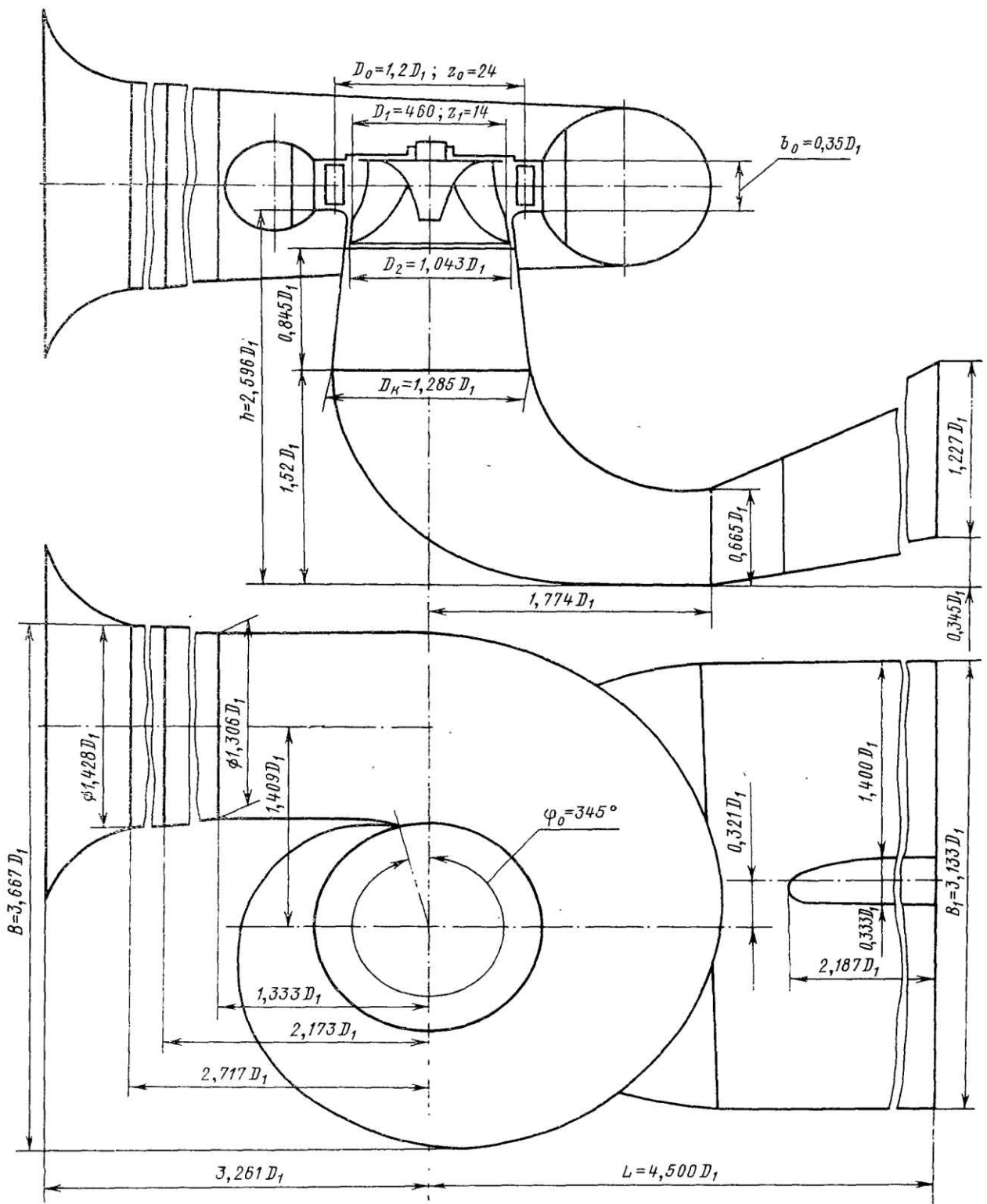


Рисунок Д.1 – ГУХ турбины РО75-В

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица Рыбкина - Алексеева

Таблица Е.1 – Рыбкина – Алексеева

p%	0,01	0,1	0,5	1	3	5	10	20	50	75	95	97	99	99,9
фи	4,38	3,52	2,86	2,53	2,00	1,72	1,31	0,82	-0,05	-0,70	-1,55	-1,75	-2,10	-2,67
Ms	1,261	1,014	0,824	0,729	0,576	0,495	0,377	0,236	-0,014	-0,202	-0,446	-0,504	-0,605	-0,769
Ks	2,261	2,014	1,824	1,729	1,576	1,495	1,377	1,236	0,986	0,798	0,554	0,496	0,395	0,231
Q	4640	4132	3742	3547	3234	3068	2826	2536	2022	1638	1136	1018	811	474

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

График для определения элементов ветровых волн

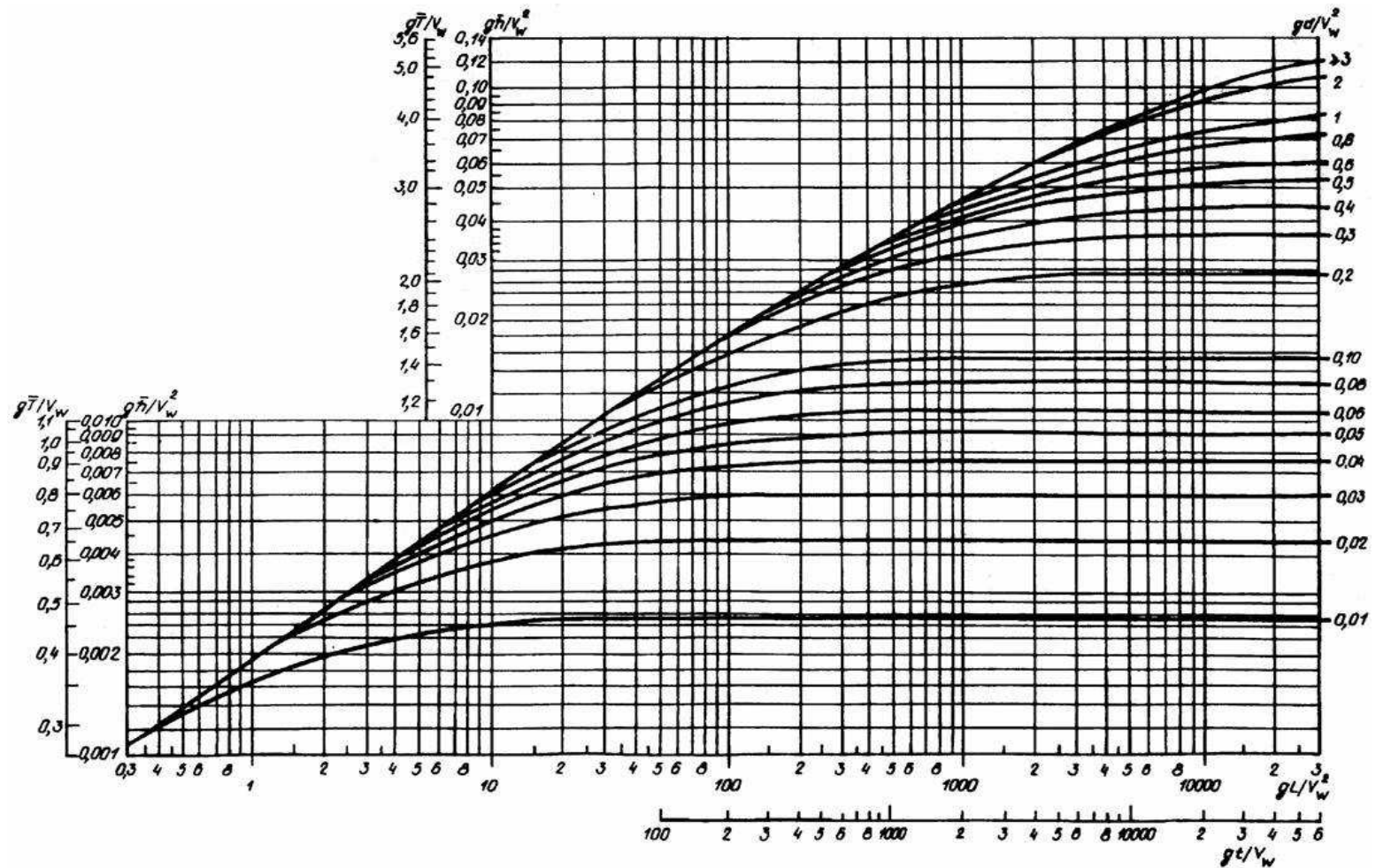


Рисунок Ж.1 – Графики для определения элементов ветровых волн в глубоководной и мелководной зонах

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Нагрузки и воздействия при основном сочетании

