

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

Кафедра Гидротехнический Сооружений и Гидравлических Машин

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.А.Андряс
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

08.03.01 - Строительство
код – наименование направления

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРЕЙСКОЙ ГЭС НА РЕКЕТУРУХАН.
ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ГТС В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ

Руководитель	_____	<u>Старший преподаватель</u> <u>кафедры ГТС и ГМ,</u> <u>Саяно-Шушенский филиал СФУ</u>	<u>Т.Ю.Толошинова</u>
	подпись, дата	ученая степень, звание, должность Место работы	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>В.Э.Курдогло</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2022

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Турейской ГЭС на реке Турухан. Технология возведения гидротехнических сооружений в суровых климатических условиях».

Консультанты по разделам:

Консультант руководителя БР	_____	<u>Андряс А.А.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Водно-энергетические расчёты	_____	<u>Затеева Е.Ю.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Основное и вспомогательное оборудование	_____	<u>Татарников В.И..</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Компоновка и сооружения гидроузла	_____	<u>Фирищак Е.В.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Организация и производство гидротехнических работ	_____	<u>Толошинова Т.Ю.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Пожарная безопасность. Охрана труда	_____	<u>Татарников В.И.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Охрана окружающей среды	_____	<u>Кадычegov В.А.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Технико-экономическое обоснование	_____	<u>Лапасова В.В.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	<u>Синельникова К.П.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕННЫЙ ПАСПОРТ ТУРЕЙСКОЙ ГЭС	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. Анализ исходных данных и внешних условий	7
1.1 Климатические условия в районе предполагаемого строительства	7
1.2 Гидрологические данные	7
2 Водно-энергетические расчёты и определение установленной мощности.....	9
2.1 Регулирование стока воды	9
2.1.1 Исходные данные.....	9
2.1.2 Кривые обеспеченности расходов	9
2.1.3 Выбор расчётного маловодного и средневодного года	10
2.2 Определение установленной мощности на основе водно-энергетических расчётов.....	11
2.2.1 Перераспределение стока маловодного года.....	11
2.2.2 Баланс энергии.....	12
2.2.3 Водно-энергетические расчёты работы ГЭС в маловодном году	13
2.2.4 Определение установленной мощности проектируемой ГЭС	13
2.2.5 Баланс мощности	13
3. Основное и вспомогательное оборудование ГЭС	15
3.1 Выбор числа и типа агрегатов	15
3.1.1 Построение режимного поля.....	15
3.1.2 Выбор гидротурбин по главным универсальным характеристикам	16
3.1.3 Проверка работы гидротурбины при ограничении по минимальному расходу.	20
3.1.4 Определение отметки установки рабочего колеса для обеспечения её бескавитационной работы турбины.	20
3.1.5 Выбор оптимального варианта.....	21
3.2 Выбор энергетического оборудования.....	21
3.2.1 Выбор типа серийного гидрогенератора	21
3.2.2 Расчет вала и подшипников	22
3.2.3 Расчет спиральной камеры	24
3.3 Выбор типа и размеров маслonaпорной установки и регулятор частоты вращения	28
4. Компоновка и сооружения гидроузла	29
4.1 Определение отметки гребня грунтовой плотины и гребня быка	29
4.1.1. Грунтовая плотина	29
4.1.2 Бетонная плотина	31
4.2 Гидравлический расчет	31
4.2.1 Определение ширины водосливного фронта	31
4.2.2 Определение отметки гребня водослива	33
4.2.3 Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае	35
4.2.4 Построение профиля водосливной плотины	36

4.2.5	Расчет сопряжения потока в нижнем бьефе	37
4.2.6	Расчет водобойного колодца	38
4.3	Определение ширины подошвы плотины	41
4.3.1	Разрезка бетонных плотин швами	42
4.3.2	Быки	43
4.3.3	Устои	43
4.3.4	Дренаж тела бетонной плотины	44
4.3.5	Галереи в теле плотины	44
4.3.6	Ширина плотины по гребню	44
4.4	Конструирование отдельных элементов подземного контура	45
плотины	45
4.4.1	Понур	45
4.4.2	Шпунтовая стенка	45
4.4.3	Дренажные устройства	45
4.5.1	Водобой	46
4.5.2	Рисберма	46
4.5.3	Ковш	47
4.6.1	Построение эпюры фильтрационного противодействия	48
методом	удлиненной контурной линии	48
4.7.1	Определение основных нагрузок на плотину	49
4.7.2	Вес сооружения и затворов	49
4.7.3	Сила гидростатического давления воды	50
4.7.4	Равнодействующая взвешивающего давления	51
4.7.5	Сила фильтрационного давления	52
4.7.6	Давление грунта	52
4.7.7	Волновое давление	54
4.7.8	Оценка прочности плотины	55
4.7.9	Критерии прочности плотины	59
4.8	Обоснование устойчивости плотины	62
5.	Организация строительства	65
5.1	Пропуск строительных расходов I очереди	65
5.1.1	Гидравлический расчет пропуска строительных расходов I	
очереди	через стесненное русло	65
5.1.2	Определение отметок гребня перемычек	66
5.1.3	Отметка гребня верховой перемычки I очереди	66
5.1.4	Отметка гребня низовой перемычки I очереди	66
5.2	Пропуск строительных расходов II очереди через донные отверстия в	
водобросе	67
5.2.1	Определяем минимально допустимое количество донных	
отверстий	из условия неразмываемости русла реки	67
5.2.2	Определяем количество отверстий строительного периода для	
пропуска	максимального строительного расхода $Q_{стр}$	68
5.4.2	Определение объемов земляных работ	71
5.4.3	Разработка котлована I очереди с применением БВР	71
5.4.4	Определяем производительность бурового станка:	71

5.4.5 Цикл земельно-скальных работ в котловане I очереди	71
5.4.6 Производство земляных работ	72
5.5 Производство бетонных работ.....	74
5.5.1 Определение объемов бетонных работ.....	74
5.5.2 Приготовление бетонной смеси	74
5.5.3 Транспорт бетонной смеси (горизонтальный)	75
5.5.4 Транспорт бетонной смеси (вертикальный)	75
5.5.5 Опалубочные работы	76
5.5.6 Технология монтажа опалубки	76
5.5.7 Арматурные работы.....	77
5.5.8 Технология монтажа арматурных изделий	77
5.5.9 Вибрирование бетона.....	77
5.6 Подготовка блока к бетонированию.....	78
5.6.1 Уход за бетоном.....	79
5.6.2 Контроль качества бетонных работ	80
5.6.3 Производство бетонных работ в зимних условиях.....	81
5.7 Второй этап: перекрытие русла	81
5.8 Третий этап: наращивание сооружения до отметок для начала наполнения водохранилища	82
5.9 Четвертый этап: наполнение водохранилища до отметок пуска первых агрегатов	82
5.10 Пятый этап: наращивание сооружений и наполнение водохранилища до проектных отметок с последовательным поочередным пуском всех агрегатов	82
5.11 Технология возведения грунтовых плотин	82
6. Мероприятия по охране окружающей среды в зоне Турейского ГУ.	84
6.1 Общие сведения о районе строительства	84
6.2 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства Турейской ГЭС.....	84
6.3 Отходы, образующиеся при строительстве.....	86
6.4 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации	87
7. Пожарная безопасность. Охрана труда	88
7.1 Безопасность гидротехнических сооружений.....	88
7.2 Пожарная безопасность. Основные требования	88
7.3 Требования по охране труда для работы сотрудников Турейской ГЭС. Цели обеспечения охраны труда	90
8 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации	93
8.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии	93
8.2 Текущие расходы по гидроузлу	93
8.3 Налоговые расходы	96
8.4 Оценка суммы прибыли от реализации электроэнергии и мощности....	96
8.5 Оценка инвестиционного проекта	98
8.5.1 Методология, исходные данные	98
8.5.2 Коммерческая эффективность.....	99

8.5.3 Бюджетная эффективность.....	99
8.6 Анализ чувствительности	99
9. Технология возведения ГТС в суровых климатических условиях.....	102
9.1 Влияние суровых климатических условий в районе строительства Турейской ГЭС	102
9.2 Выбор принципа строительства и эксплуатации Турейской ГЭС	103
9.3 Примеры строительства и эксплуатации ГТС в суровых климатических условиях и используемые принципы их возведения	105
9.4 Выбор принципа возведения ГТС для Турейской ГЭС \.....	107
9.4.1 Определение величины влияния водохранилища Турейской ГЭС на распространение талого состояния сооружений в период эксплуатации.....	108
9.5 Требования к проведению изысканий при наличии вечно-мерзлых грунтов	109
9.6 Технологии возведения гидротехнических сооружений Турейской ГЭС в суровых климатических условиях	109
9.6.1 Сохранение талого основания в суровых климатических условиях	109
9.6.2 Рассмотрение вопроса производства работ вахтовым методом только в период положительных температур	110
9.7 Технологии возведения грунтовых сооружений Турейской ГЭС	111
9.7.1 Возведение суглинистого ядра Турейской ГЭС.....	111
9.7.2 Технология укладки суглинка в ядро плотины при положительных температурах	112
9.7.3 Возведение скальных призм.....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117
ПРИЛОЖЕНИЕ А Водно-энергетические характеристики.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Гидравлические машины	123
ПРИЛОЖЕНИЕ В Гидротехнические сооружения.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Технология ГТС	128

СОКРАЩЕННЫЙ ПАСПОРТ ТУРЕЙСКОЙ ГЭС

1. Наименование реки Турухан.
2. Местонахождение ГЭС Красноярский край.
3. Тип проектируемой установки ГЭС.
4. Характерные расходы воды:
- а) среднемноголетний 123 м³/с;
- б) всех турбин 492 м³/с;
5. Параметры водохранилища:
- а) характер регулирования стока суточный;
- б) отметка: НПУ 35 м;
ФПУ 36 м;
УМО 34,66 м;
6. Напоры ГЭС:
- а) максимальный 18,7 м;
- б) расчетный 14,3 м;
- в) минимальный 12,85 м.
7. Энергетические характеристики:
- а) мощность:
- установленная 60 МВт;
- б) среднемноголетняя выработка энергии 205 млн. кВт·ч;
- в) число часов использования установленной мощности 3366 ч.
8. Здание ГЭС:
- а) тип здания русловое;
- б) число агрегатов 3;
- в) грунт в основании песчаный грунт;
9. Основное оборудование:
- а) тип турбины ПЛ20В-500;
- б) тип генератора СВ-866/70-52;
- г) активная мощность генератора 23;
- д) частота вращения 115,4 об/мин;
10. Бетонная плотина (общая длина):
- а) левобережная грунтовая плотина 368 м;
- б) правобережная грунтовая плотина 368 м;
11. Техничко-экономические показатели:
- а) удельные капиталовложения 74733,3 руб/кВт;
- б) себестоимость энергии 0,56 руб/кВт·ч;
- в) срок окупаемости 220 месяцев;

ВВЕДЕНИЕ

Себестоимость производства энергии в кВт·ч на ГЭС намного ниже, чем на тепловых и атомных станциях. Вода является возобновляемым и наиболее экологичным источником энергии, использование которого позволяет снижать выбросы в атмосферу тепловых электростанций и сохранять запасы углеводородного топлива для будущих поколений. А основное назначение гидроэнергетики – производство электроэнергии.

Строительство и проектирование гидроэлектростанции является очень важным и ответственным этапом развития проекта, поэтому требует серьезного подхода и ответственности. Проект возведения сооружения станет катализатором социального развития региона. Будут построены новые дороги, мосты и инфраструктура. На период строительства появятся новые рабочие места. Строительство Турейского гидроузла даст значительный толчок в развитии страны и обеспечит электроэнергией Туруханскую область, которая в данный момент не имеет генерирующих источников энергии и получает электроэнергию с Казахстана.

Целью дипломной работы является проектирование всех основных этапов строительства гидроэлектростанции с применением теоретических и практических знаний. Также с применением инженерной мысли находить наиболее оптимальные решения в тех или иных ситуациях.

1. Анализ исходных данных и внешних условий

Створ проектируемой Турейской ГЭС располагается на реке Турухан, в Туруханском районе Красноярского края. Он удалён на 310 километров вверх по течению от административного центра района – города.

1.1 Климатические условия в районе предполагаемого строительства

Климат в бассейне реки Турухан северный, суровый, с резкими колебаниями месячных и суточных температур воздуха.

Течение реки Турухан спокойное, равномерное почти на всем протяжении. Скорость течения в сравнении с другими притоками Енисея колеблется незначительно, составляет от 1.0 км/ч до 3.6 км/ч.

1.2 Гидрологические данные

В период паводка на Енисее подпор от него распространяется вверх по реке Турухан иногда на 310 км от устья, образуя в подпорной части участка обратное течение. Колебание уровня. Поскольку бассейн Турухана находится в зоне вечной мерзлоты, питание реки подземными водами весьма незначительно. Основными источниками питания являются таяние снега весной и дожди. Вследствие наличия вечной мерзлоты дождевые воды в грунт не просачиваются, а стекают в реку, образуя, в навигационный период, особенно в сентябре, небольшие подъемы уровня воды. Для режима реки Турухан весеннее половодье характерно тем, что пик его паводка растянут с 27 мая до 29 июня (по водомерному посту Янов Стан). На устьевом участке период прохождения пика паводка по продолжительности равен вышележащему участку, но фаза наступления и окончания смещена, ранние сроки на 12 дней. Амплитуда колебания уровня на реке Турухан постепенно возрастает к устью.

Координаты кривых связи верхнего и нижнего бьефа представлены в таблице 1.1 и 1.2, на рисунках 1.1 и 1.2

Таблица 1.1 – Площади горизонталей и уровни воды в верхнем бьефе

Площадь (S, км ²)	2,36	5,02	10,74	18	28,13	42,98
Отметка уровня воды (Z _{вб} , м)	17	20	25	30	35	40

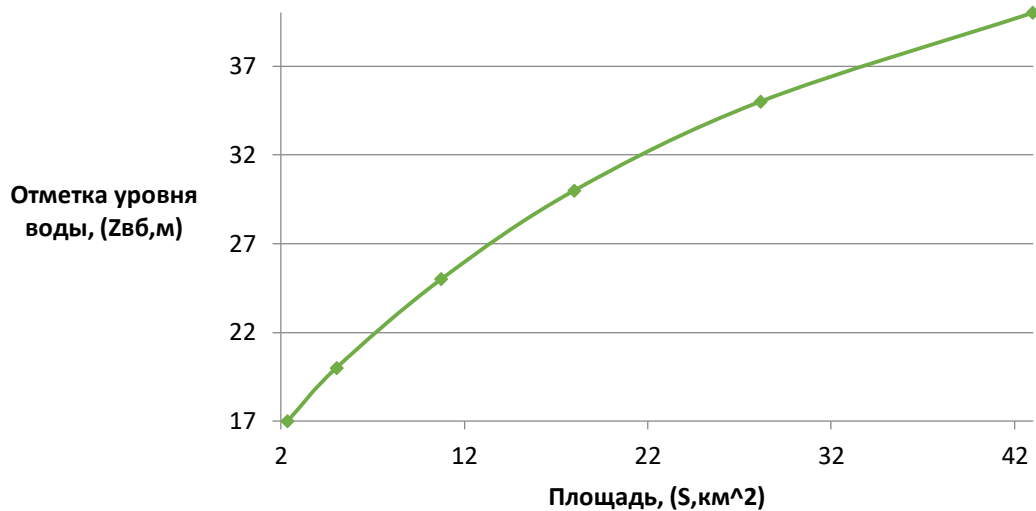


Рисунок 1.1– Кривая связи площадей и уровней воды в верхнем бьефе

Таблица 1.2– Расход реки и уровень воды в нижнем бьефе

Расход реки, Q(м³/с)	0	116	353	803
Отметка нижнего бьефа, $Z_{нб}$(м.)	15	16	17	17,2

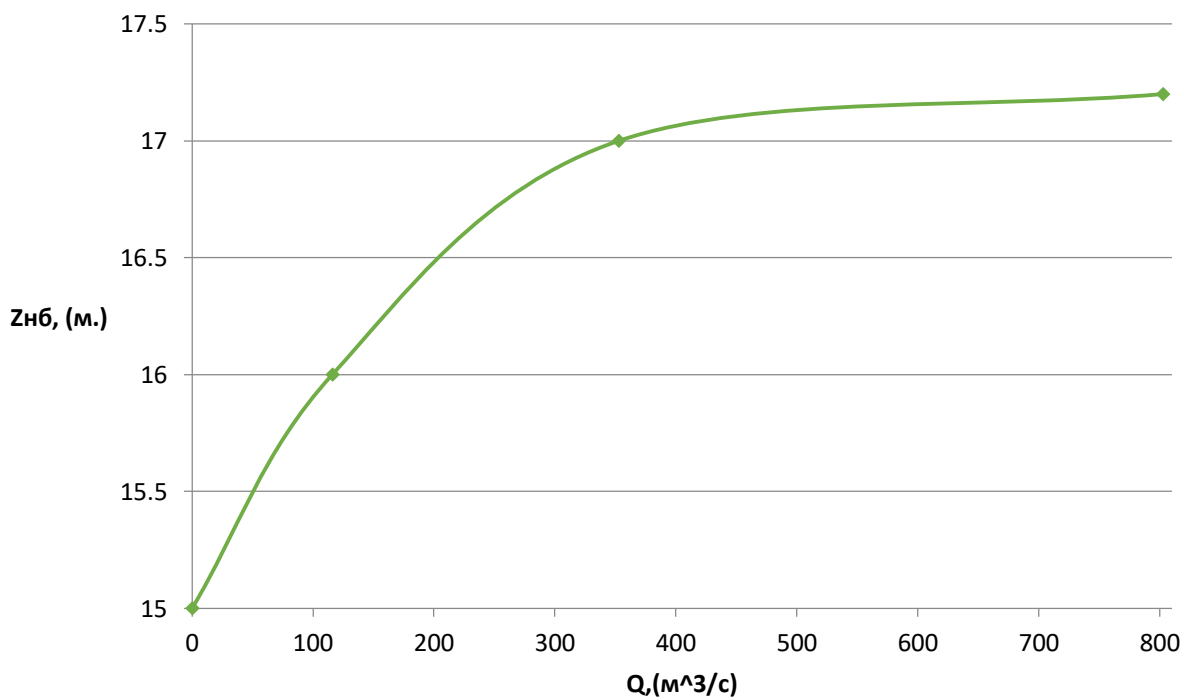


Рисунок 1.2– Кривая связи уровня воды в нижнем бьефе и расхода

2 Водно-энергетические расчёты и определение установленной мощности

2.1 Регулирование стока воды

2.1.1 Исходные данные

Проектируемая ГЭС находится на реке Турухан;
Энергосистема: ОЭС Сибири, Красноярское РДУ $P_{\max} = 6167$ МВт;
Установленная мощность существующих ГЭС 1500 МВт;
Отметка НПУ = 35 м;
Отметка сухого дна = 15 м;
Коэффициент мощности $k_N = 8,8$;
Зимний коэффициент $k_3 = 0,8$;

2.1.2 Кривые обеспеченности расходов

В соответствии с методикой выбора расчетных гидрографов целесообразно разделить год на два основных периода: многоводный и маловодный. В первом приближении можно считать, что к периоду половодья относятся месяцы, в которые расходы больше или равны среднегодовому расходу.

Определив границы сезонов, необходимо для всех лет ряда вычислить средние расходы за год, маловодный сезон и период половодья. Ранжируем каждую последовательность в порядке убывания. По полученным результатам строятся эмпирические кривые обеспеченности по формуле:

$$P(m) = \frac{m}{n + 1} \cdot 100 (\%), \quad (2.1)$$

где $P(m)$ – обеспеченность;

m – порядковый номер члена ряда расходов, расположенного по убыванию;

n – общее число членов ряда.

Расчётные значения обеспеченности для выбора маловодного года принимаем равным 90%, средневодного – 50%.

Эмпирические кривые обеспеченности для средних расходов за год, половодье и межень представлены на рисунке 2.1.

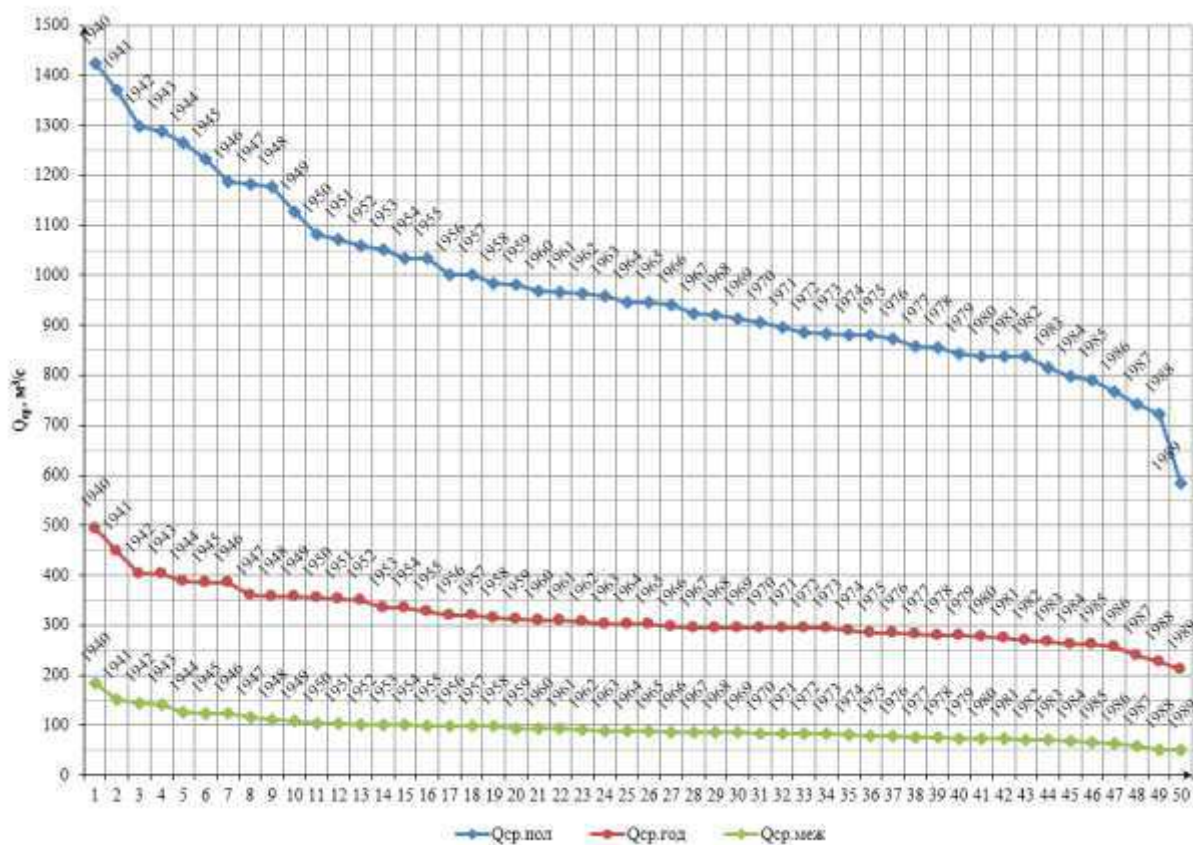


Рисунок 2.1–Эмпирические кривые обеспеченности для средних за год, половодных и меженных расходов

2.1.3 Выбор расчётного маловодного и средневодного года

Для заданной расчетной обеспеченности на кривых обеспеченности отсутствует конкретный год. По кривой обеспеченности годовых расходов определяем ближайшие годы справа и слева от расчетной обеспеченности 50%: 1956 и 1982 гг.

Интерполируем значение расхода для 50% обеспеченности.

Среднеполоводное значение для 50% обеспеченности $Q_{п50\% \text{ базовое}} = 947$ м³/сек – базовое значение.

Маловодное базовое значение для 50% обеспеченности $Q_{м50\% \text{ базовое}} = 137$ м³/сек.

Коэффициенты приведения ближе к 1 для 1956 года. В качестве расчетного средневодного года принимаем 1956 год без корректировки, который представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1–Расходы в расчетном средневодном году 1956 (P=50%), м³/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Qср. год
37	28	25	50	330	1854	528	281	215	178	58	47	303

Для заданной расчетной обеспеченности 90% на кривых обеспеченности соответствует 1955 г. Вычисляем коэффициенты приведения по межени и половодью. В качестве расчетного маловодного года принимаем 1955 г. без корректировки, который представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2–Расходы в расчетном маловодном году 1955 (P=90%), м³/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Q _{ср.} год
21	26	23	33	305	1525	470	261	200	178	58	45	262

По данным из таблиц строятся расчётные гидрографы маловодного и средневодного года, изображённые на рисунке 2.2.

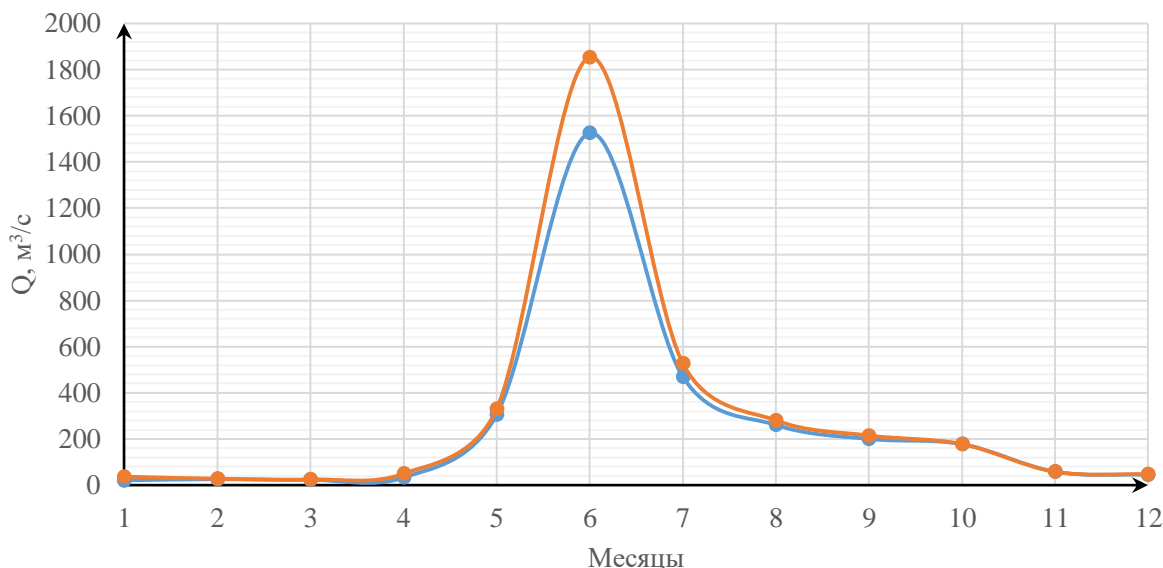


Рисунок 2.2– Гидрограф реки Турухан

2.2 Определение установленной мощности на основе водно-энергетических расчётов

2.2.1 Перераспределение стока маловодного года

Главным критерием при определении параметров проектируемой ГЭС является максимум вытеснения тепловых мощностей в энергосистеме.

Для выбранного расчетного маловодного года (1955г.) вычисляем значение мощности на полезном бытовом стоке для каждого месяца года по формуле:

$$N_{\text{Быт.ГЭС}} = k_N \cdot Q^{\text{пр}90\%} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}}, \quad (2.2)$$

где k_N – коэффициент мощности, $k_N = 8,8$;
 $Q^{\text{пр}90\%}$ – бытовой расход расчетного маловодного года, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}}$ – подведенный напор ГЭС, м.

$$H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}} = Z_{\text{ВБ}} - Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}(t)) - \Delta h, \quad (2.3)$$

где $Z_{\text{ВБ}}$ – отметка верхнего бьефа, соответствующая отметке ∇ НПУ, м;
 $Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}(t))$ – уровень нижнего бьефа, определенный по летней или зимней кривой связи, м;
 Δh – потери напора в водоподводящих сооружениях, $\Delta h = 0,2$ м.

Затем рассчитываем мощность ГЭС в режиме работы по требованиям ВХК по формуле:

$$N_{\text{ВХК}} = k_N \cdot Q_{\text{ВХК}} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}}, \quad (2.4)$$

где $Q_{\text{ВХК}}$ – расход воды по требованиям участников водохозяйственного комплекса, $\text{м}^3/\text{с}$.

2.2.2 Баланс энергии

По данным таблицы строим баланс энергии, представленный на рисунке, который будет необходим для определения установленной мощности ГЭС. Данные представлены в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Данные для построения баланса энергии

Месяцы	$P_{\text{ср}}$, МВт	$N_{\text{сущ. гэс}}$, МВт	$N_{\text{быт}}$, МВт	$N_{\text{ВХК}}$, МВт	$N_{\text{ГЭС}}$, МВт
Январь	5877	1240	2	4	4630
Февраль	5716	1091	3	4	4617
Март	5437	1024	3	4	4405
Апрель	5114	1024	6	4	4080
Май	4835	951	47	4	3833
Июнь	4674	851	182	4	3637

Продолжение Таблицы 2.3

Месяцы	$P_{ср}$, МВт	$N_{сущ. гэс}$, МВт	$N_{быт}$, МВт	$N_{вхк}$, МВт	$N_{ГЭС}$, МВт
Июль	4674	851	69	4	3750
Август	4835	951	39	4	3841
Сентябрь	5114	1024	30	4	4056
Октябрь	5437	1024	27	4	4381
Ноябрь	5716	1091	9	4	4611
Декабрь	5877	1240	6	4	4626

Графическое изображение баланса энергии представлено на плакате «Использование водной энергии».

2.2.3 Водно-энергетические расчёты работы ГЭС в маловодном году

По методике, проведены водно-энергетические расчёты по данным маловодного года. Начало расчёта – момент полного наполнения водохранилища: $V_{НПУ} = 35,00$ м. В результате данного расчёта уточняются гарантированные мощности и определяется наименьший уровень воды в водохранилище при сработке: $V_{УМО} = 34,66$ м.

2.2.4 Определение установленной мощности проектируемой ГЭС

Проектируемая ГЭС, ввиду большого количества гидроэлектростанций в системе, располагается на графике нагрузки в полупиковой и базовой частях. На ИКН изображается 2-ми треугольниками, расположенными в соответствующих частях графика нагрузки.

Установленную мощность проектируемой ГЭС представим в виде суммы:

$$N_{уст.}^{ГЭС} = N_{выт.раб}^{ГЭС} + N_{рез}^{ГЭС}, \quad (2.5)$$

$$N_{уст.}^{ГЭС} = 56 + 4 = 60 \text{ МВт}$$

2.2.5 Баланс мощности

При составлении баланса мощности энергосистемы учитываем, что нагрузочный резерв системы равен 1,5 % от P_t^{max} , аварийный резерв составляет 8% от P_t^{max} .

Нагрузочный резерв расположен на существующих и на проектируемой ГЭС, поэтому аварийный будет размещен на ТЭС. Результаты расчёта представлены в таблице.

Ремонт оборудования ГЭС осуществляется в те месяцы, когда оно не полностью используется в энергосистеме, т.е. когда на ГЭС имеется свободная мощность, данные для этого случая представлены в таблице 2.4

Таблица 2.4 –Баланс мощности энергосистемы

Месяц	Энергосистема			Существующие ГЭС			Проектируемая ГЭС			ТЭЦ		
	max	N _{н.}	N _{а.}	N _{раб.м}	N _{н.}	N _{ре}	N _{раб.м}	N _{н.}	N _{рм}	N _{раб.м}	N _{а.}	N _{ре}
Январь	6167	93	493	1099	91	0	15	1	0	5053	493	0
Февраль	6000	90	480	1082	88	0	25	2	0	4893	480	0
Март	5711	86	457	1072	84	0	20	2	0	4620	457	0
Апрель	5378	81	430	1045	77	0	56	4	0	4276	430	0
Май	5089	76	407	1040	72	0	56	4	0	3993	407	102
Июнь	4922	74	394	1065	70	0	56	4	0	3801	394	285
Июль	4922	74	394	1067	70	0	56	4	0	3799	394	285
Август	5089	76	407	1040	72	0	56	4	0	3993	407	102
Сентябрь	5378	81	430	1105	77	183	56	4	9	4216	430	0
Октябрь	5711	86	457	1156	82	0	56	4	0	4500	457	0
Ноябрь	6000	90	480	1120	86	0	56	4	0	4824	480	0
Декабрь	6167	93	493	1081	88	0	56	5	0	5030	493	0

3. Основное и вспомогательное оборудование ГЭС

3.1 Выбор числа и типа агрегатов

3.1.1 Построение режимного поля

Необходимо определить область допустимых режимов работы проектируемой ГЭС, для этого строим режимное поле с указанием линий ограничений для различных режимов. Данные представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Данные расчёта режимного поля

Кривые связи ВБ НБ		Напорные характеристики			Линия ограничения порасчетной установленной мощности		Линия ограничения по пропускной способности ГЭС	
$Q_{НБ},$ $м^3/с$	$Z_{НБ}, м$	$H_{НПУ}, м$	$H_{УМО}, м$	$H_{ВБ}^{яНБ}$	$H, м$	$Q, м^3/с$	$H, м$	$Q, м^3/с$
0	15,05	19,75	16,29	17,75	18	498,7	15	649,8
100	16,17	18,63	15,17	16,63	17	528,1	14	627,8
200	16,89	17,91	14,45	15,91	16	561,1	13	604,9
300	17,39	17,41	13,95	15,41	15	598,5	12	581,2
400	17,78	17,02	13,56	15,02	14	641,2		
500	18,13	16,67	13,21	14,67				
600	18,45	16,35	12,89	14,35				
700	18,77	16,03	12,57	14,03				
800	19,08	15,72	12,26	13,72				
900	19,37	15,43	11,97	13,43				

Из построенного режимного поля определяем:

–максимальный напор $H_{max} = 18,7м$. Определяется в точке пересечения напорной характеристики при НПУ и линии ограничения по минимальному расходу;

–расчётный напор $H_{расч} = 14,3 м$. Определяется в точке пересечения линии ограничения по расчетной установленной мощности с линией расчётного напора;

–минимальный напор $H_{min} = 12,85 м$. Определяется в точке пересечения напорной характеристики при УМО и линии ограничения по пропускной способности ГЭС.

Построенное режимное поле представлено на рисунке 3.1.

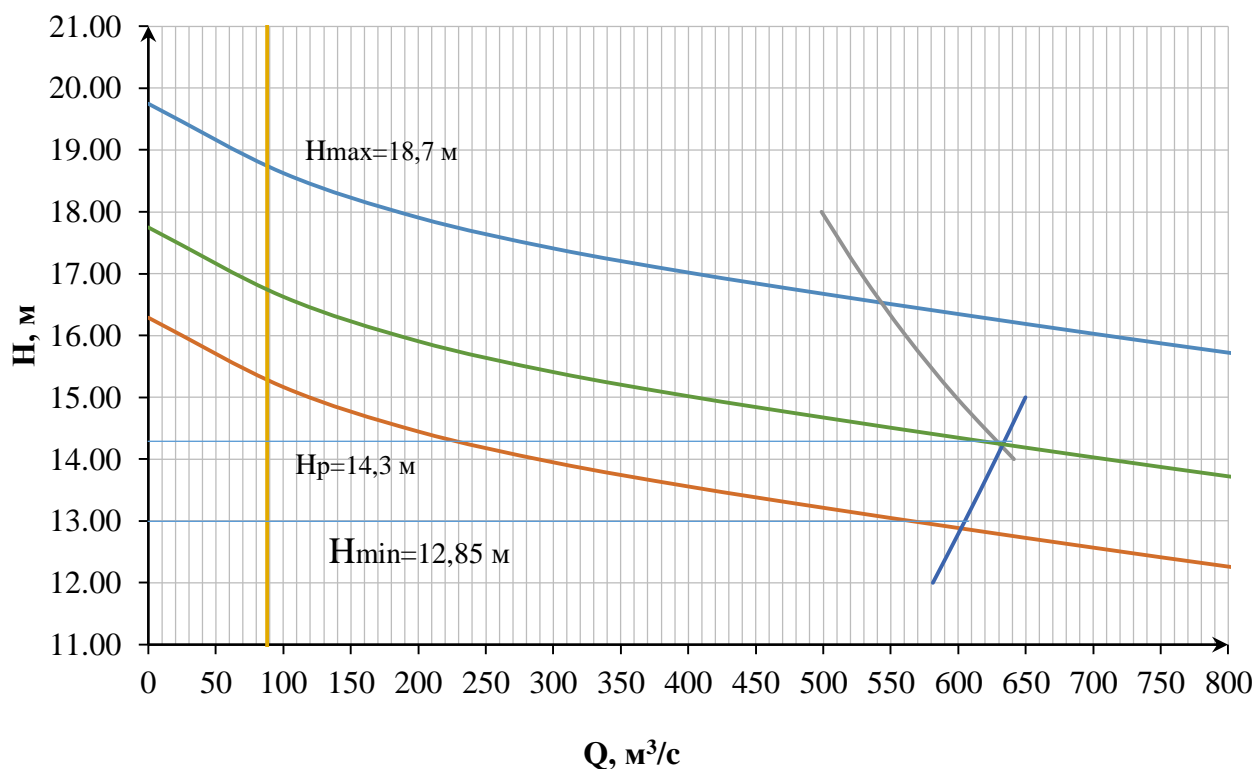


Рисунок 3.1 –Режимное поле

3.1.2 Выбор гидротурбин по главным универсальным характеристикам

Начальным этапом выбора энергетического оборудования является анализ режимного поля. При минимальном расходе в отметке НПУ получается, что максимальный напор равен 18,7 м. Следовательно, выбор выполняется из турбин с максимальным напором 20 метров. Из каталога это турбины системы поворотно-лопастных типа ПЛ20-В. Данные представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Основные характеристики модельных выбираемых турбин

Тип	ПЛ 20 - В
$H_{\text{пред}}$, м	20
$H_{\text{min}}/H_{\text{max}}$	0,5
$n_{\text{I опт}}$, об/мин	146
$Q_{\text{I опт}}$, л/с	1160
$\eta_{\text{м опт}}$	0,92
$Q_{\text{I max}}$, л/с	2000
$\sigma (Q_{\text{I max}})$	1,0
$D_{\text{I мод}}$, м	0,5
$H_{\text{мод}}$, м	10
$t_{\text{мод}}$, °С	20

При расчетах необходимо задаться диаметрами рабочего колеса.

Диапазон диаметров РК для ПЛ20-турбин: 2,8-8,5 м.

Далее рассчитывается КПД натурной гидротурбины для каждого диаметра по формуле:

$$\eta_{HT} = 1 - (1 - \eta_M) \cdot \left[(1 - \varepsilon) + \varepsilon \cdot \sqrt[5]{\frac{D_{1M}}{D_1}} \cdot \sqrt[10]{\frac{H_M}{H_p^N}} \cdot \sqrt[5]{\frac{v_H}{v_M}} \right], \quad (3.1)$$

где η_H, η_M – КПД натурной и модельной гидротурбины соответственно;

$\varepsilon=0,75$ – коэффициент, выражающий отношение потерь трения жидкости к гидравлическим потерям;

D_1, D_{1M} – диаметры натуральных и модельных рабочих колес соответственно;

H_p^N, H_M – напоры расчетный при установленной мощности и модельной гидротурбины соответственно;

v_H, v_M – коэффициенты кинематической вязкости, зависящие от температуры, для натурной и модельной гидротурбины соответственно.

Мощность одного агрегата вычисляется по формуле:

$$N_{agr} = 9,81 \cdot Q_{p.t.} \cdot D_1^2 \cdot H_p^{1,5} \cdot \eta_T, \quad (3.2)$$

где $Q'_{p.t.}$ – приведенный расход в расчетной точке;

η^{cp} – средний КПД гидрогенератора.

Приведенное число гидроагрегатов:

$$Z'_{agr} = \frac{N_{уст}}{N'_{agr}}, \quad (3.3)$$

где $N^{ГЭС}$ – установленная мощность ГЭС.

Для того, чтобы найти уточненную мощность агрегата, нужно принять уточненное число агрегатов Z_{agr} , которое получаем путем округления Z' до целого в большую сторону.

Отсюда уточненная мощность агрегата:

$$N_{agr} = \frac{N_{уст}^{ГЭС}}{Z_{agr}}, \quad (3.4)$$

Расчетная синхронная частота вращения вычисляется по формуле:

$$n'_{1c} = n'_{1p} \cdot \sqrt{H_p^N \cdot \Delta_p \cdot \frac{1}{D_1}}, \quad (3.5)$$

где n'_{1c} – приведенная частота вращения в расчетной точке.

Расчетная синхронная частота вращения определяется округлением до ближайшего большего в ряде значения n_c .