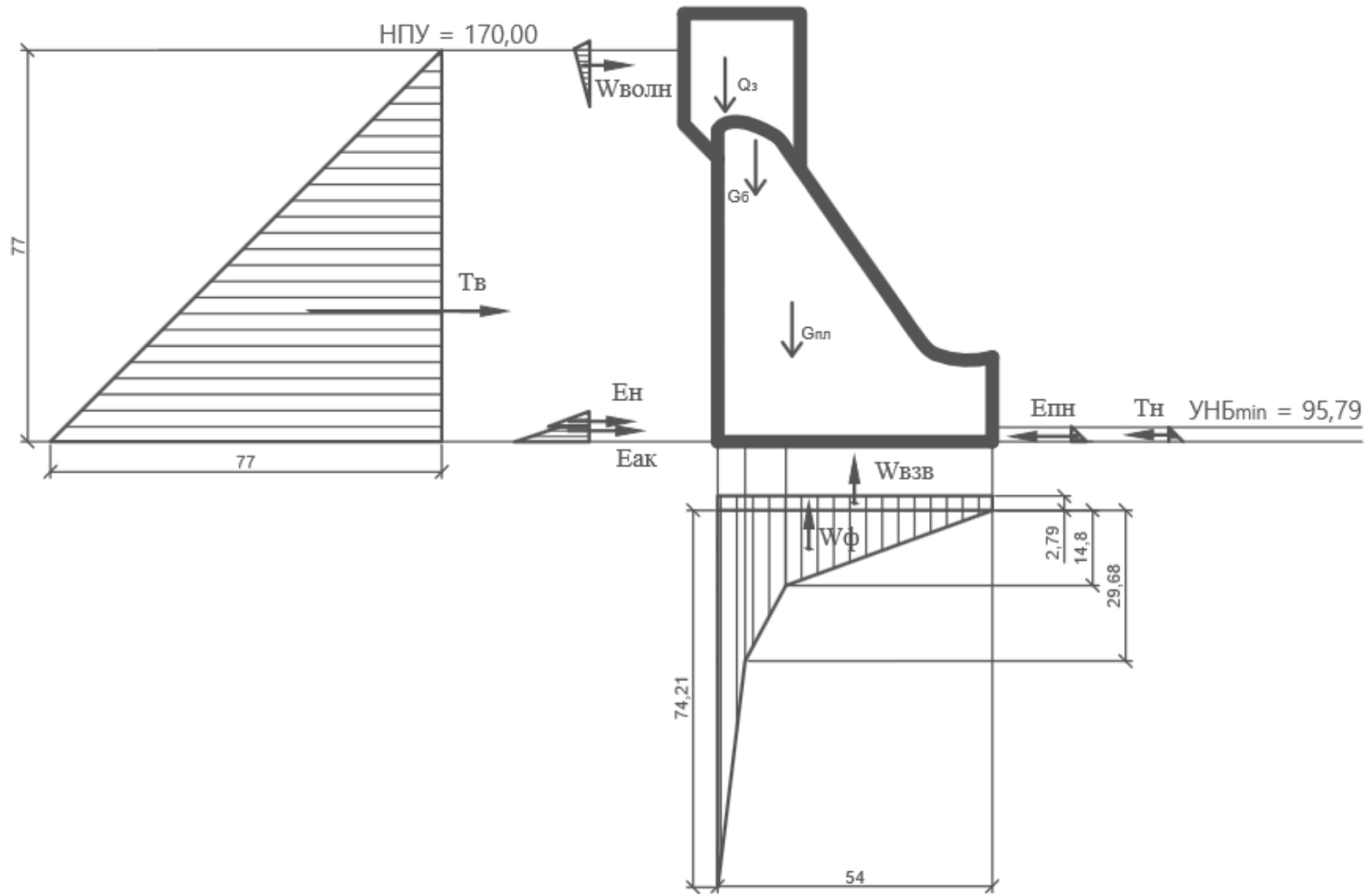


Рисунок И.1 – Нагрузки и воздействия действующие на плотину при основном сочетании

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Нагрузки и воздействия при особом сочетании

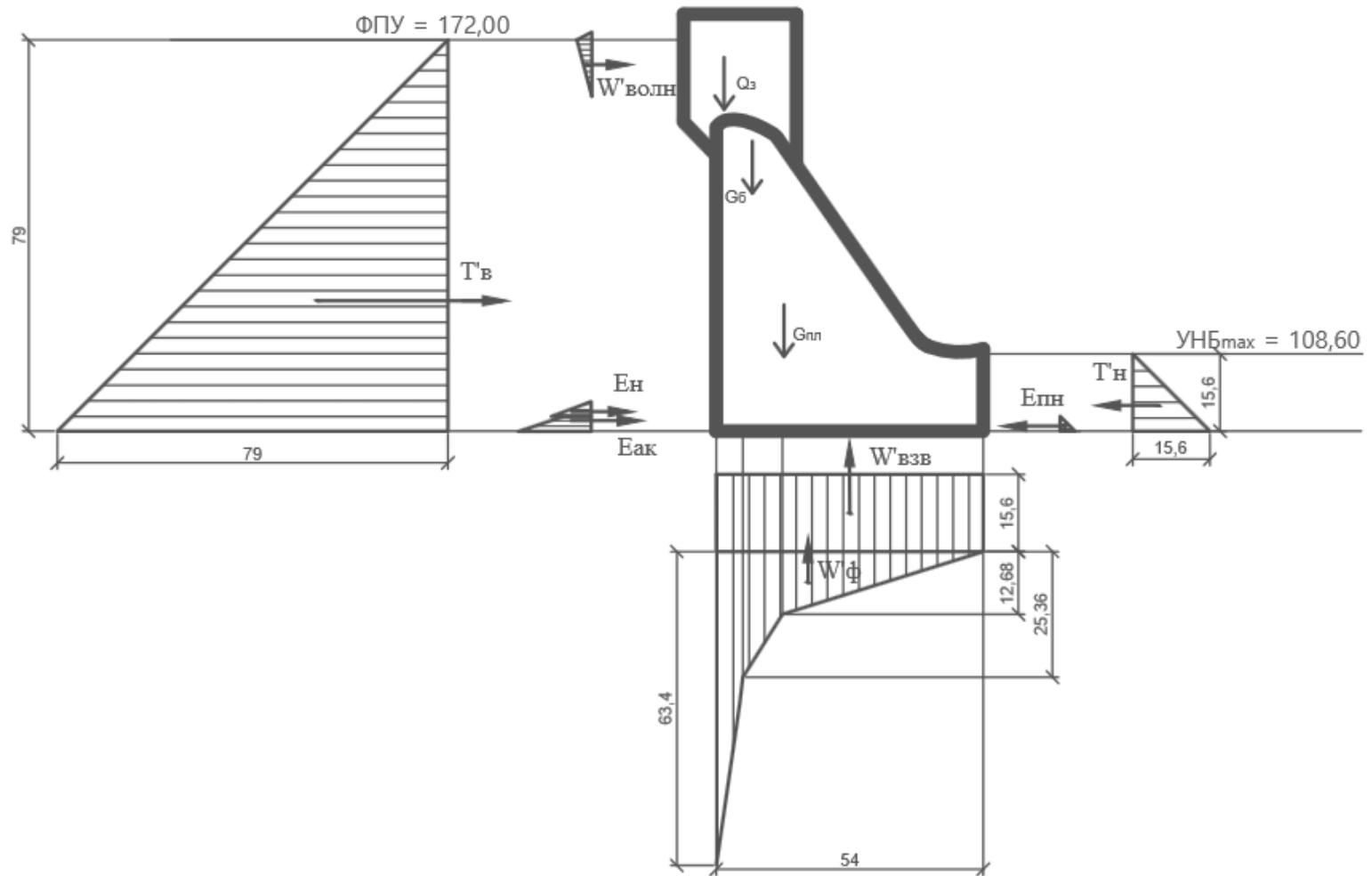


Рисунок К.1 – Нагрузки и воздействия действующие на плотину при особом сочетании

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Напряжения при основном сочетании нагрузок и воздействий

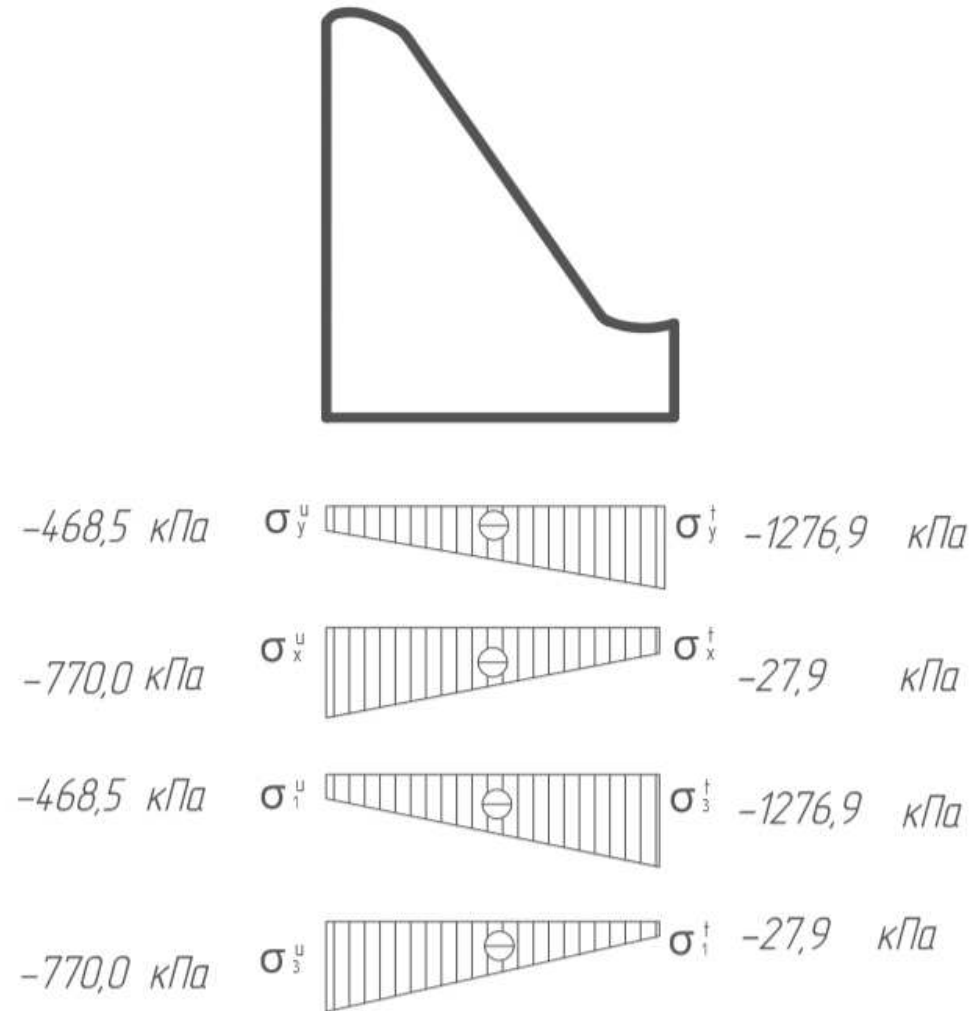


Рисунок Л.1 – Эпюры напряжений при основном сочетании нагрузок и воздействий

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Напряжения при особом сочетании нагрузок и воздействий