Приведенная частота вращения вычисляется для максимального, расчетного и минимального напоров по формулам:

$$n'_{I_{max}} = \frac{n_{\text{синх}} D_1}{(\Delta_p H_{\text{min}})^{0,5}}; \quad (3.6)$$

$$n'_{I_{\text{расч}}} = \frac{n_{\text{синх}} D_1}{(\Delta_p H_p)^{0,5}}; \quad (3.7)$$

$$n'_{I_{\text{min}}} = \frac{n_{\text{синх}} D_1}{(\Delta_p H_{\text{max}})^{0,5}}; \quad (3.8)$$

Таблица 3.3 – Расчет параметров оборудования при разных диаметрах для турбины ПЛ20-В

D1, м	5	5,6	6	6,3	7,1	7,5
КПД турбины	0,942	0,942	0,943	0,943	0,980	0,945
N' агр, кВт	25,0	31,4	36,0	39,7	52,4	56,4
z', шт	2,40	1,91	1,67	1,51	1,14	1,06
z, шт	3	2	2	2	2	2
Нагр, кВт	20,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Δ	1,023	1,024	1,025	1,025	1,065	1,027
n'c1, об/мин	111,71	99,79	93,16	88,74	80,26	74,59
nc1, об/мин	115,4	100	93,8	90,9	83,3	75
πH _{min} , об/мин	131,9	127,9	128,6	130,8	132,5	128,4
πH _p , об/мин	150,8	146,3	147,0	149,6	151,5	146,8
πH _{max} , об/мин	159,1	154,3	155,1	157,8	159,9	154,9

Данный выбор диаметров связан с тем, что число агрегатов проектируемой ГЭС должно выбираться кратным двум или трем, что упрощает главную схему электрических соединений, обеспечивает взаимозаменяемость электротехнического оборудования, улучшает условия и снижает затраты при проведении его ремонта, рассчитанные параметры представлены в таблице 3.3

После предварительного выбора необходимо построить рабочую зону работы гидротурбины. Для этого нашли расчетную и максимальную точки, которые рассчитали при помощи уравнения:

$$Q'_1 \cdot \eta_{\text{HT}} = \frac{N_{\text{агр}}}{9,81 \cdot D_1^2 \cdot H_p^N \cdot \sqrt{H_p^N \cdot \eta_{\text{Г}}^{\text{ср}}}}; \quad (3.9)$$

$$Q'_{1max} \cdot \eta_{HT} = \frac{N_{арр}}{9,81 \cdot D_1^2 \cdot H_{max} \cdot \sqrt{H_{max} \cdot \eta_{Г}^{cp}}}; \quad (3.10)$$

Для ПЛ20-В-500:

$$Q'_1 \cdot \eta_{HT} = \frac{20000}{9,81 \cdot 5^2 \cdot 14,3 \cdot \sqrt{14,3 \cdot 0,97}} = 1,56 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q'_1 = 1,74 \text{ м}^3/\text{с}; \eta_{HT} = 0,90;$$

$$Q'_{1max} \cdot \eta_{HT} = \frac{20000}{9,81 \cdot 5^2 \cdot 18,7 \cdot \sqrt{18,7 \cdot 0,97}} = 1,04 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q'_{1max} = 1,14 \text{ м}^3/\text{с}; \eta_{HT} = 0,92;$$

Для остальных гидроагрегатов сведем расчеты в таблицу 3.4

Таблица 3.4 – Расчетные и максимальные точки

Наименование	$Q'_1 \cdot \eta_{HT}$	$Q'_1, \text{м}^3/\text{с}$	η_{HT}	$Q'_{1max} \cdot \eta_{HT}$	Q'_{1max}	η_{HT}
ПЛ20-В-500	1,56	1,74	0,90	1,04	1,14	0,92
ПЛ20-В-560	1,86	2,16	0,86	1,24	1,38	0,90
ПЛ20-В-600	1,62	1,85	0,88	1,08	1,19	0,91
ПЛ20-В-630	1,47	1,62	0,91	0,98	1,07	0,92
ПЛ20-В-710	1,16	0,16	0,92	0,77	0,85	0,91
ПЛ20-В-750	1,04	1,13	0,92	0,69	0,77	0,91

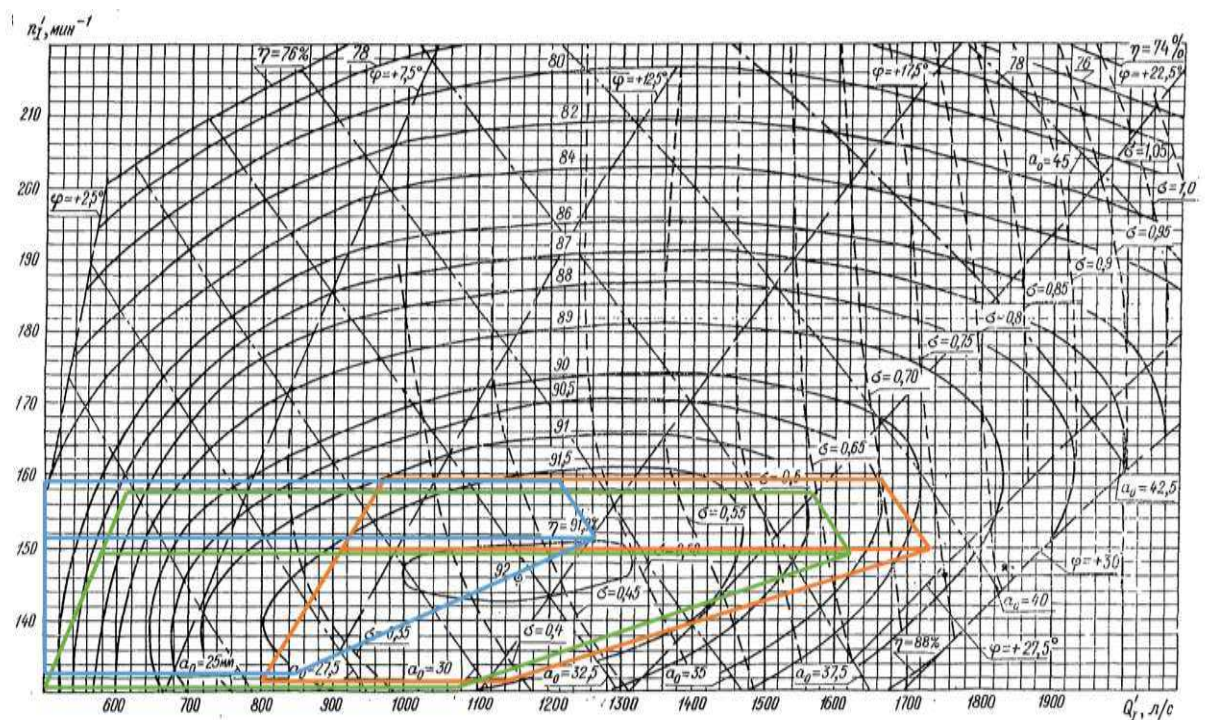


Рисунок.3.2 – Главная универсальная характеристика

3.1.3 Проверка работы гидротурбины при ограничении по минимальному расходу.

Для построения рабочей зоны работы гидротурбины необходимо учесть минимальный расход, пропускаемый в нижний бьеф. Воспользуемся универсальной характеристикой, представленной на рисунке 3.2

В данном курсовом проекте минимальный расход – это расход на водохозяйственный комплекс, равный 87,5 м³/с.

Приведенный минимальный расход при максимальном и минимальном напорах соответственно:

$$Q'_{max.сан} = \frac{Q_{min}}{z_a \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{\Delta_p \cdot H_{max}}}; \quad (3.11)$$

$$Q'_{min.сан} = \frac{Q_{min}}{z_a \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{\Delta_p \cdot H_{min}}}; \quad (3.12)$$

Все результаты сведены в таблицу 3.5

Таблица 3.5 – Приведенный минимальный расход при H_{max} и H_{min}

Наименование	$Q'_{max.сан}$	$Q'_{min.сан}$
ПЛ20-В-500	0,80	0,97
ПЛ20-В-560	0,64	0,77
ПЛ20-В-600	0,56	0,67
ПЛ20-В-630	0,50	0,61
ПЛ20-В-710	0,39	0,47
ПЛ20-В-750	0,36	0,43

На основе проведенных расчетов, представленных в таблице 3.5 к дальнейшему рассмотрению приняли гидротурбины ПЛ20-В-500 и ПЛ20-В-630, так как расположение зон работы данных гидротурбин оптимально, т.е. точка оптимума находится в зоне работы в отличие от турбин диаметром 710 и 750 мм, их расчетные точки располагаются на главной универсальной характеристике и не выходят за ее границы, чем не удовлетворяют диаметры 560 и 600 мм из-за чего они и не были представлены на Рисунок 3.2.

3.1.4 Определение отметки установки рабочего колеса для обеспечения её бескавитационной работы турбины.

Чтобы определить отметку рабочего колеса, нужно учесть её бескавитационную работу:

$$\nabla z_{рк} = \nabla z_{НБ}(Q_{НБ}) + H_s; \quad (3.13)$$

где $\nabla z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}})$ – отметка уровня воды в нижнем бьефе в зависимости от расхода в нижнем бьефе;

H_s – высота отсасывания для поворотно-лопастных гидротурбин:

$$H_s = 10,3 - \frac{\nabla z_{\text{НБ}}}{900} - \sigma \cdot H - 1,5, \quad (3.14)$$

После определения расчетных значений высот отсасывания определили отметки установки рабочего колеса. Наименьшая отметка отмечена на компоновочном чертеже установки.

3.1.5 Выбор оптимального варианта.

После проведения ряда расчетов составим таблицу результатов 3.6

Таблица 3.6 – Результаты расчета

Турбина	D_1 , м	z_a	n_{c1} , об/мин	$N_{\text{агр}}$, кВт	N при H_p , м	N при H_{max} , м	N при H_{min} , м	$z_{\text{рк}}^{\text{min}}$, м	Наличие серийного генератора
ПЛ20-В500	5,0	3	115,4	20000	-0,21	-1,63	2,01	15,04	СВ-866/70-52
ПЛ20-В630	6,3	2	90,9	30000	0,55	-0,7	1,76	16,43	Нет

Из двух, принятых в рассмотрение вариантов, представленных в таблице 3.6, была выбрана турбина ПЛ20-В-500, что обусловлено следующим: высота отсасывания обеспечивает минимальное заглубление рабочего колеса и минимальную отметку установки рабочего колеса; на данную турбину подобран серийный генератор, подходящий мощности; турбина имеет наименьший диаметр и меньшие размеры машинного зала; расположение рабочей зоны находится в зоне максимальных КПД.

3.2 Выбор энергетического оборудования

3.2.1 Выбор типа серийного гидрогенератора

Гидрогенератор является важнейшей частью оборудования для выработки электроэнергии, поэтому выбирают его с особой точностью.

Для выбора гидрогенератора необходимо знать следующие данные: частота вращения, мощность агрегата и число пар полюсов.

Число пар полюсов:

$$p = \frac{60 \cdot f}{n} = 26; \quad (3.15)$$

$$p = \frac{60 \cdot 50}{115,4} = 26;$$

где f – частота сети, в ОЭС России частота сети равна 50Гц;
 n – частота вращения агрегата.

По каталогу выбираем гидрогенератор СВ-866/70-52, основные характеристики которого представлены в таблице 3.7

Таблица 3.7 – Основные характеристики генератора СВ-866/70-52

Активная мощность $P_{ном}$, МВт	23
Коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном}$	28,8
Частота вращения $n_{ном}$, об/мин	115,4
Коэффициент мощности, $\cos\varphi$	0,8
Напряжение $U_{ном}$, кВ	10,5
Исполнение	Зонтичное
КПД, %	97,6
Диаметр статора, мм	9860

3.2.2 Расчет вала и подшипников

Вал является связующим звеном между гидротурбиной и гидрогенератором. Он воспринимается крутящие и сжимающие нагрузки. Расчет вала ведется по крутящим нагрузкам.

Крутящий момент на валу:

$$M_{кр} = 0,00974 \cdot \frac{N}{n_{синх}}, \quad (3.16)$$

$$M_{кр} = 0,00974 \cdot \frac{20000}{115,4} = 1,69,$$

Отсюда наружный диаметр вала:

$$D_B^* \geq \left(5,1 \cdot \frac{M_{кр}}{[\tau_{доп}]} \right)^{0,33} = \left(5,1 \cdot \frac{1,69}{30} \right)^{0,33} = 0,66 \text{ м} \quad (3.17)$$

где $[\tau_{доп}] = 33$ – это допустимое скручивающее усилие навалу.

Наружный диаметр вала принимаем $D_B = 0,7$ м. Направляющий подшипник турбины выбирается по критерию работоспособности. Для этого необходимо узнать радиальную силу на рабочем колесе:

$$R_{рад} = 0,8 \cdot \frac{N}{n_{синх} \cdot D_1}, \quad (3.18)$$

$$R_{\text{рад}} = 0,8 \cdot \frac{20000}{115,4 \cdot 5,0} = 27,7 \text{ кН}$$

Рассмотрим кольцевой подшипник. Диаметр вала под подшипник принимается $d_{\text{п}} = 0,715$ м; высота подшипника $h_{\text{п}} = 0,3$ м; Удельное давление и допустимое удельное давления для кольцевого подшипника соответственно равны:

$$p_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{рад}}}{d_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}} \quad (3.19)$$

$$p_{\text{уд}} = \frac{27,7}{0,715 \cdot 0,3} = 129,3 \text{ кПа};$$

$$[p_{\text{уд}}] = 29 \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_c \cdot d_{\text{п}}}{30} \right) \quad (3.20)$$

$$[p_{\text{уд}}] = 29 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 115,4 \cdot 0,715}{30} \right) = 250,45 \text{ кПа};$$

Так как условие $p_{\text{уд}} < [p_{\text{уд}}]$ выполняется, следовательно подшипник подходит. Рассмотрим сегментный подшипник. Для данного подшипника при диаметре вала $D_{\text{В}} = 0,7$ м, принимается число сегментов $Z_{\text{сегм}} = 8$.

Усилие на наиболее загруженный сегмент:

$$R_1 = \frac{R_{\text{рад}}}{(1 + 2\cos\alpha + 2\cos(2\alpha))} \quad (3.21)$$

$$R_1 = \frac{27,7}{(1 + 2\cos(45) + 2\cos(2 \cdot 45))} = 11,46 \text{ кПа};$$

где, α – центральный угол расположения сегментов, равный:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{Z_{\text{сегм}}} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ \quad (3.22)$$

Длина сегмента в окружном направлении:

$$l_{\text{сегм}} = \frac{0,87 \cdot \pi \cdot d_{\text{п}}}{Z_{\text{сегм}}} \quad (3.23)$$

$$l_{\text{сегм}} = \frac{0,87 \cdot 3,14 \cdot 0,715}{8} = 0,24 \text{ м};$$

Удельное давление и допустимое удельное давление на сегмент соответственно:

$$p_{уд} = \frac{R_{рад}}{l_{сегм} \cdot h_{п}}, \quad (3.24)$$

$$p_{уд} = \frac{27,7}{0,24 \cdot 0,3} = 387,49 \text{ кПа};$$

$$[p_{уд}] = 50 \left(\frac{\pi \cdot n_c \cdot d_{п}}{30} \right), \quad (3.25)$$

$$[p_{уд}] = 50 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 115,4 \cdot 0,715}{30} \right) = 431,81 \text{ кПа};$$

Условие $p_{уд} < [p_{уд}]$ выполняется. В результате расчета подшипников выбираем сегментный подшипник.

3.2.3 Расчет спиральной камеры

Угол охвата спиральной камеры $\varphi_{сп} = 210^\circ$ - рекомендуемый угол охвата спиральной камеры, берется из ГУХ.

Наружный радиус входного сечения:

$$r_{вх} = 1,63 \cdot D_1, \quad (3.26)$$

$$r_{вх} = 1,63 \cdot 5,0 = 8,2 \text{ м}$$

Диаметр входных и выходных кромок статора: $D_a = 7,7$ м и $D_b = 6,8$ м. Следовательно, $r_a = 3,85$ м и $r_b = 3,4$ м. Высота направляющего аппарата и высота статора соответственно:

$$b_0 = 0,43 \cdot D_1, \quad (3.27)$$

$$V_{ст} = b_0 + 0,0033 \cdot D_1, \quad (3.28)$$

$$V_{ст} = 2,2 \cdot 0,0033 \cdot 5,0 = 2,2 \text{ м}$$

Закон изменения положения вершин сечений – линейный.

Допустимые средние скорости волны во входном сечении по расчетному напору: $V_{вх} = 3,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

Форму меридианного сечения спиральной камеры принимаем с плоским потолком с углом $\gamma = 15^\circ$. При таком сечении наиболее просто осуществляются проходы в шахту турбины, установка вспомогательного оборудования и трубопровода.

Полный расход через турбину при расчетных значениях напора и мощности:

$$Q_0 = \frac{N}{9,81 \cdot H_p \cdot \eta_{max}} \quad , \quad (3.29)$$

$$Q_0 = \frac{20000}{9,81 \cdot 14,3 \cdot 0,915} = 155,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход через сечение спирального канала камеры:

$$Q_i = \frac{Q_0 \cdot \varphi}{360} \quad , \quad (3.30)$$

$$Q_i = \frac{155,8 \cdot 210}{360} = 91,4 \text{ м}^3/\text{с}$$

Принимаем следующее допущение: площадь поперечного входного сечения определяется по величине допустимой средней скорости:

$$F_{\text{ВХ}} = \frac{Q_i}{V_{\text{ВХ}}} \quad , \quad (3.31)$$

$$F_{\text{ВХ}} = \frac{91,4}{3,4} = 26,9 \text{ м}^2$$

Высота входного сечения определяется из квадратного уравнения:

$$F_{\text{ВХ}} = b_0 \cdot (r_a - r_b) + (r_{\text{ВХ}} - r_a) \cdot b_{\text{ВХ}} - \frac{(b_{\text{ВХ}} - b_0)^2}{2} \cdot \text{tg}15^\circ \quad , \quad (3.32)$$

Отбрасывая один из корней, получаем $b_{\text{ВХ}} = 6,74 \text{ м}$.

$$a_{\text{ВХ}} = r_{\text{ВХ}} - r_a = 8,2 - 3,85 = 4,3 \text{ м} \quad , \quad (3.33)$$

Дальнейший расчет спиральной камеры выполнен аналитическим методом:

$$a_i = r_i - r_a \quad , \quad (3.34)$$

$$m_i = k_2 \cdot a_i = \frac{m_{\text{ВХ}}}{a_{\text{ВХ}}} \cdot a_i \quad , \quad (3.35)$$

$$b_i = m_i + b_0 \quad , \quad (3.36)$$

$$r_k = r_a + m_i \cdot \operatorname{tg}15^\circ, \quad (3.37)$$

Значение интеграла для любого сечения:

$$J_i = b_0 - \ln\left(\frac{r_a}{r_b}\right) + b_i \cdot \ln\left(\frac{r_i}{r_a}\right) - r_k \cdot \operatorname{ctg}\gamma \cdot \ln\left(\frac{r_k}{r_a}\right) + m_i, \quad (3.38)$$

Величина угла спирали и расхода для любого сечения соответственно:

$$\varphi_i^0 = \frac{180}{J_{\text{ВХ}}} \cdot J, \quad (3.39)$$

$$Q_i^0 = \frac{Q_{\text{ВХ}}}{J_{\text{ВХ}}} \cdot J, \quad (3.40)$$

Результаты расчета сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Расчет спиральной камеры

Величина	Сечения											
	$r_{\text{ВХ}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$r_{\text{ВЫХ}}$
r_i	8,15	7,72	7,28	6,85	6,41	5,98	5,55	5,11	4,68	4,24	3,81	3,38
b_i	6,72	6,26	5,80	5,34	4,88	4,41	3,95	3,49	3,03	2,57	2,11	1,
r_k	5,08	4,95	4,83	4,70	4,58	4,46	4,33	4,21	4,09	3,96	3,84	3,
r_k/r_a	1,32	1,29	1,25	1,22	1,19	1,16	1,13	1,09	1,06	1,03	1,00	0,
$\ln(r_k/r_a)$	0,28	0,25	0,23	0,20	0,17	0,15	0,12	0,09	0,06	0,03	0,00	0,
r_i/r_a	2,12	2,00	1,89	1,78	1,67	1,55	1,44	1,33	1,21	1,10	0,99	0,
$\ln(r_i/r_a)$	0,75	0,70	0,64	0,58	0,51	0,44	0,36	0,28	0,19	0,10	0,01	0,
$b_i \cdot \ln(r_i/r_a)$	5,04	4,35	3,70	3,07	2,49	1,94	1,44	0,99	0,59	0,25	0,02	0,
$r_k \cdot \operatorname{ctg}\gamma$	18,9	18,48	18,02	17,56	17,10	16,6	16,1	15,7	15,25	14,7	14,3	13
$r_k \cdot \operatorname{ctg}\gamma \cdot \ln(r_k)$	5,24	4,65	4,08	3,52	2,97	2,44	1,9	1,40	0,91	0,42	0,04	0,
m_i	4,57	4,11	3,65	3,19	2,73	2,26	1,80	1,34	0,88	0,42	0,04	0,
J_i	4,66	4,10	3,55	3,03	2,53	2,06	1,62	1,21	0,85	0,53	0,26	0,
i	210	184,4	159,8	136,2	113,8	92,6	72,8	54,5	38,11	23,7	11,7	2,

По рассчитанным промежуточным сечениям спирали, представленных в таблице 3.8, построен график $\varphi_{\text{сп}} = f(r_i)$. График представлен на рисунке 3.3

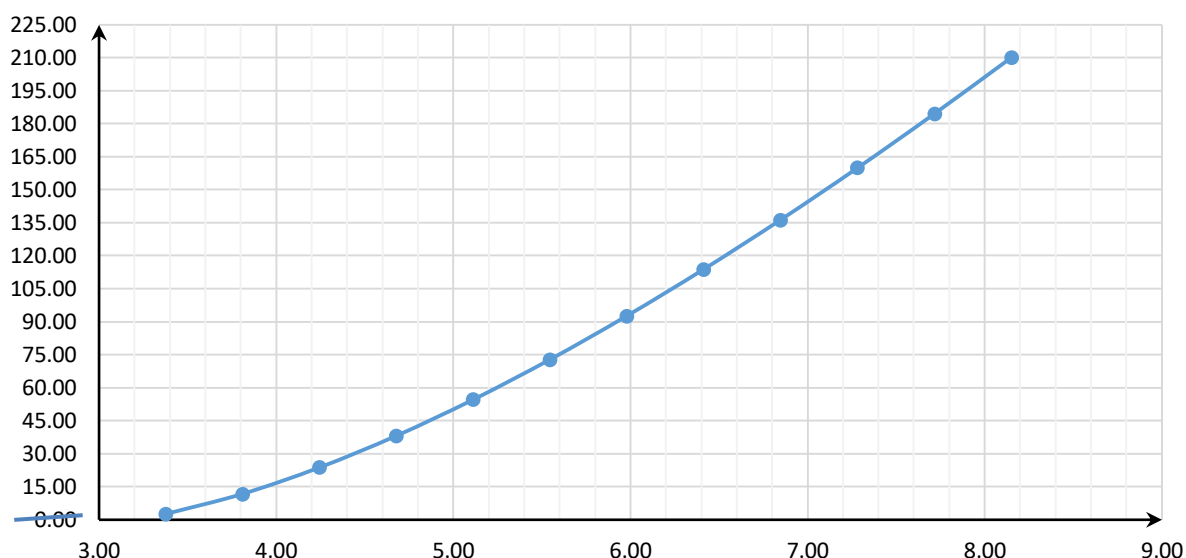


Рисунок 3.3 – График зависимости $\Phi_{сп}=f(r_i)$

План спирали, представленный на рисунке 3.4, построен по таблице 3.9. Значения для таблицы получены путем разбиения угла охвата спиральной части камеры на интервалы с $\Delta\phi_{сп}=15^\circ$.