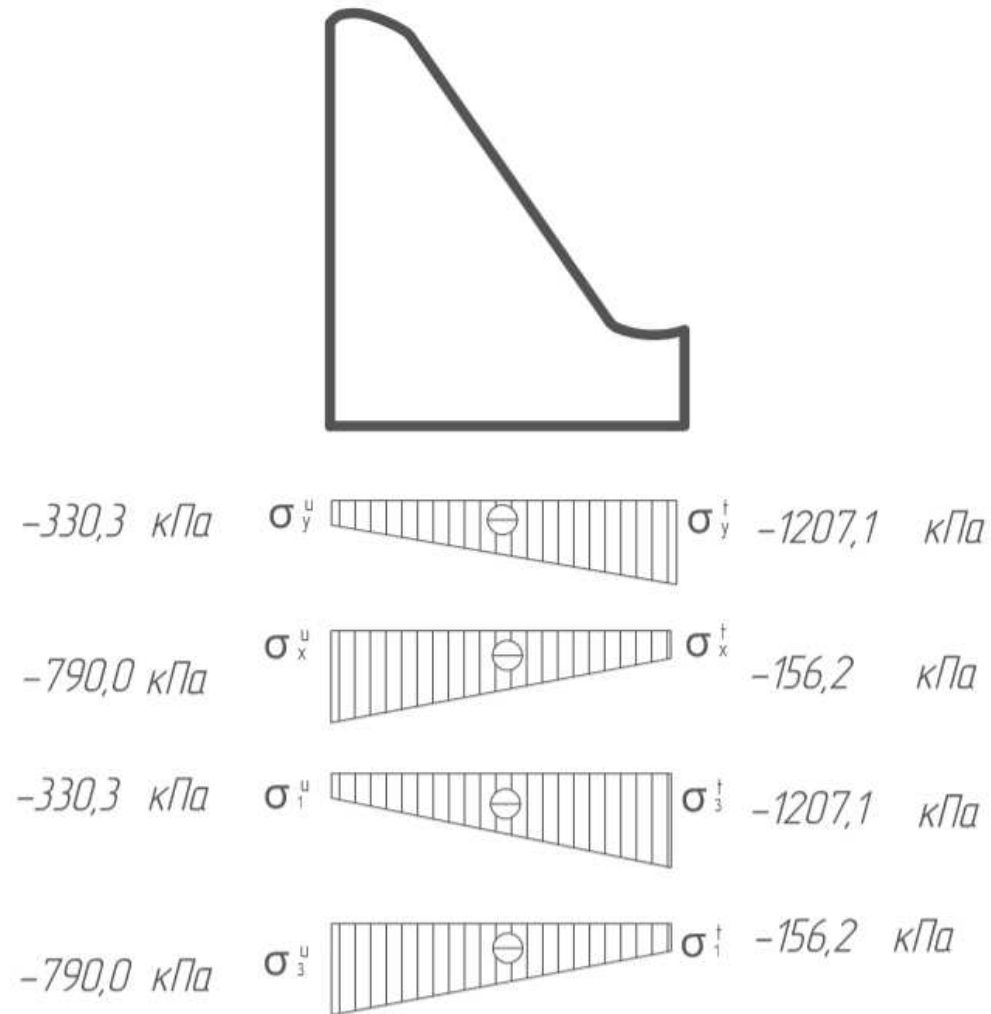


Рисунок М.1 – Эпюра напряжений при особом сочетании нагрузок и воздействий

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно-Шушенский филиал

ОТЗЫВ

Руководителя Л.М. Дерюгин

о дипломном проекте «Проектирование Тасеевского гидроузла на реке Тасеева.
Технология возведения бетонных плотин из укатанного бетона»
Дементьева Ивана Александровича

Бакалаврская работа, разработанная И.А. Дементьева, выполнена в полном объеме в соответствии с выданным заданием. Проект представлен на 125 листах пояснительной записки, 6 листах чертежей и 2 плакатах. Достаточно подробно разработаны все части работы. В бакалаврской работе разработаны и рассчитаны гидросооружения и их компоновка, основное и вспомогательное гидротурбинное оборудование, этапы возведения сооружений. Разработаны генеральный и строительный генеральный планы. Выполнены водно - энергетические и технико-экономические расчеты.

Следует отметить, что все принятые в проекте решения соответствуют действующим нормам и правилам, а также техническим требованиям компании «РусГидро» действующим в настоящее время.

В объеме индивидуального задания была рассмотрена технология возведения плотин из укатанного бетона.

Основным замечанием данного дипломного проекта является то что индивидуальное задание приводится на примере другого ГТС.

Следует отметить полноту, аккуратность, четкость и последовательность изложения пояснительной записки.

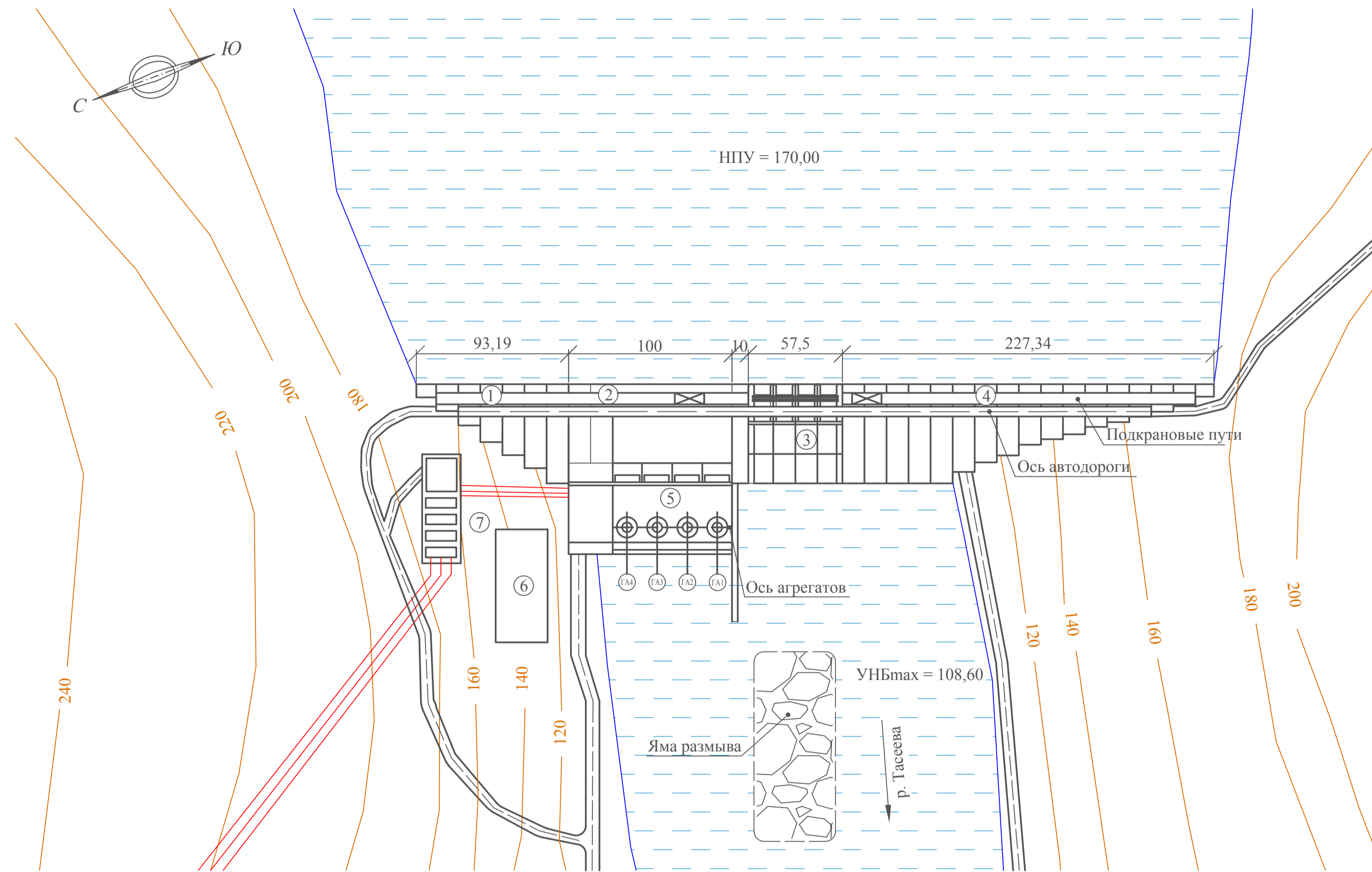
В процессе работы над дипломным проектом И.А. Дементьев показал себя трудолюбивым человеком, проявил творческий подход к выполнению проекта и самостоятельность в выборе технических решений.

Дипломный проект «Проектирование Тасеевского гидроузла на реке Тасеева.» заслуживает положительной оценки.

15.06.17
(дата)


(подпись)

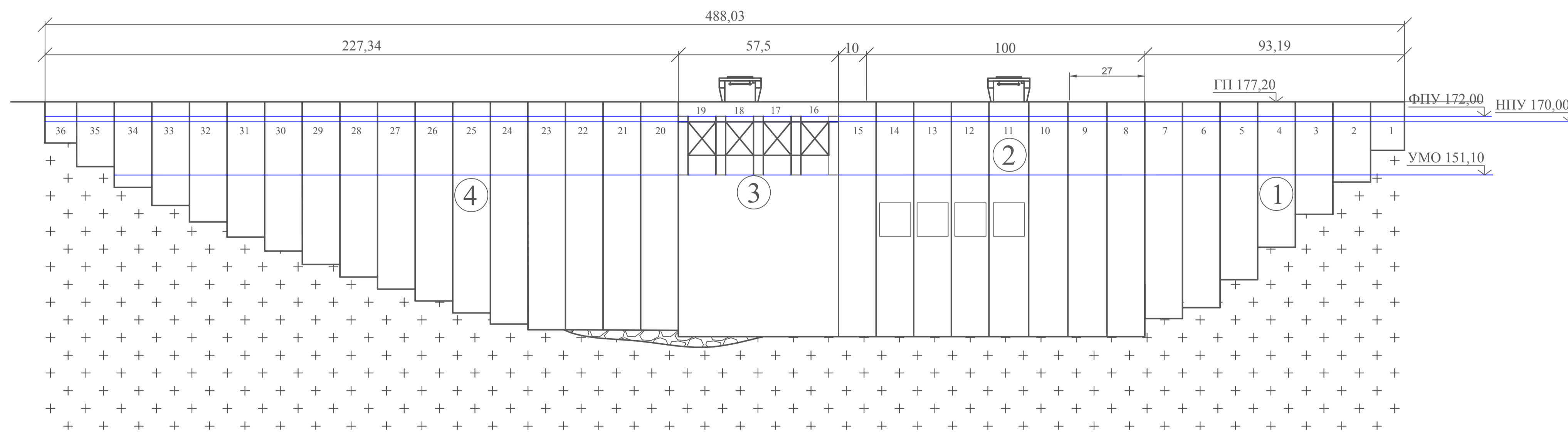
Генеральный план
Масштаб 1:2000



Ведомость состава проекта

№ п.п	Обозначение	Наименование	Примечание
1	ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГП	Генеральный план, вид с верхнего бьефа	
		экспликация объектов, ведомость состава проекта	
2	ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГР1	Поперечный разрез станционной части,	
		основные характеристики гидроагрегата	
3	ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГР2	Поперечный разрез бетонной водосливной	
		плотины, план плотины	
4	ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ПОС	Строительный генеральный план,	
		экспликация объектов	
5	ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ПОС	Этапы возведения сооружений(1-5),	
		экспликация объектов	
6	ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ПОС	Календарный план строительства	

Вид с верхнего бьефа
Масштаб 1:1000

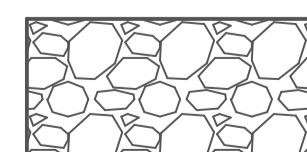


Экспликация объектов

№	Наименование
1	Правобережная глухая бетонная часть плотины
2	Станционная часть плотины
3	Бетонная водосливная плотина
4	Левобережная глухая бетонная часть плотины
5	Здание ГЭС
6	Здание административно-технического персонала
7	Здание КРУЭ



Долерит



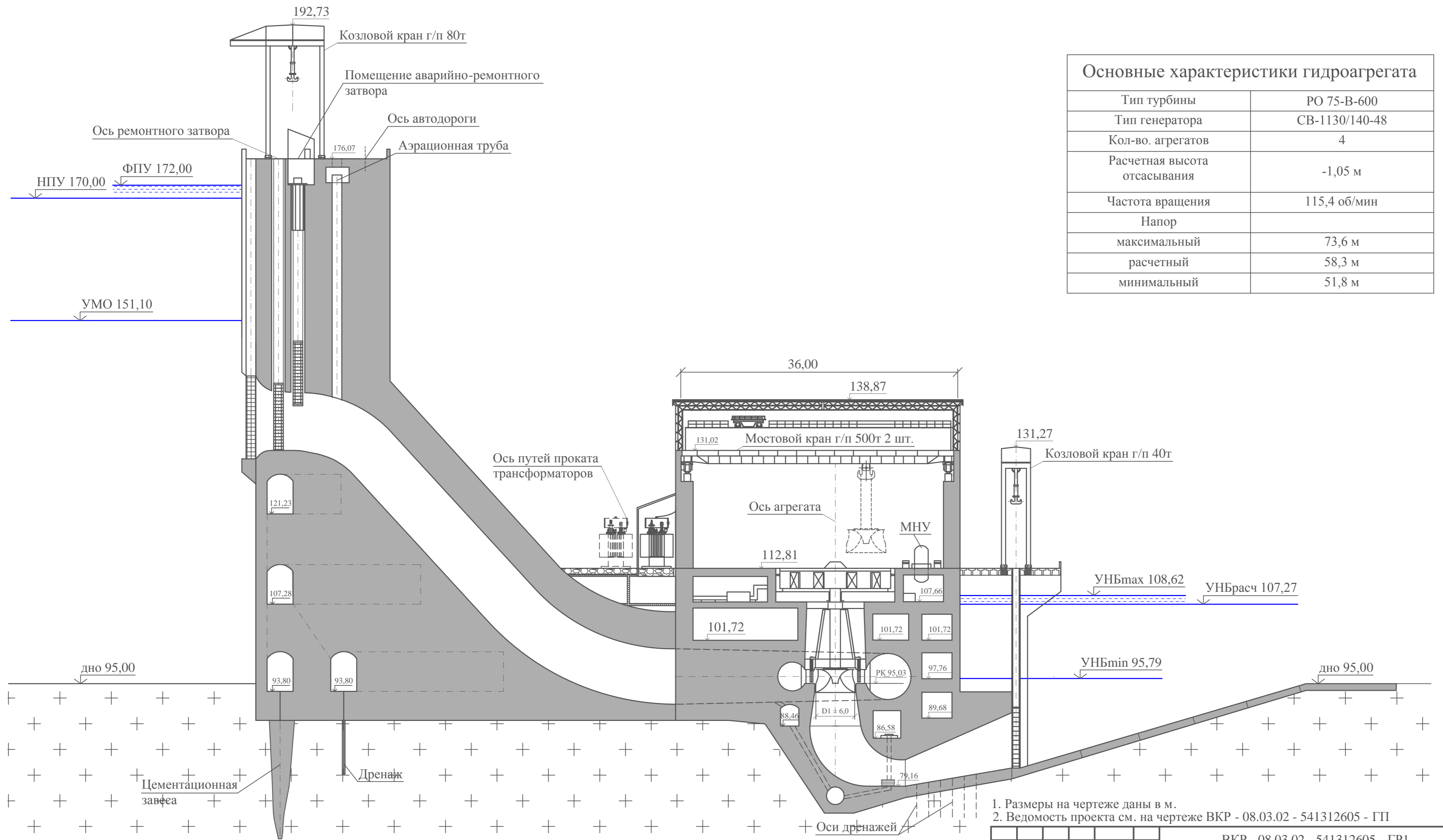
Галька

1. Размеры на чертеже даны в м.

ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГП				Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета		
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	
Разраб.	Дементьев					Проектирование Тасеевской ГЭС на р. Тасеева
Провер.	Оклер					Стация
Т.контр.						Лист
Н.контр.	Затеев					1
Утв.	Затеев					Листов
						6
Генеральный план. Вид с верхнего бьефа. Экспликация объектов. Ведомость состава проекта						Кафедра ГТС, 2017

Поперечный разрез станционной части

Масштаб 1:400



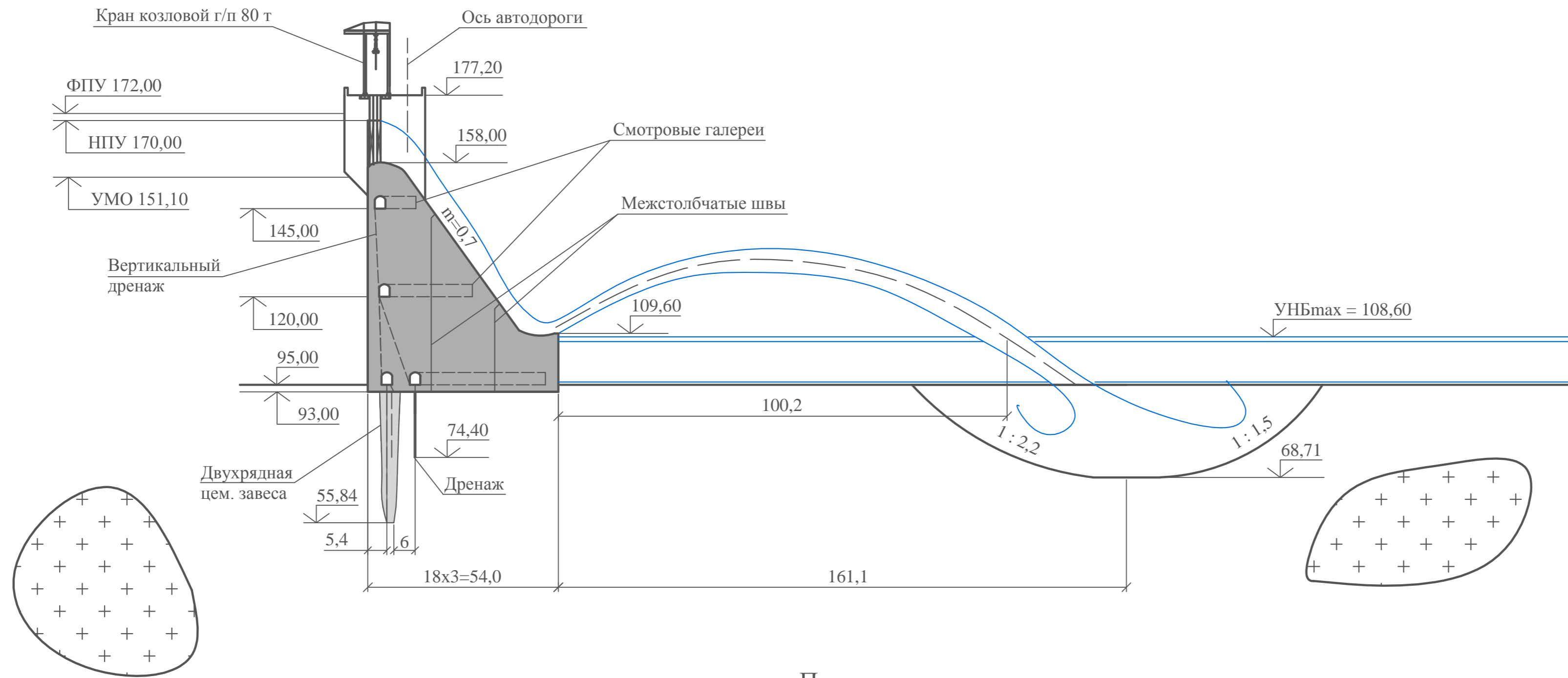
Тип турбины	PO 75-B-600
Тип генератора	СВ-1130/140-48
Кол-во агрегатов	4
Расчетная высота отсасывания	-1,05 м
Частота вращения	115,4 об/мин
Напор	
максимальный	73,6 м
расчетный	58,3 м
минимальный	51,8 м

1. Размеры на чертеже даны в м.
2. Ведомость проекта см. на чертеже ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГП

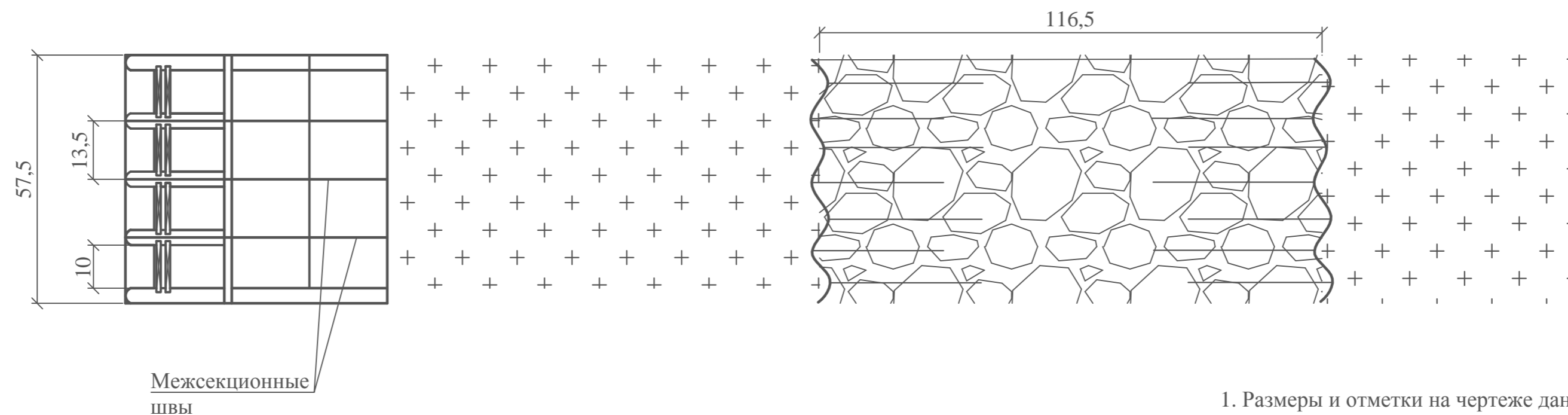
ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГР1					
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата
Разраб.	Дементьев				
Провер.	Масленникова				
Т.контр.					
Н.контр.	Затсев				
Утв.	Затсев				
Проектирование Тасеевской ГЭС на р. Тасеева				Стадия	Лист
					2
Поперечный разрез станционной части, основные характеристики гидроагрегата				Кафедра ГТС, 2017	