Таблица 3.9 – Координаты для построения спиральной камеры

φ	0	15	30	45	60	75	90	105
r, м	3	4	4,47	4,9	5,26	5,65	5,94	6,26
φ	120	135	150	165	180	195	210	
r, м	6,58	6,83	7,11	7,2	7,63	7,9	8,15	

Определение ширины подвода из ГУХ:

$$B' = 2,65 \cdot D_1 \quad , \quad (3.41)$$

$$B' = 2,65 \cdot 5,0 = 13,25 \text{ м}$$

Так как ширина подвода больше 7 м, необходимо установить промежуточный бычок, толщину которого можно приближенно вычислить из выражения:

$$b \geq 1 + \frac{Q_{max}}{400} = 1 + \frac{159,12}{400} = 1,40 \text{ м} \quad , \quad (3.42)$$

где Q_{max} – максимальный расход воды через турбину.

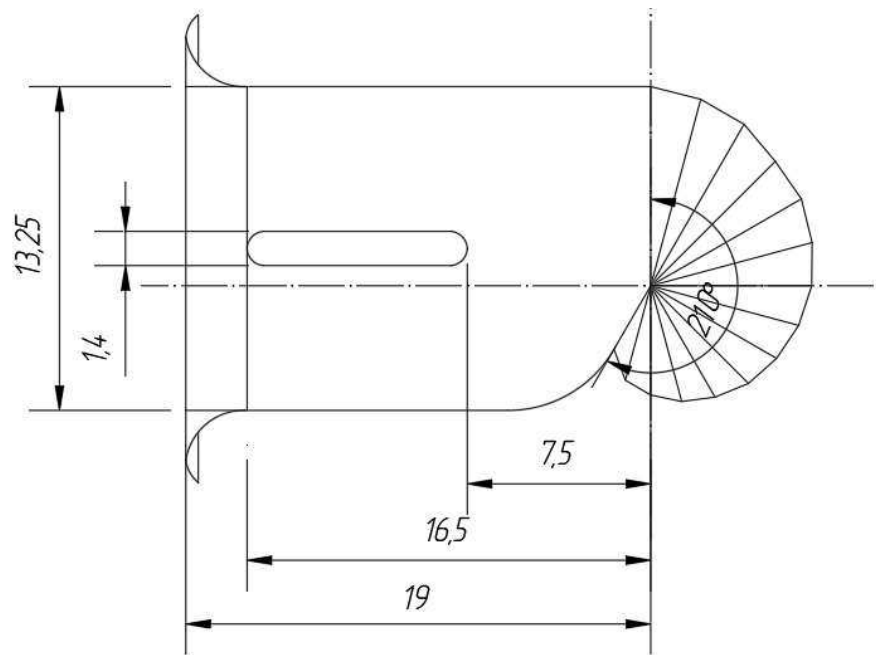


Рисунок 3.4 – Спиральная камера, вид сверху

3.3 Выбор типа и размеров маслонапорной установки и регулятор частоты вращения

Выбор производится по справочной литературе.

Для управления открытием направляющего аппарата и углом поворота лопастей рабочего колеса, для смазки подпятника необходимо иметь на гидроэлектростанции масляное хозяйство. Этот комплекс состоит из маслонапорной установки, регулятора частоты вращения, маслохранилища, трубопроводов и насосов для перекачки масла.

Маслонапорная установка (МНУ) состоит из гидроаккумулятора маслонасосного агрегата и аппаратуры автоматики.

Для турбины Турейской ГЭС в каталоге была выбрана следующая МНУ: МНУ 4/1-40-4-2 (масса: 6,9 т), в которой включены:

- Гидроаккумулятор ГА 4/1-40 (емкость 4 м³; 1 сосуд);
- Маслонасосный агрегат МА4-2 (емкость 4 м³);
- Насос: 3В 16/40ГТ (2 шт.; Q=6,2 л/с; N=36 кВт);
- Двигатель: 4А200М2 (2 шт.; N=37 кВт; масса: 3,9 т).

4. Компонировка и сооружения гидроузла

4.1 Определение отметки гребня грунтовой плотины и гребня быка

4.1.1. Грунтовая плотина

Отметку гребня грунтовой плотины определяем по формуле

$$\nabla_{\text{ГГП}} = \nabla_{\text{НПУ}} + h_s, \quad (4.1)$$

где h_s – превышение гребня плотины над расчетным уровнем в верхнем бьефе:

$$h_s = h_{\text{run}1\%} + \Delta h_{\text{set}} + a, \quad (4.2)$$

где $h_{\text{run}1\%}$ – высота наката волн расчетной обеспеченностью 1% на откос грунтовой плотины;

Δh_{set} – высота ветрового нагона;

a – конструктивный запас, принимаем 0,5 м или $0,1h_{1\%}$.

Определим высоту ветрового нагона:

$$\Delta h_{\text{set}} = k_w \cdot \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot d} \cdot \cos \alpha = 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{14^2 \cdot 593,1}{9,81 \cdot 10} \cdot 1 = 0,025, \quad (4.3)$$

где $\alpha = 0$ – угол между продольной осью водохранилища и направлением ветра;

$V_w = 14$ м/с – расчетная скорость ветра, на высоте 10 м над уровнем воды;

$L = 593,1$ м – длина разгона волны;

$k = 2,1 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент;

d – условная расчетная глубина воды в водохранилище, определяется как:

$$d = \frac{\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дна}}}{2} = \frac{35 - 15}{2} = 10 \text{ м}. \quad (4.4)$$

Необходимо определить высоту волны 1% обеспеченности, для основного сочетания нагрузок. Для этого вычисляем безразмерные комплексы:

$$\frac{gL}{V_w^2} = \frac{9,81 \cdot 593,1}{14^2} = 29,67, \quad (4.5)$$

$$\frac{gt}{V_w} = \frac{9,81 \cdot 21600}{14} = 15135,4, \quad (4.6)$$

где $t = 21600$ с – период развития волн на водохранилище.

По графику (2, рисунок 1) по верхней огибающей кривой, по значениям $\frac{gL}{V_w^2}$ и $\frac{gt}{V_w}$ определяют параметры $\frac{g\bar{h}}{V_w^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{V_w}$.

$$\text{При } \frac{gL}{V_w^2} = 29,67: \frac{g\bar{h}}{V_w^2} = 0,01; \frac{g\bar{T}}{V_w} = 1,1.$$

$$\text{При } \frac{gt}{V_w} = 15135,4: \frac{g\bar{h}}{V_w^2} = 0,092; \frac{g\bar{T}}{V_w} = 4,4.$$

Принимаем наименьшие значения комплексов $\frac{g\bar{h}}{V_w^2} = 0,01$, $\frac{g\bar{T}}{V_w} = 1,1$ и находим средний период волны \bar{T} (с) и среднюю высоту волны \bar{h} (м):

$$\bar{T} = \frac{1,1 \cdot V_w}{g} = \frac{1,1 \cdot 14}{9,81} = 1,57 \text{ м}, \quad (4.7)$$

$$\bar{h} = \frac{0,01 \cdot V_w^2}{g} = \frac{0,01 \cdot 14^2}{9,81} = 0,2 \text{ м}. \quad (4.8)$$

Вычисляем среднюю длину волны:

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot 1,57^2}{2 \cdot 3,14} = 3,85 \text{ м}. \quad (4.9)$$

Проверяем условие глубоководности зоны водохранилища:

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

$$10 \text{ м} > 0,5 \cdot 3,85 = 1,92 \text{ м}.$$

Условие выполнено – зона глубоководная.

Определяем высоту волны 1% обеспеченности:

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot K_i = 0,2 \cdot 2,1 = 0,42 \text{ м}, \quad (4.10)$$

Определим высоту наката волн расчетной обеспеченностью 1% на откос грунтовой плотины:

$$h_{run1\%} = k_r \cdot k_p \cdot k_{sp} \cdot k_{run} \cdot h_{1\%} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 0,42 = 0,68 \text{ м}, \quad (4.11)$$

где k_r и k_p – коэффициенты шероховатости и проницаемости откоса, для каменного покрытия плит $k_r=1$, $k_p=0,9$;

$k_{sp} = 1,3$ – коэффициент, принимаемый;

Определим превышение гребня плотины над расчетным уровнем в верхнем бьефе по формуле 4.2

$$h_s = h_{run1\%} + \Delta h_{set} + a = 0,68 + 0,025 + 0,5 = 1,2 \text{ м}.$$

Определим отметку гребня грунтовой плотины по формуле 4.1

$$\nabla_{ГГП} = 35 + 1,2 = 36,2 \text{ м}.$$

4.1.2 Бетонная плотина

Для бетонных плотин с вертикальной напорной гранью отметку гребня находят по формуле

$$\nabla_{ГБП} = \nabla_{НПУ} + h_{1\%} + a = 35 + 0,42 + 0,7 = 36,1 \text{ м}, \quad (4.12)$$

где a – запас, для сооружения II класса $a = 0,7$ м.

Отметка гребня быка бетонной водосливной плотины:

$$\nabla_{ГБ} = \nabla_{ГВ} + 1,6 \cdot H_{ст} = 31 + 1,6 + 4 = 37,4 \text{ м}. \quad (4.13)$$

4.2 Гидравлический расчет

Гидравлическими расчетами устанавливается: ширина водосливного фронта и размеры водосливных отверстий, отметка гребня водослива, форма водосливной грани и сопряжение ее с водобоем, сопряжение потока в нижнем бьефе, наличие и параметры гасителей энергии воды в нижнем бьефе.

4.2.1 Определение ширины водосливного фронта

Определяют расчетный расход воды для основного расчетного случая который должен пропускаться, при НПУ через все эксплуатационные водопропускные сооружения гидроузла при полном их открытии и через

гидроагрегаты ГЭС. Количество агрегатов, участвующих в пропуске расчетных расходов должно быть не более: $(n - 1)$ при числе гидроагрегатов ГЭС $n < 6$; $(n = 2)$.

Расчетный расход определяется по формуле

$$Q_p = Q_{\max.p.осн} - Q_{ГЭС} - Q_{ав} = 2970 - 257,43 - 0,44 = 2712,13 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.14)$$

где $Q_{\max.p.осн}$ – максимальный расчетный расход для основного расчетного случая с учетом трансформации его водохранилищем и вероятностью превышения, соответствующей 2 классу сооружения, $(2970 \text{ м}^3/\text{с})$;

$Q_{ГЭС}$ – расход через гидроагрегаты ГЭС, участвующие в пропуске расчетного расхода, всего 3 агрегата, $Q_{ГЭС}$ 1 агрегата = $128,7 \text{ м}^3/\text{с}$, (в пропуске участвует 2 агрегата $Q_{ГЭС} 257,43 \text{ м}^3/\text{с}$);

$Q_{ав}$ – расход через водовыпуск, который определяется по формуле

$$Q_{ав} = \frac{W_{пол}}{t_{opt}} = \frac{6900000}{15768017} = 0,44 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.15)$$

где $W_{пол}$ – полезный объем водохранилища (6900000 м^3) ;

t_{opt} – время сработки водохранилища (15768017 с) .

Такое малое значение получается, так как разница между отметками НПУ и УМО тоже слишком мала.

Ширина водосливного фронта определяется по формуле

$$B = \frac{Q_p}{q_b} = \frac{2712,13}{13,8} = 196,8 \text{ м}, \quad (4.16)$$

где q_b – удельный расход на водосливе, равный:

$$q_b = 1,25 \cdot q_p = 1,25 \cdot 11,03 = 13,8 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.17)$$

где q_p – удельный расход на рисберме, определяется как:

$$q_p = [v_h] \cdot h_{НБ} = 3,5 \cdot 3,15 = 11,03 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.18)$$

где $h_{НБ}$ – глубина воды в нижнем бьефе, при $Q_{\max.p.осн}$ ($h_{НБ} = 3,15 \text{ м}$);

$[v_h]$ – допустимая скорость на рисберме, принимается в зависимости от грунтов, слагающих дно реки, песчаные грунты ($[v_h] = 3,5$ м/с).

Ширина водосливного фронта B должна быть целым числом, поэтому полученное значение округляют в большую сторону и, $B = n \cdot b$, где n – число пролетов (принимаем 11), b – стандартная ширина пролета, принимается в соответствии с техническим регламентом заводов – изготовителей гидромеханического оборудования, принимаем 18 м.

Таким образом:

$$B = n \cdot b = 11 \cdot 18 = 198 \text{ м} > 196,8 \text{ м.}$$

Так как количество пролетов n получилось больше 6, то учитывая вероятность невозможности открытия 1 затвора добавляем еще 1 пролет. При этом расчет на пропуск расчетного расхода будет производиться при НПУ, без учета дополнительного пролета, а при расчете поверочного расчетного расхода, дополнительный пролет будем учитывать, и ширину водосливного фронта принимаем соответственно $B + b = 198 + 18 = 216$ м.

4.2.2 Определение отметки гребня водослива

Рассчитываем криволинейный без вакуумный водослив практического профиля.

По формуле расхода для водосликов методом последовательных приближений определяют напор на гребне водослива, сначала без учета сжатия и подтопления – H_{01} , а затем с учетом сжатия и подтопления – H_{02} .

$$H_{01} = \left(\frac{Q_p}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{2712,13}{0,49 \cdot 216 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 3,22 \text{ м,} \quad (4.19)$$

где m – коэффициент расхода, принимается в зависимости от формы профиля водослива (принимаем водослив практического профиля, типа А с $m = 0,49$).

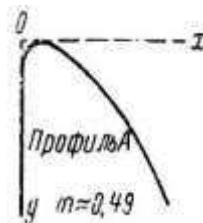


Рисунок 4.1 – Очертание водосливной стенки Кригера – Офицерова, тип А

$$H_{02} = \left(\frac{Q_p}{m \cdot \varepsilon \cdot \sigma_n \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{2712,13}{0,49 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 216 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 3,29 \text{ м}, \quad (4.20)$$

где σ_n – коэффициент подтопления, принимаем $\sigma_n = 1$;
 ε – коэффициент бокового сжатия определяется по формуле

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{\xi + (n-1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b} = 1 - 0,2 \cdot \frac{1 + (12-1) \cdot 0,8}{12} \cdot \frac{3,22}{18} = 0,97, \quad (4.21)$$

где b – ширина пролета;

n – число пролетов;

$\xi = 1$ – коэффициент формы боковых устоев;

$\xi_0 = 0,8$ – коэффициент формы верховой грани быков в плане;

Определим напор на гребне водослива (без учета скорости подхода потока к водосливу):

$$H = H_{02} - \frac{\alpha \cdot V_0^2}{2 \cdot g} = 3,29 - \frac{1,1 \cdot 0,57^2}{2 \cdot 9,81} = 3,27 \text{ м}, \quad (4.22)$$

где $\alpha = 1,1$ – коэффициент Кориолиса;

V_0 – скорость подхода потока к водосливу, определяется по формуле

$$V_0 = \frac{Q_p}{(\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дна}}) \cdot (B + (n-1) \cdot \delta_6)} = \frac{2712,13}{(35-15) \cdot (216 + (12-1) \cdot 2)} = 0,57 \text{ м/с}, \quad (4.23)$$

где δ_6 – толщина быка;

B – ширина водосливного фронта.

Так как, величина пролета $b = 12$ м, а напор на водосливе $H = 3,27$ м, примем толщину быка $\delta_6 = 2$ м.

Отметка гребня водослива определяется по формуле

$$\nabla_{\text{ГВ}} = \nabla_{\text{НПУ}} - H_{\text{ст}} = 35 - 4 = 31 \text{ м}, \quad (4.24)$$

где $H_{ст}$ – стандартный напор, ближайший к H , в соответствии с техническим регламентом, принимаем $H = H_{ст} = 4$ м.

4.2.3 Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае

Определяется полный напор над гребнем водослива при пропуске расхода поверочного расчетного случая:

$$H_{01пов} = \left(\frac{Q_{р.пов}}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{3215,13}{0,49 \cdot 216 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 3,6 \text{ м}, \quad (4.25)$$

где $B = B+b$ – ширина водосливного фронта с учетом дополнительного пролета;

$Q_{р.пов}$ – поверочный расход, определяется как:

$$Q_{р.пов} = Q_{пов.мах} - Q_{гэс} - Q_C = 3473 - 257,43 - 0,44 = 3215,13 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.26)$$

где $Q_{пов.мах}$ – максимальный расчетный расход для поверочного расчетного случая (3473 м³/с);

$Q_{гэс}$ – расход через гидроагрегаты ГЭС (257,43 м³/с);

Q_C – расход, сбрасываемый через другие водопропускные сооружения гидроузла (0,44 м³/с).

$$\begin{aligned} H_{02пов} &= \left(\frac{Q_{р.пов}}{m \cdot \varepsilon_{сж} \cdot \sigma_n \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \\ &= \left(\frac{3215,13}{0,49 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 216 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 3,7 \text{ м}. \end{aligned} \quad (4.27)$$

Напор на гребне водослива без учета скорости подхода при пропуске поверочного расхода:

$$H_{пов} = H_{02пов} - \frac{\alpha \cdot V_{0пов}^2}{2 \cdot g} = 3,7 - \frac{1,1 \cdot 0,64^2}{2 \cdot 9,81} = 3,67 \text{ м}. \quad (4.28)$$

$$V_{\text{пов}} = \frac{Q_{\text{р.пов}}}{(\nabla\text{ФПУ} - \nabla_{\text{дна}}) \cdot (B + (n-1) \cdot \delta_6)} =$$

$$= \frac{3215,13}{(36-15) \cdot (216 + (12-1) \cdot 2)} = 0,64 \text{ м/с.} \quad (4.29)$$

Определим расчетную отметку форсированного уровня:

$$\nabla\text{ФПУ}_p = \nabla\text{ГВ} + H_{\text{пов}} = 31 + 3,67 = 34,67 \text{ м.} \quad (4.30)$$

Расчетная отметка форсированного уровня меньше заданной. Это означает, что пропускная способность водослива при заданном ФПУ обеспечивается, принимаем $\nabla\text{ФПУ} = 36 \text{ м}$.

4.2.4 Построение профиля водосливной плотины

Оголовок безвакуумного практического профиля типа А строится по координатам Кригера – Офицера, . Координаты для построения оголовка плотины практического профиля определяются путем умножения табличных координат на $H_{\text{ст}} = 4 \text{ м}$, представленных в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Приведенные координаты начального очертания гребня нормальной безвакуумной водосливной стенки (Кригера – Офицера)

№ точки	x	y	№ точки	x	Y
1	0	0,504	21	8	4,94
2	0,4	0,144	22	8,4	5,476
3	0,8	0,028	23	8,8	6,032
4	1,2	0	24	9,2	6,612
5	1,6	0,024	25	9,6	7,2
6	2	0,108	26	10	7,84
7	2,4	0,24	27	10,4	8,488
8	2,8	0,4	28	10,8	9,156
9	3,2	0,464	29	11,2	9,848
10	3,6	0,792	30	11,6	10,44
11	4	1,024	31	12	11,296
12	4,4	1,284	32	12,4	12,052

Продолжение Таблицы 4.1

№ точки	x	y	№ точки	x	Y
13	4,8	1,576	33	12,8	12,828
14	5,2	1,9	34	13,2	13,62
15	5,6	2,256	35	13,6	14,436
16	6	2,644	36	14	15,272
17	6,4	3,056	37	14,4	16,124
18	6,8	3,492	38	14,8	16,876
19	7,2	3,948	39	15,2	17,884
20	7,6	4,432	40	15,6	18,792

4.2.5 Расчет сопряжения потока в нижнем бьефе

В бытовых условиях при уклоне дна отводящего русла $i < i_{кр}$ поток находится в спокойном состоянии, а непосредственно за водосливом – в бурном. Сопряжение бурного потока со спокойным происходит в форме гидравлического прыжка. При этом в зависимости от соотношения глубины h_c'' и бытовой глубины $h_{НБ}$ устанавливаются следующие типы сопряжения бьефов:

- а) $h_c'' > h_{НБ}$ – сопряжение по типу отогнанного прыжка;
- б) $h_c'' = h_{НБ}$ – сопряжение в виде прыжка в сжатом сечении;
- в) $h_c'' < h_{НБ}$ – сопряжение в виде затопленного прыжка.

Определим критическую глубину при полном открытии всех отверстий:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q_p^2}{(B + \sum \delta_6)^2 \cdot g}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 2712,13^2}{(216 + 22)^2 \cdot 9,81}} = 2,44 \text{ м.} \quad (4.31)$$

где $B = B + b$ – ширина водосливного фронта с учетом дополнительного пролета;

α – коэффициент Кориолиса, принят равным 1,1;

$\sum \delta_6$ – сумма ширины быков (11 быков по 2 м).

Вычислим полную удельную энергию в сечении перед водосливом:

$$T_0 = \nabla_{НПУ} - \nabla_{дна} = 35 - 15 = 20 \text{ м.} \quad (4.32)$$

Определим отношение:

$$\xi_{T_0} = \frac{T_0}{h_{кр}} = \frac{20}{2,44} = 8,2 \text{ м.} \quad (4.33)$$

Исходя из этого, плотина имеет среднюю длину сливной грани, при этом коэффициент скорости $\varphi = 0,95$.

По графику М.Д Чертоусова, в зависимости от коэффициента скорости φ и ξ_{T_0} определяем $\xi_c = 0,28$ и $\xi''_c = 2,6$.

Вычисляются сопряженные глубины:

$$h'_c = \xi_c \cdot h_{кр} = 0,28 \cdot 2,44 = 0,68 \text{ м}, \quad (4.34)$$

$$h''_c = \xi''_c \cdot h_{кр} = 2,6 \cdot 2,44 = 6,34 \text{ м}.$$

Так как $h''_c = 6,34 > h_{нб} = 3,15$ сопряжение по типу отогнанного прыжка.

Отогнанный прыжок за плотинной не допускается, и проектируется сопряжение бьефов по типу затопленного прыжка.