Поперечный разрез бетонной водосливной плотины

Масштаб 1:1000



План плотины



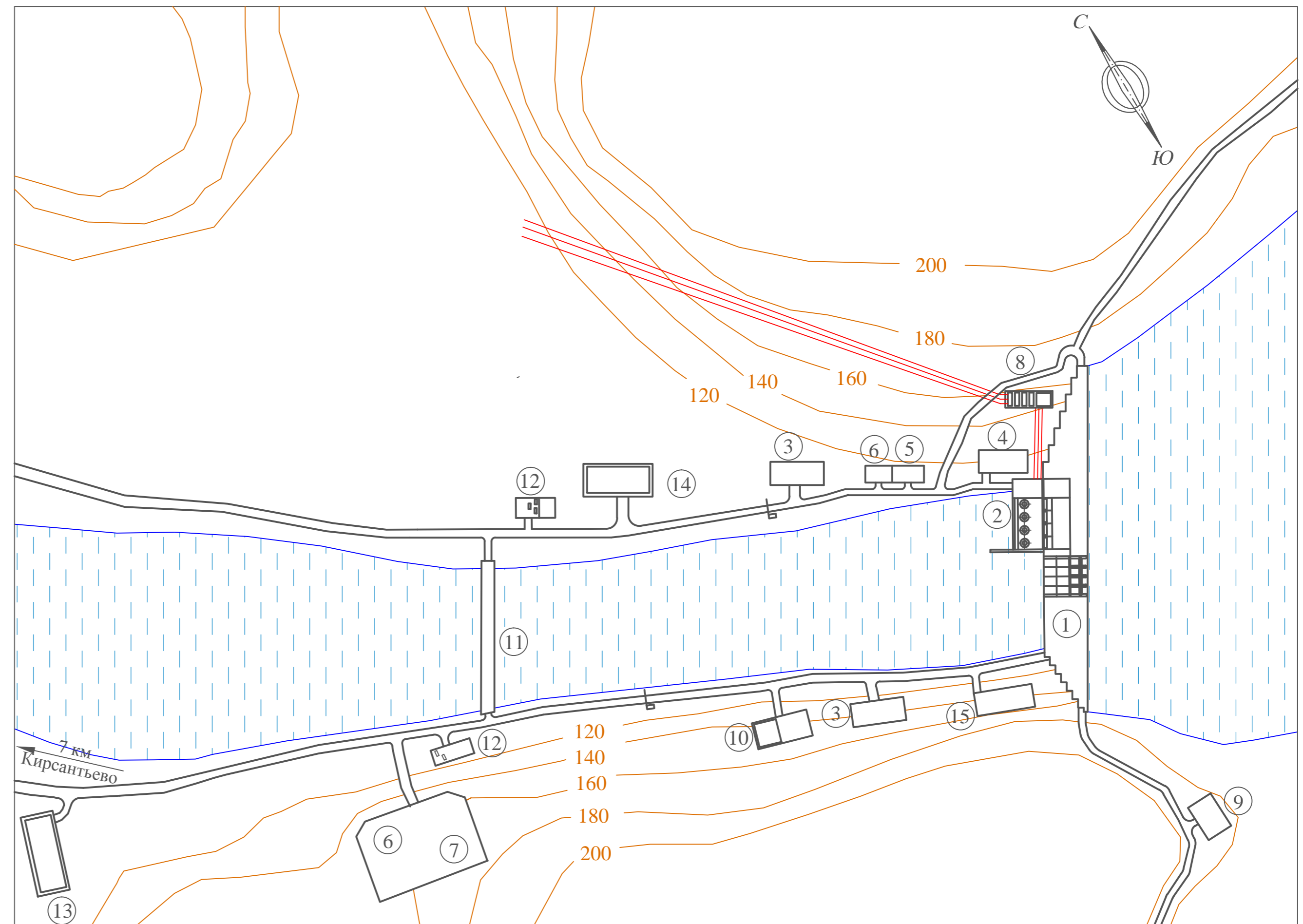
1. Размеры и отметки на чертеже даны в м.
2. Ведомость проекта см. на чертеже ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГП

						ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГР2				
						Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Проектирование Тасеевской ГЭС на р. Тасеева		Стадия	Лист	Листов
Разраб.		Дементьев				Поперечный разрез бетонной водосливной плотины, план плотины			3	
Провер.		Пермякова						Кафедра гидротехнических сооружений		
Т.контр.										
Н.контр.		Затеев								
Утв.		Затеев								

Строительный генеральный план Масштаб 1:500

Экспликация объектов

1	Водобросная плотина	11	Мост
2	Станционная плотина	12	АЗС
3	Бетонный завод	13	База механизации
4	База ГМО	14	База заказчика
5	Мед. пункт	15	Монтажная площадка
6	Столовая		
7	Жилой поселок		
8	КРУЭ		
9	Деревообрабатывающий завод		
10	Складская база		



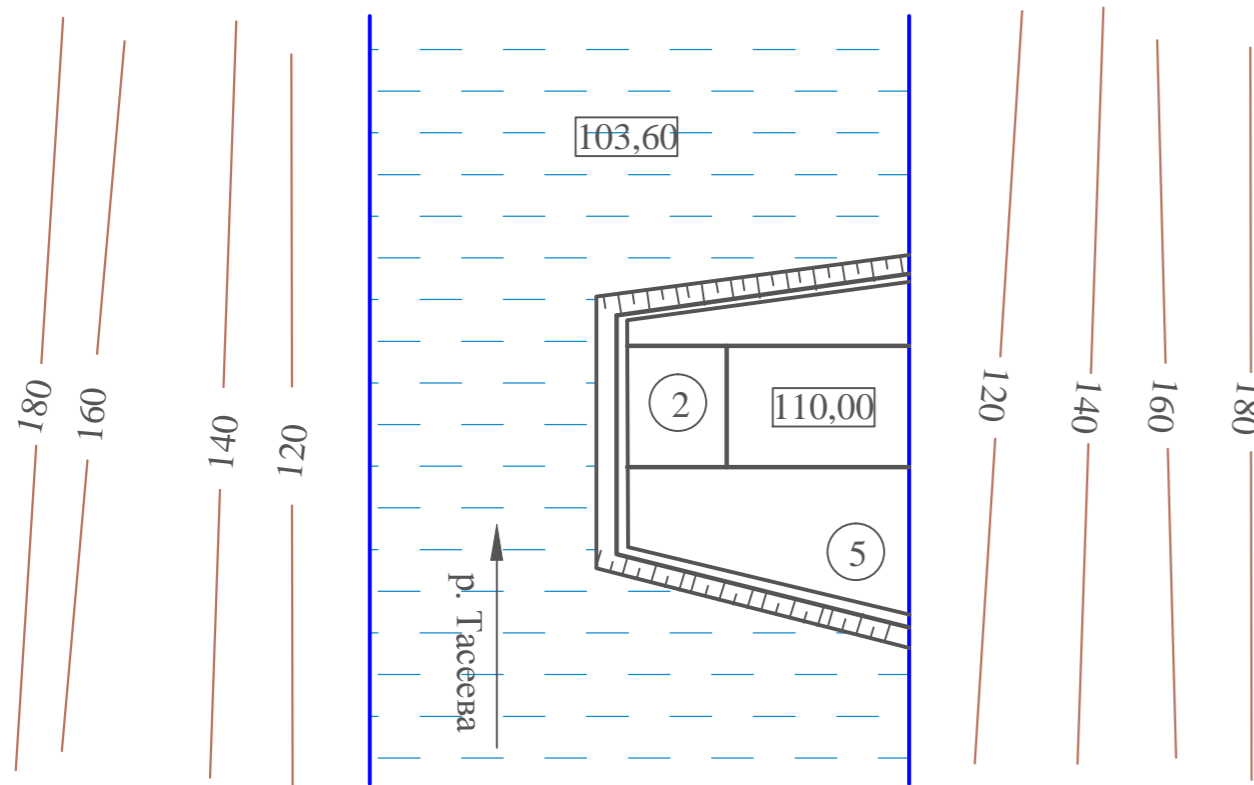
1. Ведомость проекта см. на чертеже ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГП

ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ПОС					
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разраб.		Дементьев			
Провер.		Эклер			
Т.контр.					
Н.контр.		Затеев			
Утв.		Затеев			
Проектирование Тасеевской ГЭС на р. Тасеева				Стадия	Лист
Строительный генеральный план, экспликация объектов				4	Листов
				Кафедра ГТС, 2017	

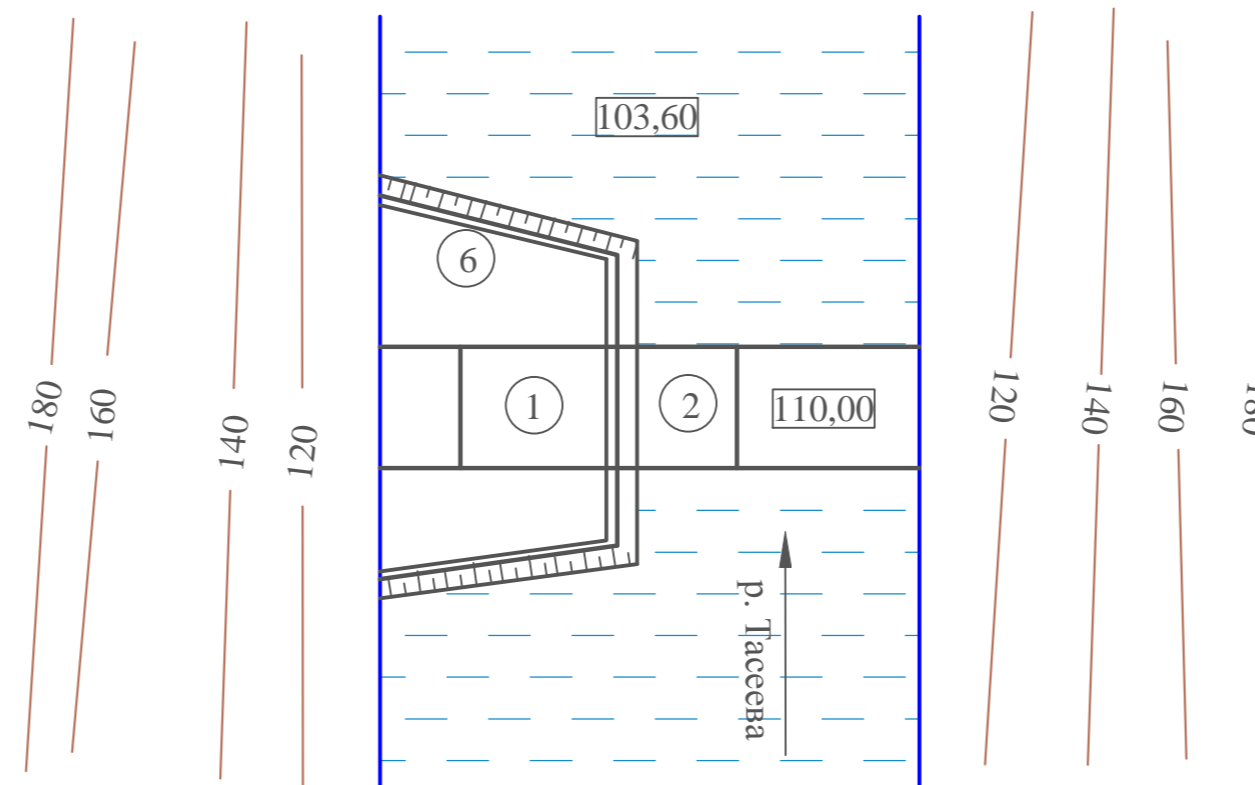
Этапы возведения сооружений

Масштаб 1:5000

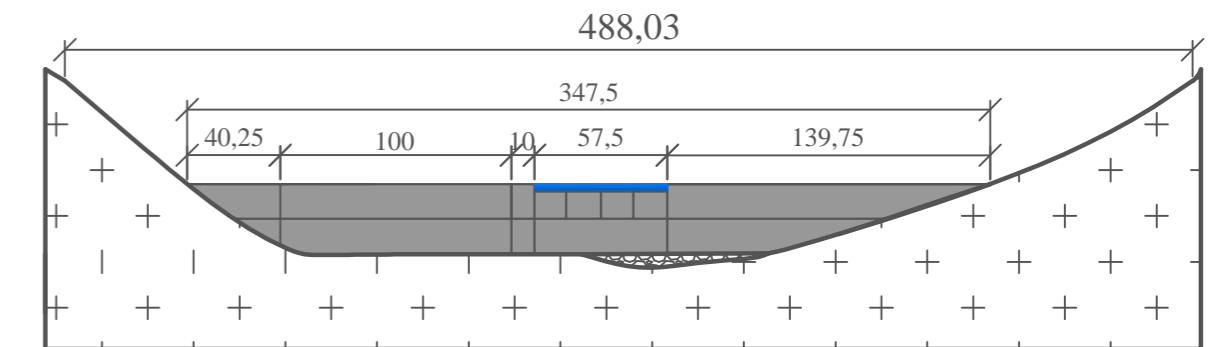
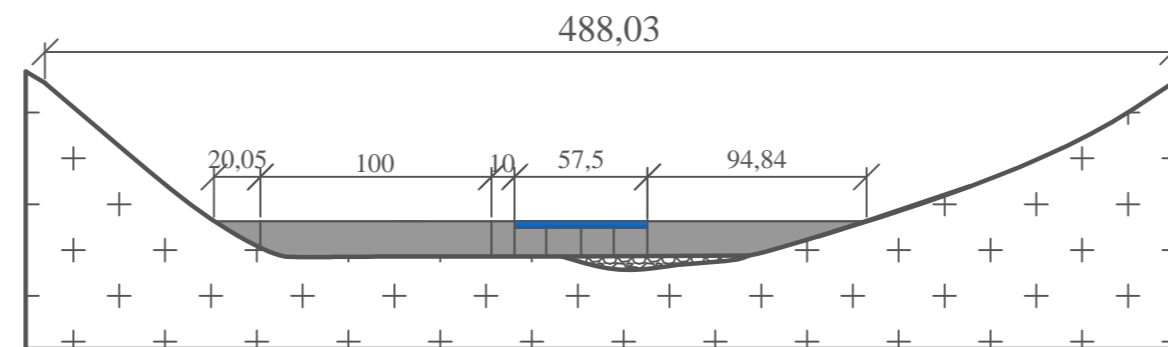
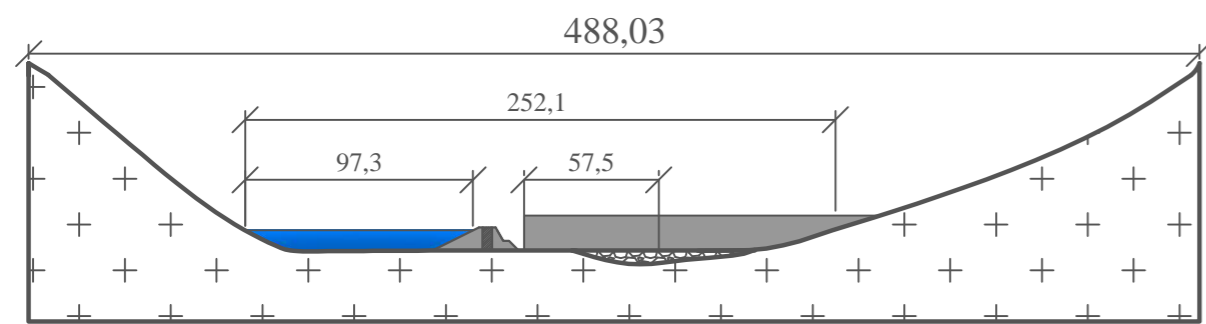
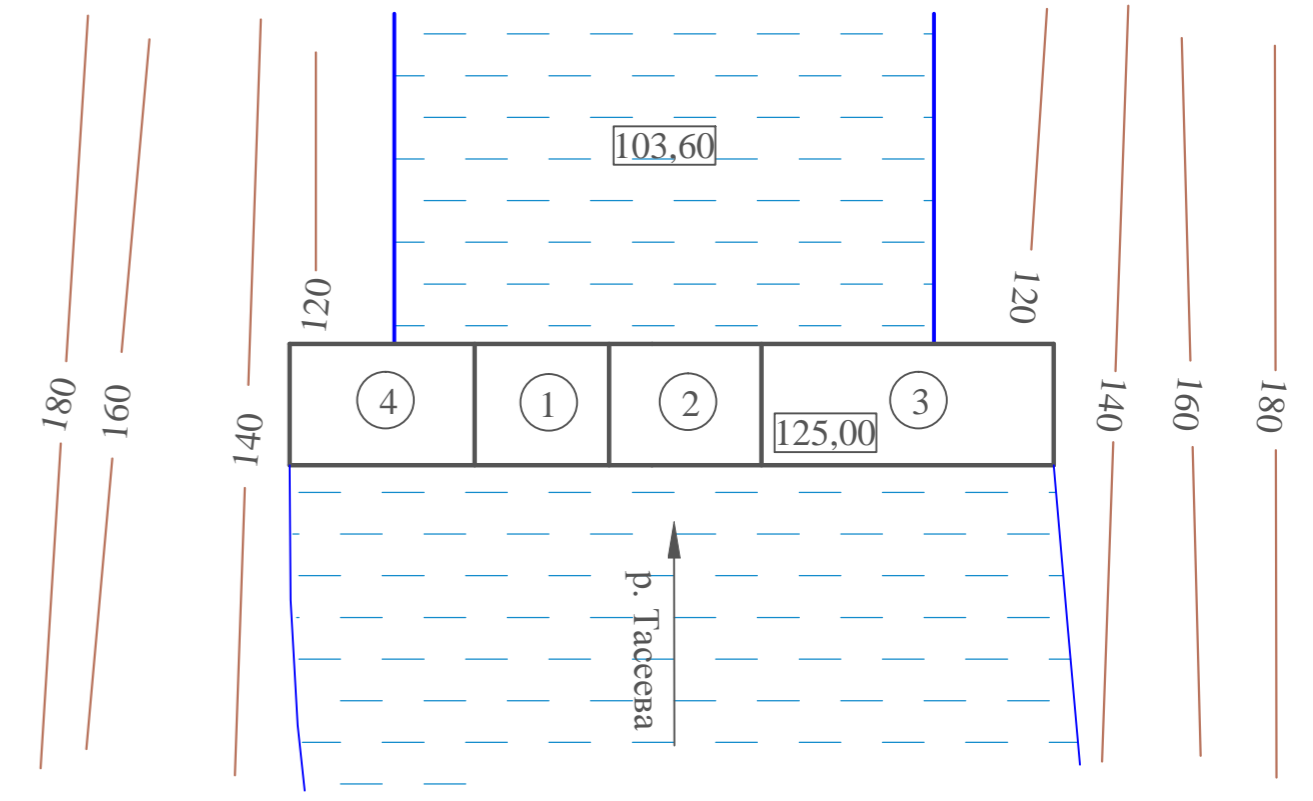
Этап 1



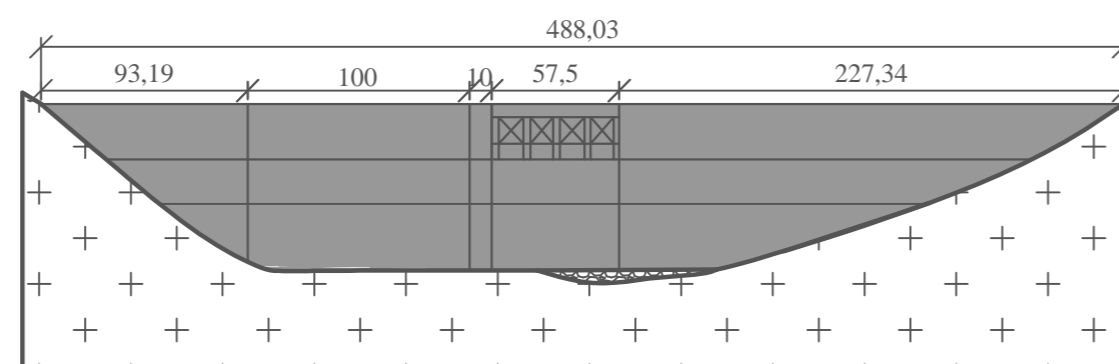
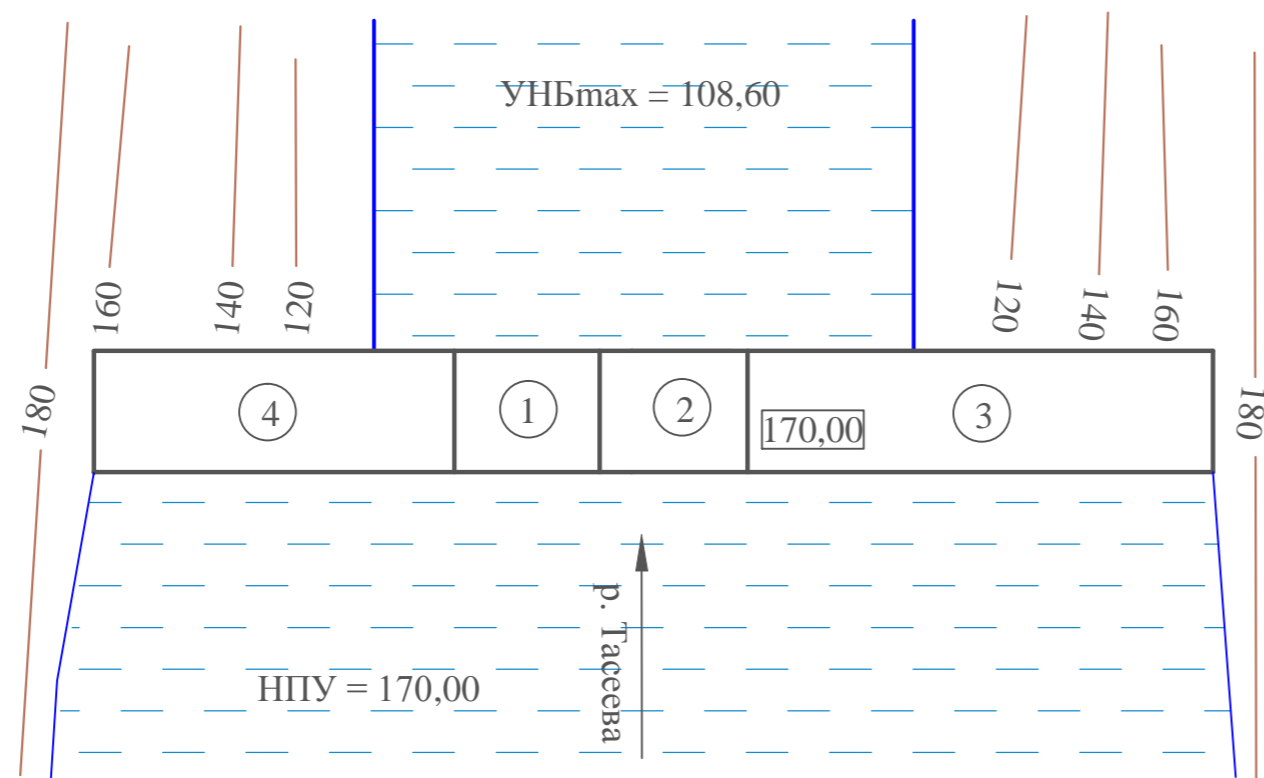
Этап 2