Для этого необходимо создать в нижнем бьефе соответствующую глубину или погасить часть избыточной энергии с помощью специальных устройств – гасителей энергии. Для гашения энергии принимаем водобойный колодец.

Во всех случаях за водосливом устраивают водобой, чаще всего это бетонная или железобетонная плита.

Толщина водобойной плиты может быть определена по формуле В.Д. Домбровского

$$\delta_B = 0,15 \cdot v_c \cdot \sqrt{h'_c} = 0,15 \cdot 20,3 \cdot \sqrt{0,68} = 2,5 \text{ м}, \quad (4.35)$$

где v_c – скорость в сжатом сечении, определяется по формуле

$$v_c = \frac{q_b}{h'_c} = \frac{13,8}{0,68} = 20,3 \text{ м/с}, \quad (4.36)$$

где q_b – удельный расход на водосливе .

4.2.6 Расчет водобойного колодца

Расчет водобойного колодца заключается в определении его глубины d_k и длины l_k .

Определим ширину водобойного колодца по формуле

$$B_k = B + (n-1) \cdot \delta_{\sigma} = 216 + (12-1) \cdot 2 = 238 \text{ м}, \quad (4.37)$$

где B – ширина водосливного фронта (216 м);

δ_{σ} – толщина быка (2 м);

n – количество пролетов (12).

Глубину водобойного колодца вычисляют путём последовательного приближения.

На первом этапе определим начальную глубину колодца по формуле

$$d_1 = \sigma \cdot h_c'' - (h_{нб} + \Delta z) = 1,1 \cdot 6,34 - (3,15 + 0,59) = 3,23 \text{ м}, \quad (4.38)$$

где $\sigma = 1,1$ – коэффициент запаса, зависящий от точности определения расчетного расхода Q_p ;

h_c'' – сопряженные глубины;

Δz – перепад, образующийся при выходе потока из водобойного колодца в русло НБ, определяется по формуле

$$\begin{aligned} \Delta z &= \left(\frac{q^2}{2 \cdot g \cdot \varphi^2 \cdot h_{нб}^2} \right) - \left(\frac{\alpha \cdot q^2}{2 \cdot g \cdot \sigma^2 \cdot h_c''^2} \right) = \\ &= \left(\frac{11,4^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,95^2 \cdot 3,15^2} \right) - \left(\frac{1,1 \cdot 11,4^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 1,1^2 \cdot 6,34^2} \right) = 0,59 \text{ м}, \end{aligned} \quad (4.39)$$

где φ – коэффициент скорости для водослива с широким порогом (0,95);

$$q = \frac{Q_{\text{осн.р}}}{B_k} = \frac{2712,13}{238} = 11,4 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.40)$$

На втором этапе полную удельную энергию перед водосливом определяют с учетом начальной глубины колодца:

$$T_0 = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дна}} + d_1 = 35 - 15 + 3,23 = 23,23 \text{ м}. \quad (4.41)$$

Вычислим новое значение отношения по формуле:

$$\xi_{T_0} = \frac{T_0}{h_{кр}} = \frac{23,23}{2,44} = 9,52.$$

С учетом ранее выбранного коэффициента скорости φ по графику М.Д Чертоусова находим новые значения $\xi_c = 0,262$ и $\xi_c'' = 2,7$.

Вычисляем новые сопряженные глубины h_c' и h_c'' :

$$h_c' = \xi_c \cdot h_{кр} = 0,262 \cdot 2,44 = 0,64 \text{ м,}$$

$$h_c'' = \xi_c'' \cdot h_{кр} = 2,7 \cdot 2,44 = 6,6 \text{ м.}$$

Затем по формуле (3.38) определяем новую глубину колодца, подставляя найденное значение h_c'' :

$$d_2 = \sigma \cdot h_c'' - (h_{н\bar{o}} + \Delta z) = 1,1 \cdot 6,6 - (3,15 + 0,59) = 3,52 \text{ м.}$$

где Δz – перепад, определяем по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta z &= \left(\frac{q^2}{2 \cdot g \cdot \varphi^2 \cdot h_{н\bar{o}}^2} \right) - \left(\frac{\alpha \cdot q^2}{2 \cdot g \cdot \sigma^2 \cdot h_c''^2} \right) = \\ &= \left(\frac{11,4^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,95^2 \cdot 3,15^2} \right) - \left(\frac{1,1 \cdot 11,4^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 1,1^2 \cdot 6,6^2} \right) = 0,59 \text{ м.} \end{aligned}$$

Должно соблюдаться условие:

$$d_2 - d_1 < 0,1 \cdot d_1,$$

$$3,52 - 3,23 < 0,1 \cdot 3,52,$$

$$0,29 < 0,352$$

Условие выполняется.

Окончательно, принимаем $d_k = 3,6$ м.

Отметка пола водобоя равна:

$$\nabla_{ПВ} = \nabla_{\text{дна}} - d_k = 15 - 3,6 = 11,4 \text{ м.} \quad (4.42)$$

Длина водобоя при наличии на нем гасителей:

$$l_B = (0,8 - 1) \cdot l_{пр} = 1 \cdot 29,75 = 29,75 \text{ м,} \quad (4.43)$$

где $l_{\text{пр}}$ – длина гидравлического прыжка:

$$l_{\text{пр}} = 2,5 \cdot (1,9 \cdot h_c'' - h_c') = 2,5 \cdot (1,9 \cdot 6,6 - 0,64) = 29,75 \text{ м.} \quad (4.44)$$

4.3 Определение ширины подошвы плотины

Профиль должен удовлетворять двум условиям: отсутствию растягивающих напряжений в плотине и устойчивости её против сдвига по основанию.

Исходя из условия недопущения растягивающих напряжений, на верховой грани определим ширину подошвы плотины:

$$B_n^I = \frac{h}{\sqrt{\frac{p_6}{p_w} \cdot (1-n) + n \cdot (2-n) - \alpha_1}}, \quad (4.45)$$

где α_1 – коэффициент, учитывающий потерю фильтрационного давления за счет устройства, дренажей и шпунтов, принимаемый 0,5;

p_w – плотность воды;

p_6 – плотность бетона.

Отметка подошвы зависит от конструкции устройств в НБ и равна:

$$\nabla_{\text{под}} = \nabla_{\text{дна}} - (d + (2 \div 3)) = 15 - (3,6 + 2) = 9,4 \text{ м,} \quad (4.46)$$

где $d = 3,6$ м – глубина водобойного колодца;

$2 - 3$ – толщина слоя грунта с низкой несущей способностью, удаляемого при подготовке основания.

Высоту плотины определим по формуле

$$h = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 35 - 9,4 = 25,6 \text{ м.} \quad (4.47)$$

Исходя из условия устойчивости плотины против сдвига по основанию, определяем ширину подошвы плотины:

$$B_n^{II} = \frac{\gamma_n \cdot h}{\text{tg} \varphi \cdot \sqrt{\frac{p_6}{p_w} + n - \alpha_1}}, \quad (4.48)$$

где $\gamma_n = 1,2$ – коэффициент надёжности по ответственности сооружения, для 2 класса сооружения;

$\varphi = 30^\circ$ – угол внутреннего трения грунта основания;

$tg\varphi = 0,577$.

Задаваясь различными значениями n (таблица 4.2) несколько раз, по двум формулам определяем B_n^I и B_n^{II} и строим графики зависимости $B_n^I = f(n)$ и $B_n^{II} = f(n)$, представленные на рисунке 4.2. Точка пересечения графиков определит расчетную ширину подошвы.

Таблица 4.2 – Определение ширины подошвы плотины

n	B_n^{II} м	B_n^I м
0	18,57	24,87
0,1	18,82	23,63
0,2	19,19	22,51
0,3	19,69	21,48

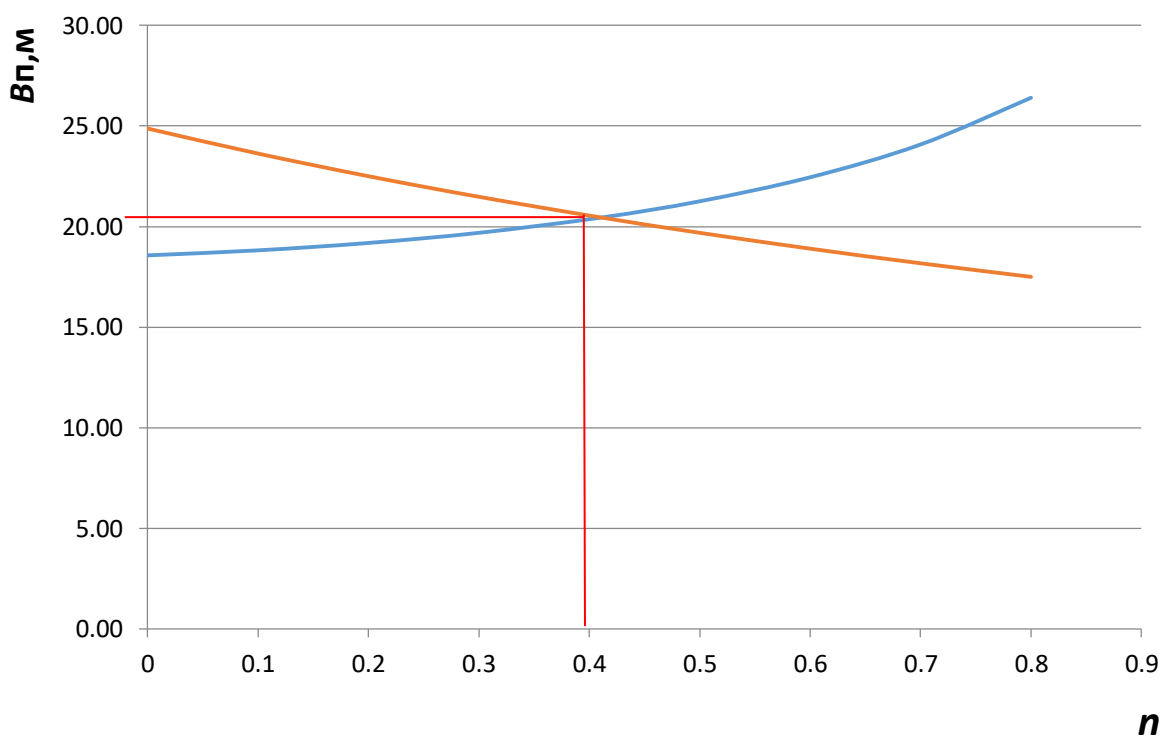


Рисунок 4.2 – Определение ширины подошвы плотины

Графики, построенные по таблице 4.2, пересекаются в точке $n=0,411$ и $B_n = 20,45$ следовательно, ширина подошвы плотины равна $B_n = 20,45$ м.

4.3.1 Разрезка бетонных плотин швами

Плотина разрезается по длине постоянными швами на отдельные секции. В плотинах на нескальных основаниях устройство этих швов обеспечивает свободное развитие температурных и осадочных деформаций и поэтому они называются температурно – осадочные. Эти швы, как правило, располагают на равных расстояниях по длине плотины.

В данной работе бетонная водосливная плотина разрезана швами через 2 пролета, т.е. ширина одной секции между швами равна:

$$B_{\text{с}} = 2 \cdot b + \delta_6 = 2 \cdot 18 + 2 = 38 \text{ м.} \quad (4.49)$$

где b – ширина пролета водосливной плотины;

δ_6 – толщина быка.

Ширину постоянных деформационных температурно – осадочных швов принимаем равной 4 см в верхней части и 1 см в пределах фундаментной плиты.

4.3.2 Быки

На водосливе устраивают быки для деления водосливного фронта на пролеты и для установки затворов. Быки будут выдвинуты в верхний бьеф для установки крана и организации площадки хранения ремонтных затворов.

Головная часть быка имеет обтекаемую форму в виде прямоугольника. Бык имеет неразрезную конструкцию.

Принимаем толщину быка $\delta_6 = 2$ м.

Пазовый перешеек принимаем $= 1$ м.

В нижнем бьефе отметка верха уступа быка принимается на 1 м выше максимальной отметки уровня НБ, т.е. 19,38 м.

Ширина паза рабочего затвора принимаем 1 м.

Ширина паза ремонтного затвора равна 0,5 м, глубина паза ремонтного затвора – 0,5 м.

Расстояние между затворами принимаем 1 м, с целью обеспечения удобных условий для проведения ремонтных работ на рабочем затворе.

4.3.3 Устои

На Турейской ГЭС предусмотрены два вида устоев: отдельный и сопрягающий.

Отдельный устой располагается между водосливом и зданием ГЭС, служит для разделения потоков воды, идущих через гидроагрегаты гидроэлектростанции и водослив. Также раздельный устой является опорой для плоских затворов водосливной плотины.

Сопрягающий устой, находящийся ближе к левому берегу, предназначен для защиты левобережной грунтовой плотины, примыкающей к водосливу, от размыва водой, проходящей через водослив, а также является опорой для плоских затворов водосливной плотины. Первый сопрягающий устой со стороны правого берега служит защитой правобережной грунтовой плотины, примыкающей к зданию ГЭС, от размыва водой, проходящей через гидроагрегаты, второй сопрягающий устой служит для сопряжения водосливной плотины, с зданием ГЭС.

4.3.4 Дренаж тела бетонной плотины

В данной плотине будет устроен один вертикальный дренаж диаметром 20 см.

Расстояние от напорной грани плотины до оси дренажа $a_{др}$, а также до верхней грани продольной галереи следует назначать не менее 2 м, при соблюдении условия:

$$a_{др} \geq \frac{H_d \cdot \gamma_n}{I_{кр,м}} = \frac{3,15 \cdot 1,2}{1} = 3,78 \text{ м}; \quad (4.50)$$

где H_d – напор над расчетным сечением (3,15 м);

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения (1,2);

$I_{кр,м}$ – критический средний градиент напора для бетона плотины (для песчаных грунтов = 1).

Принимаем $a_{др} = 7,5$ м.

4.3.5 Галереи в теле плотины

В теле плотины устраиваем одну галерею, в связи с малой высотой плотины.

Данная галерея для устройства дренажа располагается над подошвой на расстоянии 3 м от неё. Галерея имеет следующие размеры: ширина – 3 м, высота – 3 м.

4.3.6 Ширина плотины по гребню

Ширина плотины по гребню включает ширину проезжей части, пешеходной дорожки и место для козлового крана. Проезжая часть принимается шириной 5 м, ширина пешеходной дорожки – 2 м, ширина путей козлового крана 5 м. Безопасное расстояние между козловым краном и автодорогой принимается 2 м. Расстояние между путями козлового крана и

верховой гранью быка принимается 2 м. Таким образом, ширина плотины по гребню принимается равной 16 м.

4.4 Конструирование отдельных элементов подземного контура плотины

4.4.1 Понур

Так как плотина стоит на песчаном грунте, то устраиваем гибкий малопроницаемый понур из асфальтовых материалов.

Толщина понура должна быть:

$$\delta_{\text{пон}} \geq \frac{\Delta H \cdot \gamma_n}{I_{\text{кр},m}} = \frac{3,15 \cdot 1,2}{10} = 0,38 \text{ м},$$

(4.51)

где γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимается равным 1,2;

$I_{\text{кр},m}$ – критический средний градиент напора для материала понура ;

ΔH – потеря напора от начала подземного контура до рассматриваемого вертикального сечения понура, 3,15 м.

Принимаем толщину понура $\delta_{\text{пон}} = 1$ м.

Длину понура принимаем:

$$L_n = 1 \cdot H = 1 \cdot 16,9 = 16,9 \text{ м},$$

(4.52)

где $H = \nabla \text{НПУ} - \nabla \text{УНБ}_{\text{min}} = 35 - 18,15 = 16,9$ м.

4.4.2 Шпунтовая стенка

Применяем плоский железобетонный шпунт толщиной 10 см.

Длина висячего шпунта равна:

$$L_{\text{шп}} = 1 \cdot H = 1 \cdot 16,9 = 16,9 \text{ м}.$$

4.4.3 Дренажные устройства

Назначается двухслойный пластовый дренаж под всей площадью водобоя и рисбермы. Суммарная толщина дренажа принимается 1,5 м.

Под подошвой плотины устраивается вертикальный дренаж в виде разгрузочной скважины диаметром 0,2 м с выводом фильтрационных вод в дренажную (смотровую) галерею.

4.5.1 Водобой

Водобой предназначен для гашения энергии потока, сходящего с водослива, и устраивается в виде железобетонной плиты.

Принимаем $\delta_B = 2,5$ м, $l_B = 30$ м, в целях удобства проведения строительных работ.

4.5.2 Рисберма

Рисберма – участок за водобоем, предназначенный для успокоения и рассеивания потока. Конструкция рисбермы по течению облегчается. Продольные швы между плитами устраиваются в перевязку. Под рисбермой устраивается ленточный дренаж и обратный фильтр. Дренажные отверстия в плитах выполняются с шагом 21,8 метров в шахматном порядке диаметром 20 см.

Толщина плит рисбермы определяется по следующей формуле

$$t_p = \frac{p_w \cdot h_p \cdot K_c}{(p_0 - p_w)} = \frac{10 \cdot 1,6 \cdot 1,25}{(24 - 10)} = 1,43 \text{ м}, \quad (4.54)$$

где K_c – коэффициент запаса, равный 1,25;

$$h_p = 2 \cdot h_v \left(\frac{h_{кр.п}}{x} \right)^{1,34} = 2 \cdot 23,1 \cdot \left(\frac{2,44}{30} \right)^{1,34} = 1,6 \text{ м}, \quad (4.55)$$

где x – расстояние от сжатого сечения до рассматриваемой плиты (30м);

$$h_v = \frac{\alpha \cdot V_c^2}{2 \cdot g} = \frac{1,1 \cdot 20,3^2}{2 \cdot 9,81} = 23,1 \text{ м}, \quad (4.56)$$

где V_c – скорость воды в сжатом сечении;

$h_{кр.п}$ – критическая глубина на рисберме, определяется как:

$$h_{кр.п} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q_p^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 11,4^2}{9,81}} = 2,44 \text{ м}, \quad (4.57)$$

где q_p – удельный расход на рисберме:

$$q_p = \frac{Q_p}{B_p} = \frac{2712,13}{238} = 11,4 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.58)$$

где B_p – ширина рисбермы, принимается $= B_k = 238 \text{ м}$.

Принимаем толщину плиты рисбермы $t_p = 1,5 \text{ м}$.

Длина рисбермы принимается:

$$l_p = (1 \div 2) \cdot l_B = 1 \cdot 30 = 30 \text{ м}. \quad (4.59)$$

Результаты расчёта толщины каждой плиты представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – результаты расчёта толщины каждой плиты

Параметры	1	2	3
$x, \text{м}$	30	40	50
$h_p, \text{м}$	1,6	1,09	0,8
$t_p, \text{м}$	1,43	0,97	0,72
Толщина, м	1,5	1	0,8

4.5.3 Ковш

Концевой участок рисбермы выполняется в виде ковша. Глубина ковша определяется по формуле

$$h_{\max} = K_p \cdot \sqrt{\frac{q_p}{V_H}} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{11,4}{0,5}} = 5,25 \text{ м}, \quad (4.60)$$

где K_p – коэффициент зависящий от условий размыва (1,1);

V_H – не размывающая скорость на глубине 1 м для песка (0,5);

q_p – удельный расход на рисберме (11,4).

Заложение откосов ковша принимается $m_1 = 1:4$ и $m_2 = 1:2$

Длина ковша по дну определяется по формуле

$$l_k = 3 \cdot h_{кр} = 3 \cdot 2,44 = 7,35 \text{ м}, \quad (4.61)$$

где $h_{кр}$ – критическая глубина на рисберме.

Фильтрационные расчёты проводим с целью обоснования состава элементов подземного контура, их размеров и очертания, и последующим определением величины фильтрационного давления на флютбет, определения градиентов фильтрационного потока.

4.6.1 Построение эпюры фильтрационного противодействия методом удлиненной контурной линии

Расчёт проводим для основного случая: при $\nabla_{НПУ}$ и $\nabla_{УНБ_{\min}}$, и при попуске санитарного расхода $Q_{\text{сан}}$.

Находим глубину активной зоны фильтрации T_a относительно дна русла реки для однородного проницаемого грунта.

T_a определяем по таблице 4.4

Таблица 4.4 – глубина активной зоны фильтрации

l_0/S_0	T_a
$l_0/S_0 \geq 5,0$	$0,5l_0$
$3..4 \leq l_0/S_0 < 5,0$	$2,5S_0$
$1 \leq l_0/S_0 < 3..4$	$0,8S_0 + 0,5l_0$
$0 < l_0/S_0 < 1,0$	$S_0 + 0,3l_0$

где l_0 – длина проекции подземного контура на горизонталь;
 S_0 – длина проекции подземного контура на вертикаль.

$l_0 = 27,4$ м; $S_0 = 25,5$ м.

$$\frac{l_0}{S_0} = \frac{27,4}{25,5} = 1,07. \quad (4.62)$$

Следовательно:

$$T_a = 0,8 \cdot S_0 + 0,5 \cdot l_0 = 0,8 \cdot 25,5 + 0,5 \cdot 27,4 = 34,1 \text{ м.} \quad (4.63)$$

Делаем вывод, что глубина активной зоны заглубленная.

Ранее был принят всячий шпунт, т.к. водоупор заглублён на ∞ , то:

$$T_a = T_d = 34,1 \text{ м.}$$

T_{cp} найдем как среднее арифметическое:

$$T_{\text{cp}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11}}{11} = 27,22 \text{ м.} \quad (4.64)$$

Напор на сооружение определим по формуле:

$$H = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{УНБ}_{\min}} = 35 - 18,15 = 16,9 \text{ м.}$$

Дополнительные потери напора на входе и на выходе фильтрационного потока:

$$\lambda = 0,44 \cdot T_{\text{cp}} = 0,44 \cdot 27,22 = 11,98 \text{ м.}$$

4.7.1 Определение основных нагрузок на плотину

Первый расчётный случай – нормальный эксплуатационный при $\nabla_{\text{НПУ}} = 35 \text{ м}$ и минимальном уровне нижнего бьефа $\nabla_{\text{УНБ}_{\min}} = 18,15 \text{ м}$.

Второй расчётный случай – особое сочетание нагрузок при $\nabla_{\text{ФПУ}} = 36 \text{ м}$ и максимальном уровне нижнего бьефа $\nabla_{\text{УНБ}_{\max}} = 18,38 \text{ м}$.

4.7.2 Вес сооружения и затворов

Вес одного погонного метра водосливной части плотины с учётом устройства зубьев определяется по формуле

$$G_{\text{пл}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot b \cdot g \cdot p_{\text{б}}}{b + \delta_{\text{б}}} = \frac{327,5 \cdot 18 \cdot 9,81 \cdot 2,4}{18 + 2} = 6939,6 \text{ кН/м,} \quad (4.65)$$

где $S_{\text{пл}}$ – площадь плотины с учётом зубьев, вычисленная в ПК «AutoCAD»;

b – ширина одного пролета водосливной плотины, 18 м;

$p_{\text{б}}$ – плотность бетона;

$\delta_{\text{б}}$ – толщина быка.

Вес быка с учётом зубьев определяем аналогичным образом:

$$G_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}} \cdot \delta_{\text{б}} \cdot g \cdot p_{\text{б}}}{b + \delta_{\text{б}}} = \frac{684,8 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 2,4}{18 + 2} = 1612,3 \text{ кН/м,} \quad (4.66)$$

Вес плоского затвора по формуле Березинского:

$$Q_3 \approx 0,055 \cdot f \cdot \sqrt{f} \cdot g \approx 0,055 \cdot 99 \cdot \sqrt{99} \cdot 9,81 \approx 531,5 \text{ кН,}$$

где f – площадь затвора, равная:

$$f = (\nabla\Phi\PY - \nablaГВ + 0,5) \cdot b = (36 - 31 + 0,5) \cdot 18 = 99 \text{ м}^2. \quad (4.67)$$

Вес затвора к 1 п. м. длины секции:

$$q_3 = \frac{Q_3}{b + \delta_6} = \frac{531,5}{18 + 2} = 26,57 \text{ кН/м.} \quad (4.68)$$

4.7.3 Сила гидростатического давления воды

Так как подошва плотины имеет выступы в виде зубьев, то гидростатическое давление действует до отметки подошвы между выступами.

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды со стороны верхнего бьефа:

$$T_B = \frac{p_w \cdot g \cdot h_1^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 25,6^2}{2} = 3214,54 \text{ кН/м,} \quad (4.69)$$

$$T'_B = \frac{p_w \cdot g \cdot h_1'^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 26,6^2}{2} = 3401,6 \text{ кН/м,} \quad (4.70)$$

где h_1 – высота действия гидростатического напора со стороны ВБ для основного случая, определяется как:

$$h_1 = (\nabla\PY - \nabla_{\text{под}}) = (35 - 9,4) = 25,6 \text{ м,} \quad (4.71)$$

h_1' – высота действия гидростатического напора со стороны ВБ для поперочного случая, определяется как:

$$h_1' = (\nabla\Phi\PY - \nabla_{\text{под}}) = (36 - 9,4) = 26,6 \text{ м.} \quad (4.72)$$

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды со стороны нижнего бьефа:

$$T_H = \frac{p_w \cdot g \cdot h_2^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 8,75^2}{2} = 375,54 \text{ кН/м,} \quad (4.73)$$

$$T'_H = \frac{p_w \cdot g \cdot h_2'^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 8,98^2}{2} = 412,5 \text{ кН/м,} \quad (4.74)$$

где h_2 – высота действия гидростатического напора со стороны НБ, определяется как:

$$h_2 = (\nabla_{\text{УНБ}_{\min}} - \nabla_{\text{под}}) = (18,15 - 9,4) = 8,75 \text{ м}, \quad (4.75)$$

h_2' – высота действия гидростатического напора со стороны НБ для поверочного случая, определяется как:

$$h_2' = (\nabla_{\text{УНБ}_{\max}} - \nabla_{\text{под}}) = (18,38 - 9,4) = 8,98 \text{ м}. \quad (4.76)$$

Вертикальная составляющая силы гидростатического давления со стороны верхнего бьефа для основного и особого сочетания нагрузок:

$$W_B = p_w \cdot g \cdot S_{\text{эп}}^B = 1 \cdot 9,81 \cdot 71,57 = 702,1 \text{ кН/м}, \quad (4.77)$$

$$W_B' = p_w \cdot g \cdot S_{\text{эп}}'^B = 1 \cdot 9,81 \cdot 81,4 = 798,5 \text{ кН/м}, \quad (4.78)$$

где $S_{\text{эп}}^B$, $S_{\text{эп}}'^B$ – площадь поперечного сечения тела давления со стороны верхнего бьефа, вычисленная в программе «AutoCAD».

Вертикальная составляющая силы гидростатического давления со стороны нижнего бьефа для основного и особого сочетания нагрузок:

$$W_H = p_w \cdot g \cdot S_{\text{эп}}^H = 1 \cdot 9,81 \cdot 51,2 = 502,3 \text{ кН/м}, \quad (4.79)$$

$$W_H' = p_w \cdot g \cdot S_{\text{эп}}'^H = 1 \cdot 9,81 \cdot 60,2 = 590,6 \text{ кН/м}, \quad (4.80)$$

где $S_{\text{эп}}^H$, $S_{\text{эп}}'^H$ – площадь поперечного сечения тела давления со стороны нижнего бьефа, вычисленная в программе «AutoCAD».

4.7.4 Равнодействующая взвешивающего давления

Эпюра взвешивающего давления полностью повторяет очертание подошвы плотины. Так как в проектируемом сооружении предусматривается устройство зубьев, то высота эпюры взвешивающего давления для основного и особого сочетания нагрузок определяется как:

$$h_{\text{вз}} = \nabla_{\text{УНБ}_{\min}} - \nabla_{\text{зуб}} = 18,15 - 6,4 = 11,75 \text{ м} \quad (4.81)$$

$$h_{\text{вз}}' = \nabla_{\text{УНБ}_{\max}} - \nabla_{\text{зуб}} = 18,38 - 6,4 = 11,98 \text{ м}. \quad (4.82)$$

Сила взвешивающего давления с учетом зубьев:

$$W_{\text{взв}} = p_w \cdot g \cdot S_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 203,9 = 2000,26 \text{ кН/м}, \quad (4.83)$$

$$W'_{\text{взв}} = p_w \cdot g \cdot S'_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 206,2 = 2022,8 \text{ кН/м}, \quad (4.84)$$

где $S_{\text{эп}}$, $S'_{\text{эп}}$ – площадь эпюры взвешивающего давления с учётом зубьев, вычисленная в программе «AutoCAD».

4.7.5 Сила фильтрационного давления

Сила фильтрационного давления, действующая на плотину:

$$W_{\text{ф}} = p_w \cdot g \cdot S_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 40,86 = 400,84 \text{ кН/м}, \quad (4.85)$$

где $S_{\text{эп}}$ – площадь эпюры фильтрационного давления под плотиной.

4.7.6 Давление грунта

Давление наносов со стороны верхнего бьефа на вертикальную грань можно определить по формуле

$$\begin{aligned} p_{\text{н}} &= \gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{н}} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{\text{н}}}{2} \right) = 11 \cdot 3 \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{20^\circ}{2} \right) = \\ &= 16,17 \text{ кН/м}^2, \end{aligned} \quad (4.86)$$

где $h_{\text{н}} = 3 \text{ м}$ – толщина слоя наносов;

$\varphi_{\text{н}} = 20^\circ$ – угол внутреннего трения наносов;

$\gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} = 11 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес наносов во взвешенном состоянии (песчаный грунт):

$$\gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} = \gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} = \gamma_{\text{гр}} - (1 - n_0) \cdot \gamma_w = 18 - (1 - 0,3) \cdot 10 = 11 \text{ кН/м}^3, \quad (4.87)$$

где $\gamma_{\text{гр}}$ – удельный вес грунта в сухом состоянии;

n_0 – пористость сухого грунта;

γ_w – удельный вес воды.

Равнодействующая давления наносов:

$$E_H = \frac{p_H \cdot h_H}{2} = \frac{16,17 \cdot 3}{2} = 24,25 \text{ кН/м.} \quad (4.88)$$

Боковое давление грунта пригруженное весом наносов:

$$p'_{гр} = \gamma_H^{взв} \cdot h_H \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot tg \left(45^\circ - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) = 11 \cdot 3 \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) - 2 \cdot 3 \cdot tg \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) = 7,52 \text{ кН/м}^2. \quad (4.89)$$

Давление наносов на понур:

$$p''_{пон} = (\gamma_H^{взв} \cdot h_H + \gamma_б^{взв} \cdot \delta_{пон}) \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{гр2}}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot tg \left(45^\circ - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) = (11 \cdot 3 + 14 \cdot 1) \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) - 2 \cdot 3 \cdot tg \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) = 11,19 \text{ кН/м}^2, \quad (4.90)$$

где $\delta_{пон} = 1 \text{ м}$ – толщина понура.

Давление наносов для 2 слоя грунта:

$$p''_{гр2} = (\gamma_H^{взв} \cdot h_H + \gamma_б^{взв} \cdot \delta_{пон} + \gamma_{гр}^{взв} \cdot h_{гр2}) \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{гр2}}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot tg \left(45^\circ - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) = (11 \cdot 3 + 14 \cdot 1 + 11 \cdot 4,6) \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) - 2 \cdot 3 \cdot tg \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) = 28,01 \text{ кН/м}^2, \quad (4.91)$$

где $h_{гр2} = 4,6 \text{ м}$ – толщина грунта между отметкой понура и отметкой подошвы.

Найдем взвешенный удельный вес бетона:

$$\gamma_б^{взв} = \gamma_б - \gamma_в = 24 - 10 = 14 \text{ кН/м}^3, \quad (4.92)$$

Пассивное давление грунта основания на плотину со стороны НБ определяется по формулам:

– под водобойной плитой:

$$p'_{\text{пн}} = \gamma_6^{\text{взв}} \cdot h_{\text{пл}} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2} \right) = 14 \cdot 2,5 \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{30^\circ}{2} \right) + 2 \cdot 3 \cdot \text{tg} \left(45^\circ + \frac{30^\circ}{2} \right) = 115,4 \text{ кН/м}^2, \quad (4.93)$$

– на уровне подошвы плотины:

$$p''_{\text{пн}} = (\gamma_6^{\text{взв}} \cdot h_{\text{пл}} + \gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{гр}}) \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2} \right) = (14 \cdot 2,5 + 11 \cdot 0,5) \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{30^\circ}{2} \right) + 2 \cdot 3 \cdot \text{tg} \left(45^\circ + \frac{30^\circ}{2} \right) = 131,9 \text{ кН/м}^2, \quad (4.94)$$

где $h_{\text{пл}}$ – толщина водобойной плиты;

$h_{\text{гр}}$ – толщина слоя грунта от отметки низа водобойной плиты до подошвы плотины.

Равнодействующая пассивного давления грунта на 1 п. м. длины плотины соответствует площади эпюры пассивного давления грунта:

$$E_{\text{пн}} = \frac{p'_{\text{пн}} + p''_{\text{пн}}}{2} \cdot h_{\text{гр}} = \frac{115,4 + 131,9}{2} \cdot 0,5 = 61,83 \text{ кН/м}. \quad (4.95)$$

Равнодействующая активного давления грунта на 1 п. м. длины плотины для первого слоя грунта:

$$E_{\text{ав1}} = S_{\text{эп}} = 24,26 \text{ кН/м}, \quad (4.96)$$

где $S_{\text{эп}}$ – площадь эпюры активного давления, вычисленная в программе «AutoCAD».

Равнодействующая активного давления грунта на 1 п. м. длины плотины для второго слоя грунта:

$$E_{\text{ав2}} = \frac{p''_{\text{пн}} + p''_{\text{гр2}}}{2} \cdot h_{\text{гр2}} = \frac{11,19 + 28,01}{2} \cdot 4,6 = 90,16 \text{ кН/м}. \quad (4.97)$$

4.7.7 Волновое давление

Равнодействующая волнового давления при основном расчетном случае может быть определена по формуле Можевитинова

$$W_{\text{волн}} = 0,5 \cdot p_w \cdot g \cdot h_{1\%} \cdot \left(\frac{\bar{\lambda}_d}{\pi} + \frac{h_0}{2} \right) = 0,5 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 0,42 \cdot \left(\frac{3,85}{3,14} + \frac{0,144}{2} \right) =$$

$$= 2,67 \text{ кН/м},$$
(4.98)

где $h_{1\%}$ – высота волны 1 % – ной обеспеченности (3.10);

$\bar{\lambda}_d$ – средняя длина волны (3.9);

$$h_0 = \frac{\pi \cdot h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}_d} = \frac{3,14 \cdot 0,42^2}{3,85} = 0,144 \text{ м}.$$
(4.99)

Линия действия равнодействующей $W_{\text{волн}}$ находится ниже относительно уровня покоя верхнего бьефа на величину:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}_d}{2 \cdot \pi} - \frac{3}{8} \cdot h_{1\%} = \frac{3,85}{2 \cdot 3,14} - \frac{3}{8} \cdot 0,42 = 0,45 \text{ м}.$$
(4.100)

Эпюра волнового давления представлена в виде треугольника, основание которого параллельно верхней грани плотины, одна вершина треугольника, лежащая на основании, расположена не выше $1,1 \cdot h_{1\%} = 1,1 \cdot 0,42 = 0,462$ м над уровнем верхнего бьефа, а другая не ниже $8 \cdot h_{1\%} = 8 \cdot 0,42 = 3,36$ м под уровнем верхнего бьефа.

4.7.8 Оценка прочности плотины

Оценка прочности бетонной плотины в сечении и по ее подошве проводится по методу предельных состояний первой группы (непригодность к эксплуатации) или методу сопротивления материалов при проектировании плотины высотой до 60 м.

Для удобства расчетов ниже приведена таблица 4.5, в которую внесены нагрузки, умноженные на коэффициент надежности γ_f , направление силы, плечи сил.

Изгибающий момент относительно середины расчетного сечения принят со знаком «+», против часовой стрелки со знаком «-»

Таблица 4.5 – Основные нагрузки на плотин

№п/п	Обозн	γ_f	Нап	Основной случай			Проверочный случай		
				Сила, γ_f	Плечо, м	Момент, кН·м	Сила, γ_f	Плечо, м	Момент, кН·м
1	2	3	4	6	7	8	10	11	12
1	T_n	1,0	→	3214,	8,5	27420,0	3401,6	8,9	30138,00
2	T_H	1,0	←	375,5	2,9	-1095,1	412,5	3,0	-1234,61
3	W_B	1,0	↓	702,1	9,8	-6845,5	798,5	9,8	-7785,38
4	W_H	1,0	↓	502,3	8,5	-4284,6	590,6	8,5	-4990,57
5	G_6	0,9	↓	1531,	1,5	-2328,2	1531,7	1,5	-2328,16
6	G_{III}	0,9	↓	6592,	2,0	-12987,5	6592,7	2,0	-12987,55
7	W_{B3B}	1,0	↑	2000,	0,0	0,0	2022,8	0,0	0,00

Расчет крайних напряжений в горизонтальных сечениях плотины, для верховой грани:

- для основного расчетного случая:

нормальное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_d} + \frac{6\sum M}{B_d^2} = -\frac{6951,5}{22,43} + \frac{6 \cdot 3302,1}{22,43^2} = -270,54 \text{ кПа}, \quad (4.101)$$

где N – сумма вертикальных сил, действующих на плотину;

$\sum M$ – сумма моментов всех сил, действующих на плотину, кН·м;

B_d – ширина подошвы плотины, м;

нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\begin{aligned} \sigma_x^u &= \sigma_y^u m_u^2 - \gamma_w H_d^u \cdot (1 - m_u^2) = -164,64 \cdot 0 - 10 \cdot 25,6 \cdot (1 - 0) = \\ &= -256 \text{ кПа}, \end{aligned} \quad (4.102)$$

где $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес воды;

$H_d^u = 25,6 \text{ м}$ – напор над расчетным сечением со стороны верхнего бьефа;

$m_u = \text{tg}(\alpha_1) = 0$;

$\alpha_1 = 0$ – угол между плоскостью верховой грани и вертикалью;

касательное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\tau_{xy}^u = (\gamma_w \cdot H_d^u + \sigma_y^u) \cdot m_u = (10 \cdot 25,6 - 270,54) \cdot 0 = 0 \text{ кПа}, \quad (4.103)$$

максимальное растягивающее главное напряжение:

$$\begin{aligned}\sigma_1^u &= \sigma_y^u \cdot (1 - m_u^2) + \gamma_w \cdot H_d^u \cdot m_u^2 = -270,54 \cdot (1 - 0) + 10 \cdot 25,6 \cdot 0 = \\ &= -270,54 \text{ кПа},\end{aligned}\tag{4.104}$$

максимальное сжимающее главное напряжение:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w \cdot H_d^u = -10 \cdot 25,6 = -256 \text{ кПа},\tag{4.105}$$

$$\begin{aligned}\sigma_c^u &= \frac{(1 + m_u^2)}{2} \cdot \left\{ \sigma_y^u [\cos 2(\alpha - \delta) + 1] + \gamma_w \cdot H_d^u \cdot \left[\cos 2(\alpha - \delta) - \frac{(1 - m_u^2)}{(1 + m_u^2)} \right] \right\} = \\ &= \frac{(1 + 0)}{2} \cdot \left\{ -270,54 [\cos 2(0 - 0) + 1] + 10 \cdot 25,6 \cdot \left[\cos 2(0 - 0) - \frac{(1 - 0)}{(1 + 0)} \right] \right\} = \\ &= -270,54 \text{ кПа},\end{aligned}$$

– для особого сочетания нагрузок:

нормальное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\sigma_y^{uu} = -\frac{N'}{B_d} + \frac{6 \sum M'}{B_d^2} = -\frac{7113,7}{22,43} + \frac{6 \cdot 4237,2}{22,43^2} = -266,62 \text{ кПа},\tag{4.106}$$

нормальное напряжение по вертикальной площадке:

$$\begin{aligned}\sigma_x^{uu} &= \sigma_y^{uu} m_u'^2 - \gamma_w H_d^u (1 - m_u'^2) = -266,62 \cdot 0 - 10 \cdot 26,6 \cdot (1 - 0) = \\ &= -266 \text{ кПа},\end{aligned}\tag{4.107}$$

где $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес воды;

$H_d^u = 26,6 \text{ м}$ – напор над расчётным сечением со стороны верхнего бьефа;

$m_u = \text{tg}(\alpha_1) = 0$;

$\alpha_1 = 0$ – угол между плоскостью верховой грани и вертикалью,

касательное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\tau_{xy}^u = (\gamma_w \cdot H_d^u + \sigma_y^u) \cdot m_u' = (10 \cdot 26,6 - 266,62) \cdot 0 = 0 \text{ кПа},\tag{4.108}$$

максимальное растягивающее главное напряжение:

$$\begin{aligned}\sigma_1^{uu} &= \sigma_y^{uu} \cdot (1 - m_u'^2) + \gamma_w \cdot H_d^u \cdot m_u'^2 = -266,62 \cdot (1 - 0) + 10 \cdot 26,6 \cdot 0 = \\ &= -266,62 \text{ кПа},\end{aligned}\tag{4.109}$$

максимальное сжимающее главное напряжение:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w \cdot H_d^u = -10 \cdot 26,6 = -266 \text{ кПа}, (4.110)$$

$$\begin{aligned} \sigma_c^u &= \frac{(1+m_u^2)}{2} \cdot \left\{ \sigma_y^u [\cos 2(\alpha - \delta) + 1] + \gamma_w \cdot H_d^u \cdot \left[\cos 2(\alpha - \delta) - \frac{(1-m_u^2)}{(1+m_u^2)} \right] \right\} = \\ &= \frac{(1+0)}{2} \cdot \left\{ -266,62 [\cos 2(0-0) + 1] + 10 \cdot 26,6 \cdot \left[\cos 2(0-0) - \frac{(1-0)}{(1+0)} \right] \right\} = \\ &= -266,62 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Расчет краевых напряжений в горизонтальных сечениях плотины, для низовой грани:

—для основного расчетного случая:

нормальные напряжения по горизонтальной площадке:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B_d} - \frac{6 \sum M}{B_d^2} = -\frac{6951,5}{22,43} - \frac{6 \cdot 3302,05}{22,43^2} = -349,3 \text{ кПа}, (4.111)$$

нормальные напряжения по вертикальной площадке:

$$\begin{aligned} \sigma_x^t &= \sigma_y^t m_t^2 - \gamma_w H_d^t (1 - m_t^2) = -349,3 \cdot 0,554^2 - 10 \cdot 8,75 \cdot \\ &\cdot (1 - 0,554^2) = -167,85 \text{ кПа}, \end{aligned} (4.112)$$

где $H_d^t = 9,45$ м – напор над расчётным сечением со стороны нижнего бьефа;

$$m_t = \operatorname{tg}(\alpha_2) = 0,554;$$

α_2 – угол между низовой гранью и вертикалью, $\alpha_2 = 29^\circ$;

касательное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\tau_{xy}^t = -(\gamma_w \cdot H_d^t + \sigma_y^t) \cdot m_t = -(10 \cdot 8,75 - 349,3) \cdot 0,554 = 145,1 \text{ кПа}, (4.113)$$

максимальное растягивающее главное напряжение:

$$\begin{aligned} \sigma_3^t &= \sigma_y^t \cdot (1 + m_t^2) + \gamma_w \cdot H_d^t \cdot m_t^2 = -349,3 \cdot (1 + 0,554^2) + \\ &+ 10 \cdot 8,75 \cdot 0,554^2 = -429,65 \text{ кПа}, \end{aligned} (4.114)$$

максимальное сжимающее главное напряжение:

$$\sigma_1^t = -\gamma_w \cdot H_d^t = -10 \cdot 8,75 = -87,5 \text{ кПа}, \quad (4.115)$$

-для особого сочетания нагрузок:

нормальные напряжения по горизонтальной площадке:

$$\sigma_y^t = -\frac{N'}{B_d} - \frac{6\sum M'}{B_d^2} = -\frac{7113,7}{22,43} - \frac{6 \cdot 4237,1}{22,43^2} = -367,68 \text{ кПа}, \quad (4.116)$$

нормальные напряжения по вертикальной площадке:

$$\begin{aligned} \sigma_x^t &= \sigma_y^t m_t^2 - \gamma_w H_d^t (1 - m_t^2) = -367,68 \cdot 0,554^2 - 10 \cdot 8,98 \cdot \\ &\cdot (1 - 0,554^2) = -175,09 \text{ кПа}, \end{aligned} \quad (4.117)$$

где $H_d^t = 8,98$ м – напор над расчётным сечением со стороны нижнего бьефа;

$$m_t = \operatorname{tg}(\alpha_2) = 0,554;$$

α_2 – угол между низовой гранью и вертикалью, $\alpha_2 = 29^\circ$;

касательное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\begin{aligned} \tau_{xy}^t &= -(\gamma_w \cdot H_d^t + \sigma_y^t) \cdot m_t = -(10 \cdot 8,98 - 367,68) \cdot 0,554 = \\ &= 153,95 \text{ кПа}, \end{aligned} \quad (4.118)$$

максимальное растягивающее главное напряжение:

$$\begin{aligned} \sigma_3^t &= \sigma_y^t \cdot (1 + m_t^2) + \gamma_w \cdot H_d^t \cdot m_t^2 = -367,68 \cdot (1 + 0,554^2) + \\ &+ 10 \cdot 8,98 \cdot 0,554^2 = -452,97 \text{ кПа}, \end{aligned} \quad (4.119)$$

максимальное сжимающее главное напряжение:

$$\sigma_1^t = -\gamma_w \cdot H_d^t = -10 \cdot 8,98 = -89,8 \text{ кПа}. \quad (4.120)$$

4.7.9 Критерии прочности плотины

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

1. Во всех точках плотины:

$$\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3| \leq \gamma_c \cdot R_b, \quad (4.121)$$

где $\gamma_n = 1,2$ – коэффициент надежности по назначению для II класса сооружения;

$\gamma_{lc} = 1,0$ – коэффициент сочетания нагрузок, для основного расчетного случая;

$\gamma_c = 0,9$ – коэффициент условий работы, для основного расчетного случая.