Этап 3



Этап 4 - 5



Экспликация объектов

№	Наименование
1	Станционная плотина
2	Водосливная плотина
3	Левобережная глухая плотина
4	Правобережная глухая плотина
5	Перемычка первой очереди
6	Перемычка второй очереди

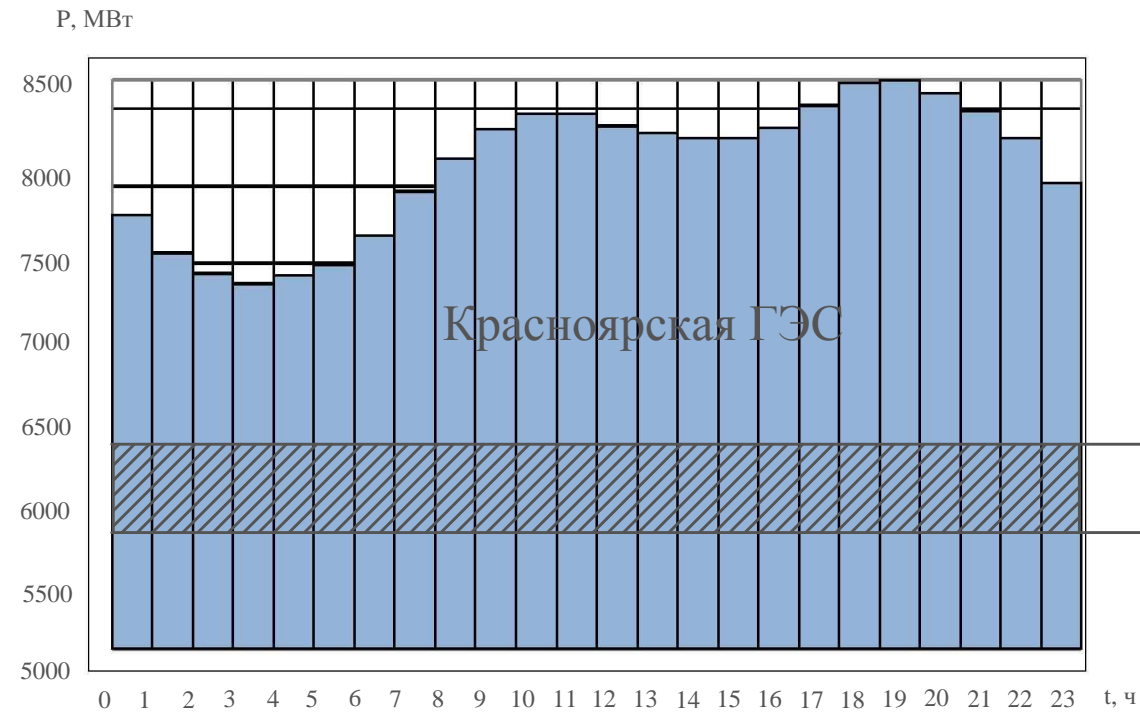
1. Размеры на чертеже даны в м.

2. Ведомость проекта см. на чертеже ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ГП

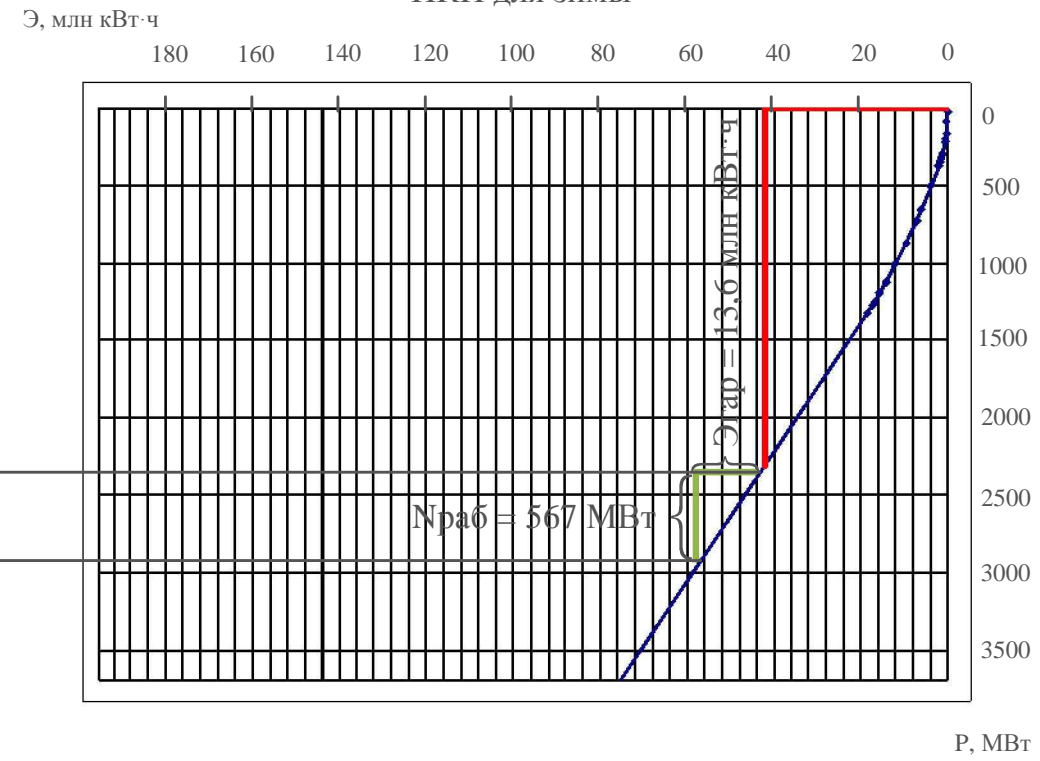
ВКР - 08.03.02 - 541312605 - ПОС					
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата
Разраб.	Дементьев				
Провер.	Эклер				
Т.контр.					
Н.контр.	Затеев				
Утв.	Затеев				
Проектирование Тасеевской ГЭС на р. Тасеева				Стадия	Лист
Этапы возведения сооружений (1-5) экспликация объектов				5	Листов
				Кафедра ГТС, 2017	