R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию, для основного сочетания нагрузок:

$$R_b \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3|}{\gamma_c} = \frac{1,2 \cdot 1,0 \cdot |256|}{0,9} = 341,33 \text{ кН/м}^2. \quad (4.122)$$

Тогда:

$$1,2 \cdot 1,0 \cdot |256| \leq 0,9 \cdot 2800,$$

$$307,2 \text{ кН/м}^2 < 2520 \text{ кН/м}^2.$$

Условие выполняется.

Для особого сочетания нагрузок:

$$R_b \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma'_3|}{\gamma_c} = \frac{1,2 \cdot 1,0 \cdot |266|}{0,9} = 354,7 \text{ кН/м}^2. \quad (4.123)$$

Тогда:

$$1,2 \cdot 1,0 \cdot |266| \leq 0,9 \cdot 2800,$$

$$319,2 \text{ кН/м}^2 < 2520 \text{ кН/м}^2.$$

Условие выполняется.

Таким образом исходя из условий (8.59) и (8.60) предварительно принимается бетон В5 с расчетным сопротивлением на сжатие $R_b = 2800 \text{ кН/м}^2$, укладываемый в зоне возникновения максимальных сжимающих напряжений.

2. На верховой грани плотины не должно быть растягивающих напряжений:

$$\sigma_y^u < 0.$$

В данном случае $\sigma_y^u = -270,54$ кПа, а $\sigma_y^{u'} = -266,62$ кПа следовательно условие выполняется.

3. В зоне верховой грани плотины:
для основного случая:

$$|\sigma_y^u| \geq 0,25 \cdot \gamma_w \cdot H_d^u,$$

$$270,54 \geq 0,25 \cdot 10 \cdot 25,6, \quad (4.124)$$

$$270,54 \text{ кН/м}^2 > 64 \text{ кН/м}^2,$$

для поверочного случая:

$$|\sigma_y^{u'}| \geq 0,25 \cdot \gamma_w \cdot H_d^u,$$

$$266,62 \geq 0,25 \cdot 10 \cdot 66,6, \quad (4.125)$$

$$266,62 \text{ кН/м}^2 > 66,5 \text{ кН/м}^2.$$

Условия выполняются.

2. В контактном сечении:
для основного случая:

$$\sigma_c^u < 0,$$

(4.126)

$$-270,54 \text{ кН/м}^2 < 0,$$

для поверочного случая:

$$\sigma_c^u < 0,$$

(4.127)

$$-266,62 \text{ кН/м}^2 < 0.$$

Условия выполняются.

3. Под всей плотиной:

$$|\sigma_y^{\max}| \leq |\sigma_0|_h, \quad (4.128)$$

где $|\sigma_0|_h$ – допускаемые напряжения в основании на глубине h от дна:

$$\begin{aligned} |\sigma_0|_h &= [\sigma_0] + K_0 \cdot \gamma_0 \cdot (h_3 - 2) = [500] + 0,25 \cdot 18 \cdot (5,6 - 2) = \\ &= 516,2 \text{ кН/м}^2, \end{aligned} \quad (4.129)$$

где $[\sigma_0]$ – допускаемое напряжение на сжатие для грунта основания;

$K_0 = 0,25$ (для песка);

γ_0 – удельный вес грунта основания (песчаный);

h_3 – заглубление подошвы плотины, относительно дна реки (5,6 м).

Тогда:

$$367,68 \text{ кН/м}^2 < 516,2 \text{ кН/м}^2.$$

Условие выполняется.

4. Коэффициент неравномерности напряжений для нескальных грунтов:

$$\sigma_y^{\max} / \sigma_y^{\min} \leq K_n, \quad (4.130)$$

$$367,68 / 266,62 \leq 2,$$

$$1,38 \leq 2.$$

Условие выполняется.

4.8 Обоснование устойчивости плотины

Устойчивость бетонных плотин на нескальных основаниях определяется несущей способностью основания, а именно сопротивлению сдвигу сооружения. Плотина рассчитывается на сдвиг по первому предельному состоянию – по потере несущей способности.

Предельное равновесие сооружения и основания на протяжении всей рассматриваемой поверхности скольжения соблюдается при следующем равенстве:

$$\tau_{\max} \leq \tau_{\lim} = \sigma_y^{\max} \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (4.131)$$

где τ_{\lim} – предельное касательное напряжение на участке сдвига;

φ – угол внутреннего трения грунта основания;

c – удельное сцепление грунта основания.

Расчет устойчивости гравитационного сооружения, основание которого сложено песчаными, крупнообломочными, твердыми и пылевато –глинистыми полутвердыми грунтами производится по схеме плоского сдвига при выполнении условия:

$$N_{\sigma} = \frac{\sigma_y^{\max}}{b \cdot \gamma_{\text{гр}}} \leq N_0, \quad (4.132)$$

где N_{σ} – число моделирования;

σ_y^{\max} – максимальное нормальное напряжение в угловой точке под подошвой сооружения;

b – ширина прямоугольной подошвы сооружения, параллельная сдвигающей силе;

$\gamma_{\text{гр}}$ – удельный вес грунта основания;

$N_0 = 3$ – безразмерное число.

При поступательной форме сдвига плотина будет устойчива, если выполняется условие:

$$\frac{R \cdot \gamma_c}{F \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n, \quad (4.133)$$

где $\gamma_n = 1,2$ – коэффициент надежности по назначению для II класса сооружения;

$\gamma_{lc} = 1,0$ – коэффициент сочетания нагрузок, для основного расчетного случая;

$\gamma_c = 0,9$ – коэффициент условий работы, для основного расчетного случая.

R – расчетное значение обобщенной несущей способности:

$$\begin{aligned} R &= (G_{\text{пл}} + G_6 + q_3 - W_{\text{ф}} - W_{\text{взв}} + W_{\text{в}} + W_{\text{н}}) \cdot \operatorname{tg} 30^{\circ} + E_{\text{пл}} \cdot \gamma'_c + c \cdot \omega = \\ &= (6592,6 + 1531,7 + 23,9 - 400,84 - 2000,26 + 702,1 + 502,3) \cdot \\ &\cdot 0,577 + 49,5 \cdot 0,7 + 3 \cdot 22,43 = 4115,38 \text{ кН/м}, \end{aligned} \quad (4.134)$$

где $\gamma'_c = 0,7$ – коэффициент условия работы для пассивного давления грунта;
 ω – горизонтальная проекция площади подошвы плотины;
 F – сдвигающая сила:

$$F = T'_B - T'_H + W_{\text{волн}} + E'_H + E'_{\text{ав}} = 3214,5 - 375,5 + 2,67 + 29,1 + 108,2 = 2979 \text{ кН/м.} \quad (4.135)$$

Таким образом:

$$\frac{4115,38 \cdot 0,9}{2979 \cdot 1} \geq 1,2,$$

$$1,24 > 1,2.$$

Условие выполняется.

Для особого сочетания нагрузок:

$$\begin{aligned} R' &= (G_{\text{пл}} + G_{\text{б}} + q_3 - W'_{\text{ф}} - W'_{\text{взв}} + W'_B + W'_H) \cdot \text{tg} 30^\circ + E_{\text{пл}} \cdot \gamma'_c + c \cdot \omega = \\ &= (6592,7 + 1531,7 + 23,9 - 400,84 - 2022,8 + 798,5 + 590,6) \cdot \\ &\cdot 0,557 + 49,5 \cdot 0,7 + 3 \cdot 22,43 = 4174,4 \text{ кН/м.} \end{aligned} \quad (4.136)$$

Сдвигающая сила:

$$F' = T'_B - T'_H + W_{\text{волн}} + E'_H + E'_{\text{ав}} = 3401,6 - 412,5 + 2,67 + 29,1 + 108,2 = 3129 \text{ кН/м.} \quad (4.137)$$

Таким образом:

$$\frac{4172,4 \cdot 0,9}{3129 \cdot 1} \geq 1,2,$$

$$1,2 = 1,2.$$

Условие выполняется.

Так как условия выполняются и при основном и при особом сочетании нагрузок, можно сделать вывод, что плотина находится в устойчивом состоянии.

5. Организация строительства

5.1 Пропуск строительных расходов I очереди

Необходимая величина стеснения русла определяется размерами возводимых в котловане I очереди сооружений, размерами перемычек и допустимыми неразмывающими скоростями для грунтов русла реки ($V_{\text{доп}}$).

5.1.1 Гидравлический расчет пропуска строительных расходов I очереди через стесненное русло

Стеснение русла для русел, из песчаных грунтов принимается $J=40\%$

$$V_{\text{сж}} = J \cdot V_0, \quad (5.1)$$

Где V_0 , м - ширина русла реки; Принимается по геологическому разрезу створа ГЭС на уровне УВ (при $Q_{\text{стр}}$).

$$V_0 = 816 \text{ м при } \nabla \text{УВ} (Q_{10\%}) = 24 \text{ м}$$

$$V_{\text{сж}} = 0.4 \cdot 816 = 326.4 \text{ м},$$

Определение скорости потока в сжатом русле $V_{\text{сж}}$:

$$V_{\text{сж}} = \frac{Q_{\text{стр}}}{\omega_{\text{сж}}}, \quad (5.2)$$

$$V_{\text{сж}} = \frac{2366}{2866} = 0.82 \text{ м/с},$$

$$h_{\text{сж}} = \text{УВ}_{Q_{\text{стр}}} - \nabla \text{ДНА}, \quad (5.3)$$

$$h_{\text{сж}} = 24 - 15 = 9 \text{ м},$$

$$\omega_{\text{сж}} = V_{\text{сж}} \cdot h_{\text{сж}}, \quad (5.4)$$

$$\omega_{\text{сж}} = 326.4 \cdot 9 = 2938 \text{ м}^2,$$

Допустимая средняя скорость для грунтов русла реки сравнивается со скоростью в сжатом сечении:

$$0.82 < 1 \text{ м/сек}$$

Если $V_{\text{сж}} < V_{\text{доп}}$, следовательно, не происходит размыв русла.

5.1.2 Определение отметок гребня перемычек

Определяем перепад уровней воды в реке между верховой и низовой перемычками

$$Z_{\text{расч}} = \frac{V_{\text{сж}}^2}{2\varphi^2 g} - \frac{V_0^2}{2g}, \quad (5.5)$$

где $\varphi = 0,8-0,85$ коэффициент скорости;
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения

$$Z_{\text{расч}} = \frac{0,82^2}{2 \cdot 0,8^2 \cdot 9,81} - \frac{0,32^2}{2 \cdot 9,81} = 0,048 \text{ м},$$

$$V_0 = \frac{Q_{\text{стр}}}{\omega_0}, \quad (5.6)$$

$$V_0 = \frac{2366}{7507} = 0,32 \text{ м/с},$$

$$\omega_0 = B_0 \cdot (h_0 + Z_{\text{прин}}); \text{ м}^2; \quad (5.7)$$

$$W_0 = 816 \cdot (9 + 0,2) = 7507 \text{ м},$$

5.1.3 Отметка гребня верховой перемычки I очереди

$$\nabla \text{ГВП}_{\text{Юч}} = \text{УВ}_{\text{Qстр}} + Z_{\text{расч}} + d; \text{ м}; \quad (5.8)$$

Где h_n = высота наката ветровой волны на откос 0,5 м;

Δh = высота ветрового нагона 0,5 м;

α = запас 0,4-0,5 м.

Величину d необходимо увеличить на 2,0 м при наличии ледохода на реке.
Добавим глубину сезонного промерзания 2,0 м

$$\nabla \text{ГВП}_{\text{Юч}} = 24 + 0,048 + 3,5 + 2,0 = 29,6 \text{ м}$$

5.1.4 Отметка гребня низовой перемычки I очереди

$$\nabla \text{ГНП}_{\text{Юч}} = \text{УВ}_{\text{Qстр}} + \alpha; \text{ м}; \quad (5.9)$$

$$\nabla \text{ГНП}_{\text{Юч}} = 24 + 2,5 + 2,0 = 28,5.$$

5.2 Пропуск строительных расходов II очереди через донные отверстия в водосбросе

5.2.1 Определяем минимально допустимое количество донных отверстий из условия неразмываемости русла реки

$$n_{min} = \frac{Q_{стр}}{V_{доп} \cdot h_p \cdot l}, \quad (5.10)$$

где $V_{доп} = 10$ м/сек - допустимая средняя скорость для бетона;

$h_p = 9,0$ м – глубина воды на пороге быстротока или в русле реки м;

$l = 18,0$ м – ширина донного отверстия.

Ширину донного отверстия в строительный период обычно принимают равной ширине водосбросных отверстий эксплуатационного периода (11 отверстий по 18 метров).

$$n_{min} = \frac{2366}{10 \cdot 9 \cdot 18} = 1,46$$

2. Определяем отметку порога донных отверстий, (∇ ПДО).

$$Q_{пер} = Q_{сент} = 215 \text{ м}^3/\text{сек},$$

$$\nabla \text{УНБ}(Q_{пер}) = 17 \text{ м},$$

$$\nabla \text{УВБ}(Q_{пер}) = \nabla \text{УНБ}(Q_{пер}) + Z_{max}, \quad (5.11)$$

$$\nabla \text{УВБ}(Q_{пер}) = 17 + 2 = 19 \text{ м},$$

$$H_{п} = \left(\frac{Q_{пер}}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} \quad (5.12)$$

где $b = n \cdot l = 2 \cdot 18 = 36$ м – ширина донных отверстий;

n - количество донных отверстий;

l - ширина донного отверстия, м;

m – коэффициент расход водослива, для водослива с широким порогом 0,3-0,35.

$$H_{п} = \left(\frac{215}{0,3 \cdot 36 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 2,72 \text{ м}$$

$$\nabla \text{ПДО} = \nabla \text{УВБ}(Q_{пер}) - H_{п} = 19 - 2,72 = 16,28 \text{ м}, \text{ отметка Дна } 15,0 \text{ м}.$$

5.2.2 Определяем количество отверстий строительного периода для пропуска максимального строительного расхода $Q_{стр}$

$$(\nabla \text{ верха ДО}) = \nabla \text{ ПДО} + h, \quad (5.13)$$

$$(\nabla \text{ верха ДО}) = 16,28 + 5 = 21,28 \text{ м}$$

$$(\nabla \text{ верха ДО}) = 21,28 \leq \nabla \text{ УНБ } (Q_{стр}) = 24,0 \text{ м} - \text{затопленное отверстие}$$

5.3 Определение отметок гребня перемычек II очереди:

Отметка гребня верховой перемычки II очереди:

$$\nabla \text{ ГВП}_{\text{IIоч}} = \nabla \text{ УВБ}(Q_{стр}) + d, \quad (5.14)$$

$$\nabla \text{ ГВП}_{\text{IIоч}} = 25,7 + 3,5 + 2,0 = 31,2 \text{ м},$$

Отметка гребня низовой перемычки II очереди:

$$\nabla \text{ ГНП}_{\text{IIоч}} = \nabla \text{ УНБ}(Q_{стр}) + a, \quad (5.15)$$

$$\nabla \text{ ГНП}_{\text{IIоч}} = 24 + 2,5 + 2,0 = 28,5 \text{ м}.$$

Этапы основного периода:

I этап-возведение сооружений для перекрытия

II этап- перекрытие русла

III этап-возведение и наращивание сооружения для начала наполнения водохранилища

IV этап-наращивание сооружения для пуска первых ГА

V этап-наращивание сооружения до проектной отметки и поочередного пуска гидроагрегатов

I этап-возведение сооружений для перекрытия русла реки

Состав работ I этапа:

–отсыпка верховой, продольной и низовой перемычек I очереди;

–водоотлив из котлована I очереди;

–разработка котлована I очереди с применением БВР;

–возведение сооружений в котловане I очереди до отм. 33 м и выше (водосливная плотина, и устой);

–возведение левобережной грунтовой плотины до отметки 32 м.

По генплану определяем длины перемычек, верховой $L_{в} = 163$ м, продольной перемычки $L_{п} = 230$ м, низовой $L_{н} = 235$ м.

Отсыпка верховой, продольной и низовой перемычек I очереди. Конструкция перемычек I очереди (верхней и низовой), представленных на рисунках 5.1 и 5.2

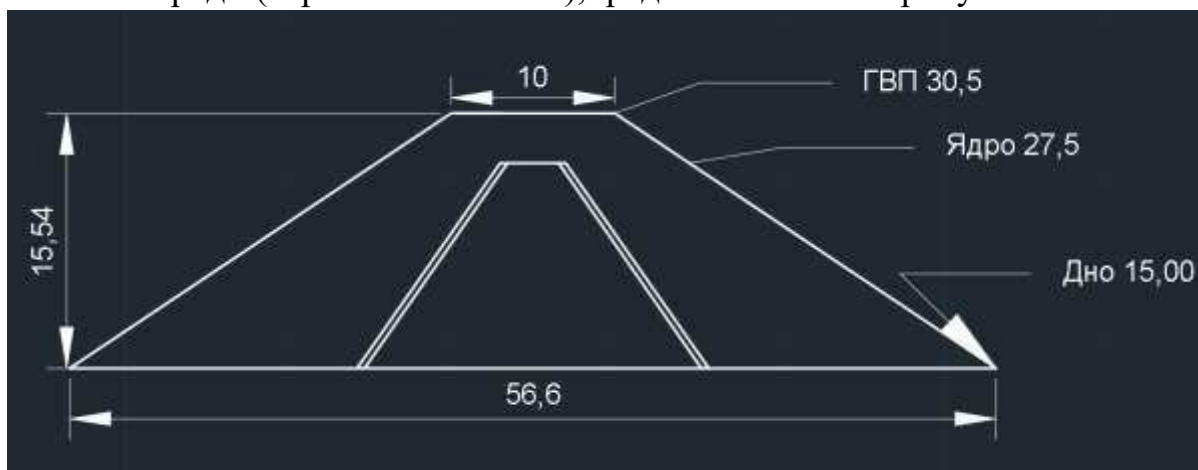


Рисунок 5.1– Конструкция верховой перемычки I очереди

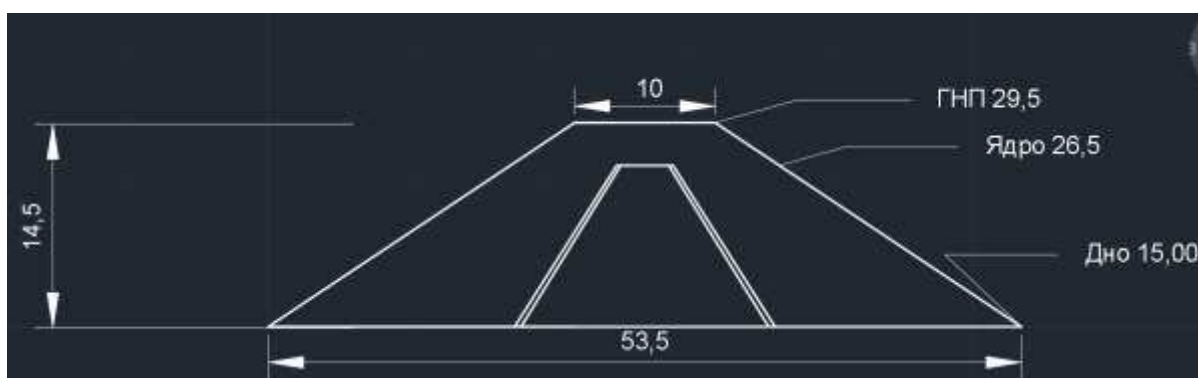


Рисунок 5.2– Конструкция низовой перемычки I очереди

Технология возведения перемычек I очереди

Перед возведением перемычек отсыпаем скальный банкет, затем начинаем отсыпку перемычек в стоячую воду.