Тасеевская ГЭС

Суточный график для зимы

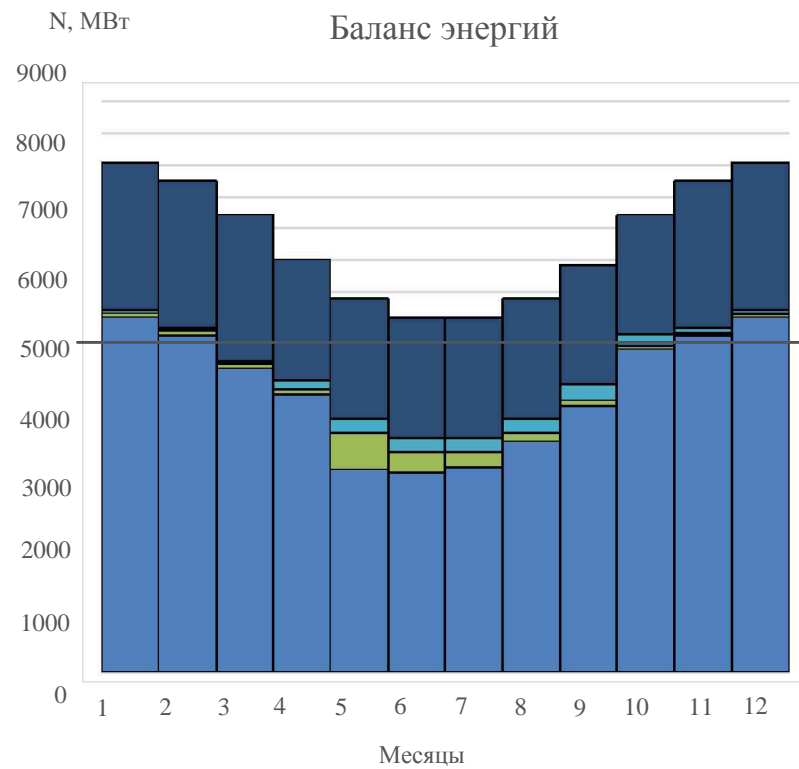


ИКН для зимы



НПУ = 170,00 м
 УМО = 151,10 м
 Нуст = 624 МВт
 $\bar{Э} = 3,2$ млрд кВт·ч

Баланс энергий



Баланс мощностей

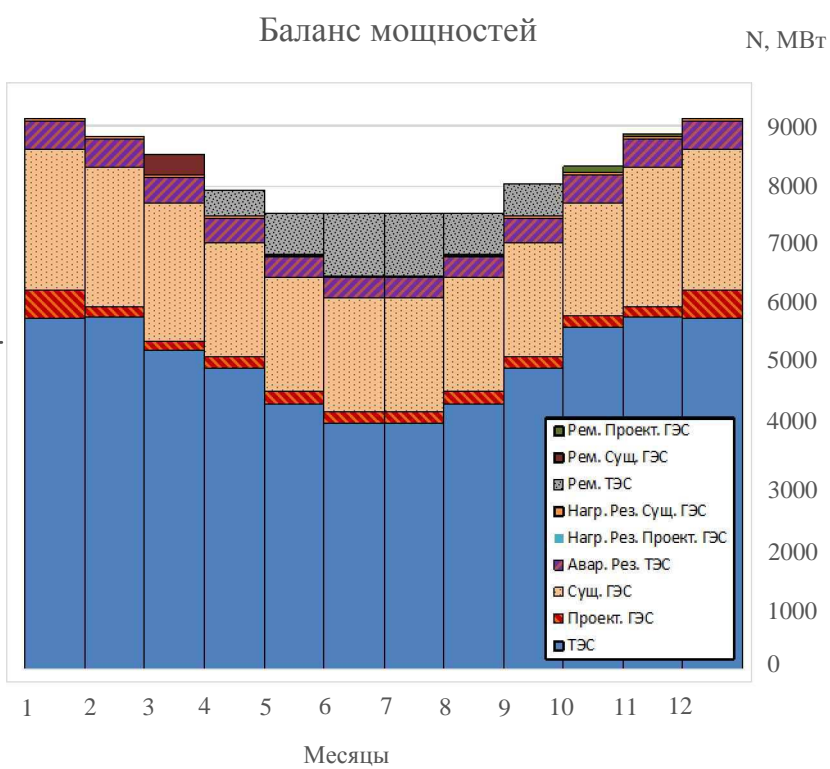
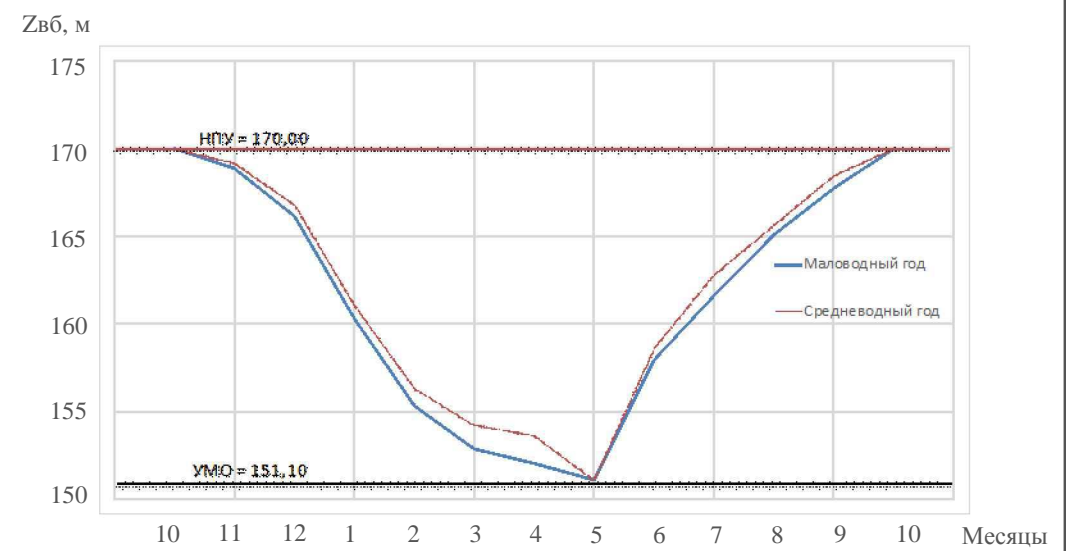
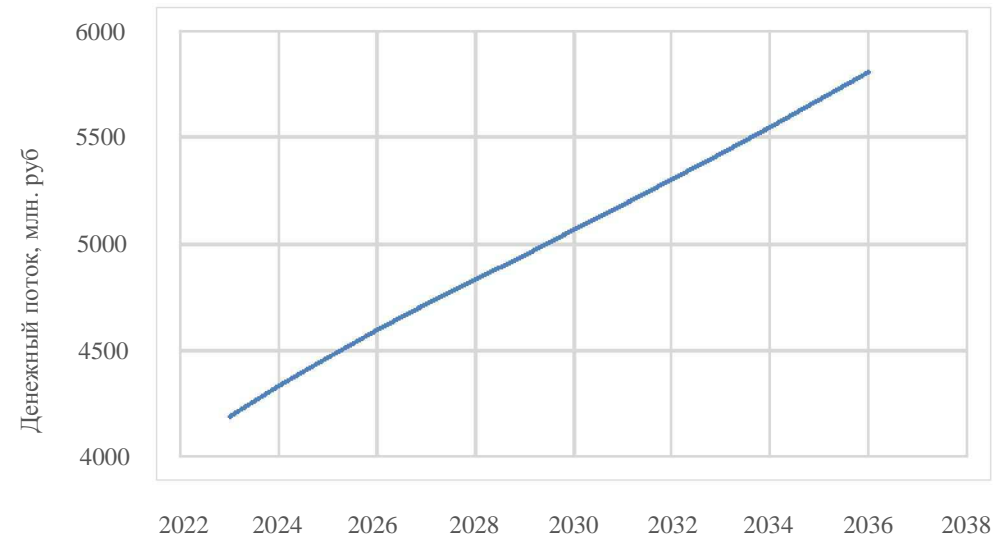


График сработки - наполнения водохранилища

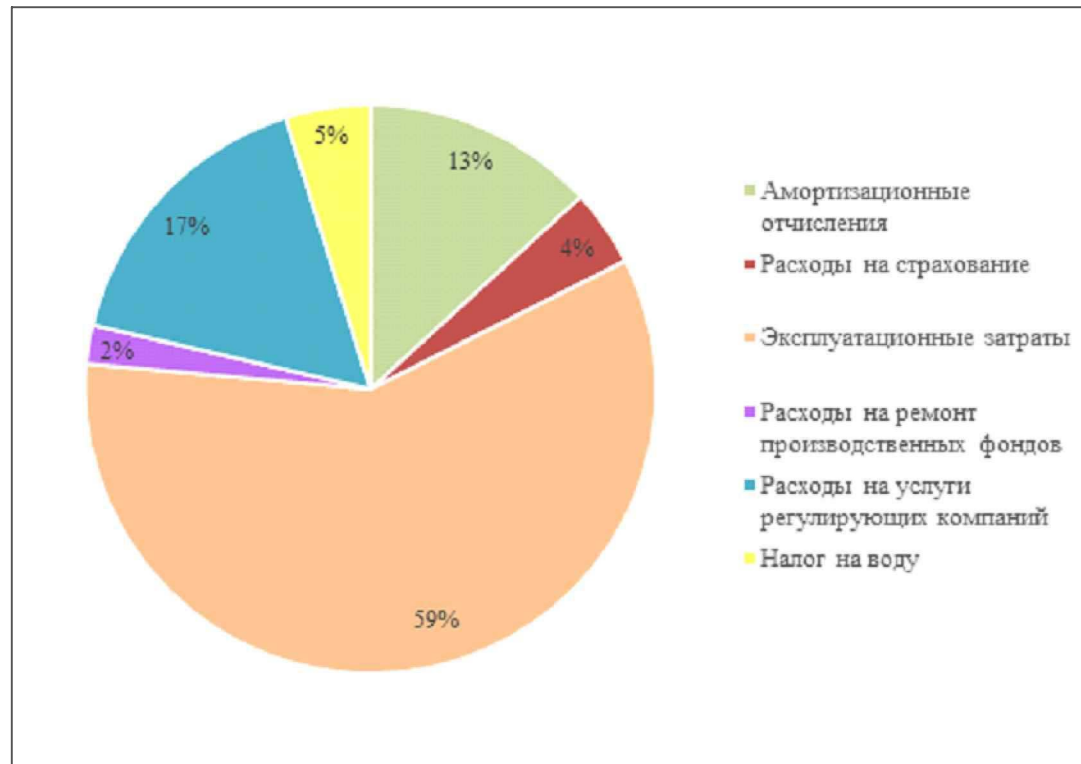


Технико-экономические показатели проекта Тасеевской ГЭС

График годовой прибыли

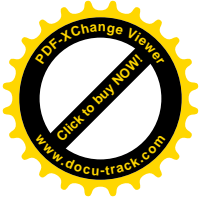
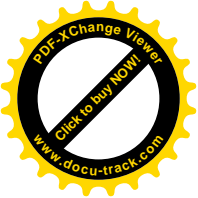


Структура текущих затрат по гидроузлу, %



Показатели эффективности реализации проекта

Год начала реализации проекта	2017
Ставка дисконтирования	11.60%
Дисконтированный период окупаемости	6,8 года
Чистый приведенный доход	20321,9 млн.руб
Индекс прибыльности	11,11 руб.
Себестоимость эл.энергии	0,094 руб/кВт * ч
Удельные капиталовложения	95314,1 руб/кВт



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидротехнических сооружений»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Затеев В.Б. Затеев
«16» 06 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТАСЕЕВСКОГО ГИДРОУЗЛА НА РЕКЕ ТАСЕЕВА. ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ БЕТОННЫХ ПЛОТИН ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА

Руководитель

Л.М. Дерюгин
15.06.17
подпись, дата

гидротехник
должность, ученая степень

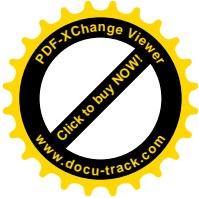
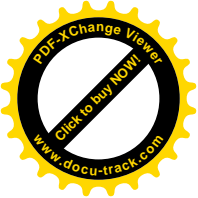
Л.М. Дерюгин
инициалы и фамилия

Выпускник

И.А. Дементьев
15.06.17
подпись, дата

И.А. Дементьев
инициалы и фамилия

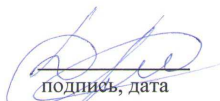
Саяногорск; Черемушки 2017



Продолжение титульного листа БР по теме: Проектирование Тасеевской ГЭС на реке Тасеева. Технология возведения бетонных плотин из укатанного бетона.

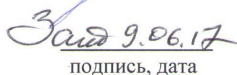
Консультанты
по разделам:

Общая часть


подпись, дата

Л.М. Дерюгин

Водно-энергетические
расчеты


подпись, дата

Е.Ю. Затеева

Выбор основного и
вспомогательного
оборудования


подпись, дата

А.В. Масленникова

Технология ГЭС


подпись, дата

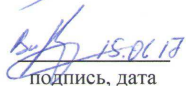
Н.А. Эклер

Компоновка гидроузла,
выбор типа и расчет основных
сооружений


подпись, дата

Л.С. Пермякова

Мероприятия по охране природы


подпись, дата

В.А. Кадычegov

Технико-экономические показатели


подпись, дата

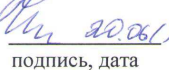
В.В. Лапасова

Спецвопрос


подпись, дата

Л.М. Дерюгин

Нормоконтролер


подпись, дата

А.А. Чабанова