Согласно ГЭСН 36-01-004-3 “Возведение плотин, способом отсыпки грунта в искусственные прудки слоями до 4 м” на 1000м³ грунта приходится 16,83 маш.ч./1000 м³.

С помощью программы AutoCAD определены длины перемычек.

Площади перемычек равны:

$$S_{\text{вп}}=465,74 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{пп}}=465,74 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{нп}}= 408,4 \text{ м}^2.$$

Суммарный объём верховой и продольной и НП перемычек первой очереди:

$$V_{\text{сум}}=L_{\text{вп}} \cdot S_{\text{вп}}+L_{\text{пп}} \cdot S_{\text{пп}}+L_{\text{нп}} \cdot S_{\text{нп}}=163 \cdot 465,74+230 \cdot 465,74+235 \cdot 408,4=75915,62+107120,2+95974=279009,82 \text{ м}^3,$$

Время возведения перемычек:

$$T=(V_{\text{пер}} \cdot T_{\text{пер}})/1000=(279009,82 \cdot 16,83)/1000=4695,7\text{ч}$$

5.4 Откачка воды и водопонижение в котловане I очереди

Водоотлив котлована состоит из двух этапов: первоочередная откачка воды котлована и водопонижение.

5.4.1 Первоочередная откачка воды

Первоочередную откачку воды выполняем методом открытого водоотлива

Определяем объём воды, которую требуется откачать из котлована с учетом фильтрации:

где $S_{\text{кот}}$ – площадь котлована, определяемая с помощью программы AutoCad;

h_e – глубина воды в котловане при строительном расходе воды в реке

$$h_b=UB_{\text{стр}}-\Delta_{\text{дна}}=24-15=9\text{м},$$

Откачку осуществляем насосами, которые будут установлены на берегу. Планируем не менее двух насосов: основной и резервный, количество насосов влияет на время откачки. Объём откачиваемой воды равен 3 объемам котлована. Необходимо соблюдать интенсивность откачки, то есть градиент напоров не должен превышать допустимый для скального грунта, из которого сложены откосы перемычек и котлована, в противном случае произойдет суффозия – и размыв бортов.

Для открытого водоотлива применяют насосы типа Д – одноступенчатые. Согласно ГОСТ 22247-96, для откачки воды выбраны насосы Varisco марки JE6-250 G11 FT40, производительность которых равна $W_e = 250\text{м}^3/\text{час}$ при высоте подъема воды до 15 м. Количество насосов принято $n=2$, с учетом водопонижения.

Определяем время откачки при работе 24 час/сут:

$$T_{\text{отк}}=V_b/W_b \cdot n, \quad (5.20)$$

$$T_{\text{отк}}=714150/250 \cdot 2=952,2\text{ч}=40 \text{ дней}$$

Определяем интенсивность понижения уровня воды:

$$J=h/T_{\text{отк}}, \quad (5.21)$$

$$J=9/40=0,225\text{м/сут}$$

Полученная интенсивность откачки выше допустимой величины для илистого грунта (суглинка) $J_{доп}=0,2\text{м/сут}$. Для мелкозернистых грунтов $-0,15-0,2\text{ м/сут}$

5.4.2 Определение объемов земляных работ

Площадь левой части $W_1 1130.62 \cdot 22.42 = 25348,5$

Площадь правой части $W_2 1530 \cdot 22.42 = 34302,6$

5.4.3 Разработка котлована I очереди с применением БВР

Песчаные мерзлые грунты по трудности бурения пород имеют класс горных пород $Пб= 5$

Выбираем модель бурового станка 5СБШ-200-36 (техническая скорость бурения 10м/ч)

5.4.4 Определяем производительность бурового станка:

Сменная производительность бурового станка метры/смену определяется по формуле:

$$П_{б.см} = T_{см} \cdot K_{и.в} / (T_0 + T_B) \quad (5.22)$$

5.4.5 Цикл земельно-скальных работ в котловане I очереди

Производство земельно-скальных работ состоит из:

- рыхления грунтов с применением буровзрывных работ (БВР);
- разработки грунта экскаватором, погрузки его в транспорт, транспортировки грунта и складирования.

Определяем общий объем земельно-скальных работ:

$$W_{зср} = W_{зср1} + W_{зср2} \quad (5.23)$$

где W_1 – объем врезки котлована I очереди;

W_2 – выемка дорог и проездов, равна 40% от W_1 ;

W_3 – выемка под водобой и рисберму.

$$W_{зср} = 85148,1 + 125726,84 = 210874,94\text{м}^3$$

Объем земельно-скальных работ для I очереди строительства:

$$W_{зср1} = W_1 + W_2 + W_3 \quad (5.24)$$

$$W_{\text{ср1}}=25348,5+10139,2+49660,4=85148,1\text{м}^3$$

Объем земельно-скальных работ для II очереди строительства:

$$W_{\text{ср2}}=W_1+W_2+W_3 \quad (5.25)$$

где W_1 – объем врезки котлована II очереди
 W_2 – выемка дорог и проездов, равна 40% от W_2 ,
 W_3 – выемка для отсасывающей трубы.

$$W_{\text{ср2}}=34302,6+13721,04+77703,2=125726,84\text{м}^3$$

5.4.6 Производство земляных работ

Разработку разрыхленного грунта выполняем экскаватором.

Цикл земляных работ состоит из набора грунта экскаватором прямой лопатой с погрузкой в транспорт, транспортировки в полезную насыпь на расстоянии 3 км, работы на отвале.

Согласно СНиП IV-2-82 Сборник 1. Земляные работы, разрыхленный грунт основания (песок и рыхловатая глина), относится к VI группе грунтов. Для разработки предварительно разрыхленного грунта используются одноковшовые экскаваторы.

Выбран экскаватор ЕТ – 26FS, емкостью ковша 1,25 м³, на гусеничном ходу.

В качестве транспорта для погрузки грунта выбран самосвал. Исходя из условия, что объем кузова автосамосвала равен 5÷6 ковшей экскаватора, то есть $W=6 \cdot 1,25=7,5\text{м}^3$

Подберем самосвал АС-68904Е базе КАМАЗ 65225-0001971-22 объемом кузова 18,5 м³, грузоподъемностью 17,7 т.

Техническая производительность экскаватора:

$$П_{\text{т}}=3600 \cdot q \cdot K_{\text{н}}/t_{\text{ц}}K_{\text{р}}, \quad (5.26)$$

где q – емкость ковша;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша экскаваторов. Согласно «Сборник вспомогательных материалов для разработки пособия по рекультивации земель, нарушаемых в процессе разработки карьеров и строительства автомобильных дорог», для суглинка $K_{\text{н}}=1,1$;

$t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла (для данных условий), с;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент первоначального разрыхления грунта, определяется исходя из значения первоначального увеличения объема грунта после разработки. Согласно ЕНиР Е2 В1 Земляные работы. Механизированные и ручные земляные работы это значение для суглинка равно 24%.

$$P_T = 3600 \cdot 1.25 \cdot 1.1 / 25 \cdot 1.24 = 4950 / 31 = 160 \text{ м}^3/\text{час}$$

Коэффициент K_p определяется по формуле:

$$K_p = 24\% / 100\% + 1 = 1.24 \quad (5.27)$$

Эксплуатационная производительность экскаватора:

$$P_3 = P_T \cdot T_p \cdot K_B, \quad (5.28)$$

где P_T – техническая производительность;

T_p – длительность периода работы $T_p = 1$ час;

K_B – коэффициент использования машины по времени, принимаемый в соответствии с Методическими рекомендациями по проектированию и проверке технически обоснованных норм времени расчетно-аналитическим методом равным $0,7 \div 0,8$.

$$P_3 = 160 \cdot 1 \cdot 0.8 = 128 \text{ м}^3/\text{час}$$

Необходимое количества транспорта:

$$(m1) \cdot T_n = L_1 / V_1 + L_2 / V_2 + T_p + T_3, \quad (5.29)$$

где m – количество единиц транспорта на 1 экскаватор;

T_n – время погрузки 1 машины, определяется по формуле ;

L_1, L_2 – расстояние от створа гидроузла до бетонного завода туда и обратно соответственно, $L_1 = L_2 = 3,45$ км;

V_1, V_2 – скорости, с которыми движется экскаватор туда и обратно соответственно, $V_1 = 55$ км/ч, $V_2 = 25$ км/ч;

T_p – время разгрузки самосвала в час, $T_p = 40 \text{ сек} = 0,011$ ч;

T_3 – время задержки в пути час, $T_3 = 15 \text{ мин} = 0,25$ ч.

$$(m1) \cdot T_n = 3,45 / 55 + 3,45 / 25 + 0,011 + 0,25 = 0,062 + 0,138 + 0,011 + 0,25 = 0,461$$

Время погрузки:

$$T_n = W / P_3, \quad (5.30)$$

где W – емкость кузова в м^3 ;

P_3 – эксплуатационная производительность экскаватора $\text{м}^3/\text{час}$.

$$T_n = 7.5 / 128 = 0,058 \text{ ч},$$

Тогда:

$$m=0,461/0,058=7,94\text{шт}$$

Принято $m=8$ шт.

Производительность экскаватора в месяц:

$$P_3 = P_m \cdot T_p \cdot K_v, \quad (5.31)$$

$$P_3 = 160 \cdot 8 \cdot 21 \cdot 0,8 = 21504 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Тогда время работы экскаватора:

$$T = W/P_3, \quad (5.32)$$

$$T = 210874/21504 = 9,8 \text{ мес}$$

Интенсивность земляных работ:

$$J_{зр} = T/W, \quad (5.33)$$

$$J_{зр} = 9,8/210874 = 0,000046 \text{ мес}/\text{м}^3$$

5.5 Производство бетонных работ

Цикл бетонных работ состоит из:

- Вспомогательных работ: опалубочные и арматурные работы;
- Основных работ: приготовление бетонной смеси, транспорт бетонной смеси (горизонтальный и вертикальный), подготовка блока к бетонированию, укладка и уплотнение бетонной смеси, уход за бетоном и контроль качества бетонных работ.

5.5.1 Определение объемов бетонных работ

Объем бетонирования водосливной части, водобоя и рисбермы $V_e = 20650$ м³.

Объем бетонирования здания ГЭС $V_e = 33840$ м³.

Общий объем бетонирования $V_e = 54490$ м³.

5.5.2 Приготовление бетонной смеси

Приготовление бетонной смеси осуществляется на бетонном заводе, принимаем бетонный завод «СТАНДАРТ-15», который находится в 3,5 км от

производимых работ в месте возведения плотины. Тип завода: полуавтоматический, стационарный.

5.5.3 Транспорт бетонной смеси (горизонтальный)

Доставку бетонной смеси от бетонного завода осуществляем путем транспортировки автобетоносмесителем.

Доставка к месту работ будет выполняться с помощью автобетоносмесителя «Камаз» 55111(емкость 4м³). Бадря будет 3,2м³, поэтому за рейс будет перевозиться 3,2м³ бетона.

Определение объема смеси, перевозимой одним бетоносмесителем до места подачи в блок:

$$Q=q \cdot 60 \cdot T \cdot k / t(\text{ц}) , \quad (5.34)$$

где q – Объем порции бетонной смеси 4 м³, перевозимый за 1 рейс в м³;

60 – количество минут в часе;

T – продолжительность смены в часах;

k – Коэффициент использования рабочего времени = 0,8;

$t(\text{ц})$ – 36 мин, продолжительность цикла в минутах $t(\text{ц}) = t$ (загрузка 8 мин)+ t (грузовой пробег 10 мин)+ t (выгрузка 5 мин)+ t (порожний пробег 6 мин)+ t (очистка кузова 7 мин).

$$Q=3,2 \cdot 60 \cdot 8 \cdot 0,8 / 36=34,4 \text{ м}^3/\text{см}$$

Количество машинорейсов составит

$$N= I/Q= 2547/21/3/34,4=2 , \quad (5.35)$$

$$I= 2547 \text{ м}^3/\text{мес} = 2547/21/3=40,4 \text{ м}^3/\text{смену}$$

5.5.4 Транспорт бетонной смеси (вертикальный)

Схема подачи бетонной смеси в блоки бетонирования по вертикали выбрана с применением башенных бетоноукладочных кранов. Выбрана схема установки кранов 1.

Для производства укладки блоков выбран башенный бетоноукладочный кран КБГС-1000, грузоподъемностью 20-50 т. технические характеристики которого представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1-Технические характеристики

Наименование	Значение
Наибольший вылет крюка, м.	40
Высота подъема, м.	18.5
База крана, м.	10
Длина колеи, м.	10
Скорость передвижения, м/мин.	10.5
Вес, т.	518
Грузоподъемность, т.	20-50

Количество машино-часов для укладки бетона кранами башенными бетоноукладочными грузоподъемностью 20 т определяем по ГЭСН37-01-002-01 – 10,26 маш/ч на 100 м³ бетона.

Время укладки бетона:

$$T_{ук} = V \cdot T / 100, \quad (5.36)$$

где V – объем поверхности бетона;

T – количество машино-часов, определенное по ГЭСН 37-01-002-01 в соответствии с выбранным типом кранов.

$$T_{ук} = 54490 \cdot 10.26 / 100 = 5590,674 \text{ маш/ч} = 233 \text{ сут.}$$

5.5.5 Опалубочные работы

Площадь опалубливаемой поверхности в м²:

$$S = V \cdot K_{оп}, \quad (5.37)$$

где V – объем бетона внутри опалубливаемой поверхности S , м³;

$K_{оп} = 0,4$ – коэффициент опалубливаемой поверхности в м²/м³, для массивных плотин.

Тип опалубки: деревянная крупнопанельная щитовая плоская с тяжами.

$$S = 54490 \cdot 0.4 = 21796 \text{ м}^2$$

5.5.6 Технология монтажа опалубки

Монтаж опалубки выполняется с помощью бетоноукладочных кранов. Количество машино-часов для установки и разборки выбранного типа опалубки при подаче кранами башенными бетоноукладочными 20 т: определяем по ГЭСН37-01-015-01 – 13,21 маш/ч на 100 м² опалубливаемой поверхности.

Время выполнения опалубочных работ:

$$T_{оп} = S \cdot T / 100, \quad (5.38)$$

где S – площадь опалубливаемой поверхности;

T – количество машино-часов, определенное по ГЭСН 37-01-015-01 в соответствии с выбранным типом опалубки.

$$T_{оп} = 21796 \cdot 13,21 / 100 = 2879,3 \text{ маш/ч} = 120 \text{ сут}$$

5.5.7 Арматурные работы

Объем арматурных работ:

$$S = V \cdot K_{ар}, \quad (5.39)$$

где V – объем бетона для армирования S , м³;

$K_{ар} = 15$ – коэффициент армирования

$$S = 54490 \cdot 15 = 817350 \text{ кг} = 817,35 \text{ т}$$

5.5.8 Технология монтажа арматурных изделий

Монтаж арматурных изделий выполняется с помощью бетоноукладочных кранов. Количество машино-часов для установки армокаркасов и армоферм массой до 5 тонн кранами башенными бетоноукладочными 20 тонн определяем по ГЭСН 37-01-027-02 – 75,21 маш/ч на 100 т.арматуры.

Время выполнения арматурных работ:

$$T_{ар} = S \cdot T / 100, \quad (5.40)$$

где S – площадь армируемой поверхности;

T – количество машино-часов, определенное по ГЭСН 37-01-027-02 в соответствии с выбранным типом арматуры.

$$T_{ар} = 817,35 \cdot 75,21 / 100 = 614,7 \text{ маш/ч} = 25,6 \text{ сут.}$$

5.5.9 Вибрирование бетона

Вибрирование бетона выполняется с помощью глубинного вибратора. Количество машино-часов вибрирования определяем по ГЭСН 37-01-002-02 – 28,68 маш/ч на 100 м³ бетона.

Время выполнения вибрирования:

$$T_{\text{виб}}=S \cdot T/100, \quad (5.41)$$

где S – площадь вибрируемой поверхности;

T – количество машино-часов, определенное по ГЭСН 37-01-002-02 в соответствии с выбранным типом вибратора.

$$T_{\text{виб}}=54490 \cdot 28.68/100=15627,73 \text{ маш/ч}=652 \text{ сут.}$$

Суммарное время на выполнение бетонных работ:

$$T=T_{\text{ук}}+T_{\text{оп}}+T_{\text{ар}}+T_{\text{виб}}=5590,674+2879,3+614,7+15627,73=24712,404 \text{ маш/ч}$$

Интенсивность бетонных работ:

$$J=T/S, \quad (5.42)$$

где S – площадь поверхности бетона;

T – суммарное время выполнения бетонных работ

$$J=24712,404/54490=0,46 \text{ маш.час/м}^3$$

5.6 Подготовка блока к бетонированию

В общем случае мероприятия по подготовке блоков к бетонированию имеют своей целью обеспечить условия для нормального ведения бетонных работ в блоке и для набора бетоном и конструкцией проектной прочности, включая получение прочного и плотного сцепления свежееуложенной смеси с ранее уложенным бетоном или с естественным основанием. Эти мероприятия подразделены на следующие группы:

установка опалубки (деревянную крупнопанельную щитовую) и заделка щелей;

- установка и зачистка проектных арматурных конструкций;
- установка закладных частей для различного оборудования;
- установка контрольно-измерительной аппаратуры;
- подготовка площадок и оборудования для приема бетонной смеси;
- подготовка поверхностей оснований блоков;
- приемка блоков к бетонированию;

–проверка готовности всего тракта приготовления – транспорта и подачи бетонной смеси в блок и их соответствия проектным условиям.

Каждая группа мероприятий имеет свой набор работ, обеспечивающих в итоге нормальный ход бетонных работ и требуемые качества бетона и бетонных конструкций. Установка (монтаж) типа арматурных конструкций и

опалубки осуществляется на основе чертежей и схем армирования и схем опалубки блоков.

5.6.1 Уход за бетоном

При производстве бетонных работ обязательен комплекс мер по уходу за уложенным бетоном, обеспечивающий (СП «Конструкции бетонные гидротехнических сооружений. правила производства и приемки работ»):

–создание и поддержание температурно-влажностного режима, необходимого для приобретения бетоном требуемых проектом прочности и долговечности в установленные сроки, а также предотвращающего значительные температурно-усадочные деформации и образование опасных трещин;

–предохранение бетона в начальный период его твердения от ударов, сотрясений и повреждений в ходе строительного-монтажных работ.

Для массивных гидротехнических сооружений необходимые мероприятия по уходу за бетоном по регулированию температурного режима массивных сооружений.

Разработка технологии производства бетонных работ на территории гидроузла в вечной мерзлоте Турейской ГЭС предусмотрены следующие мероприятия по уходу за бетоном:

В летний период:

–поддержание открытых поверхностей в постоянно влажном состоянии путем распыления над ними воды, создания на них тонкой водяной пленки, заливки их водой или укрытия песком (или иным влагоемким материалом), систематически увлажняемым в процессе твердения бетона;

–при бетонировании в жаркую и сухую погоду открытая поверхность свежешелюженной бетонной смеси сразу же после ее укладки и уплотнения в незащищенных шатром массивных блоках и конструкциях типа плит должна укрываться паронепроницаемой (полиэтиленовой) светлой пленкой 0,16—0,20 мм и находится под нею в течение 6-8 ч, после чего может быть начат систематический влажностный уход за бетоном посредством полива водой и др.

- в жаркую и сухую погоду на период ухода за бетоном должна также постоянно находиться во влажном состоянии неснятая деревянная опалубка. при охлаждении блоков не нужно, когда блоки укладывают летом, допускать перегрева, используется технология укладки через блок.

В зимний период:

–максимальная температура разогрева бетонной кладки в прискальной зоне (два метра от основания) допускается не более 28 °С;

–в бетонной кладке выше прискальной зоны предельная температура разогрева допускается только до 28°C, +5°C на каждый метр высоты слоя над прискальной зоной, но не выше + 40°C;

–до омоноличивания швов не допускается остывание бетона в прискальной зоне ниже 0°C;

–при перерывах в укладке бетона одного и того же столба более 30 суток возобновление бетонирования должно осуществляться как в прискальной зоне;

–при бетонировании смежных столбов одной и той же секции температура бетона в отстающем столбе не должна превышать более чем на 15°C температуру опережающего столба;

-выполнять геотехнический мониторинг;

Для борьбы с низкими температурами наружного воздуха (до минус 40 °С) технология возведения сооружения в условиях крайнего севера предусматривает использование утепленной опалубки. Для Турейской ГЭС будет использоваться опалубка с щитами из бруса толщиной 200 миллиметров.

Бетонная смесь при транспортировке в блок бетонирования должна иметь температуру не ниже +5°C для чего используются автомобили-миксеры с подогревом.

Во время всего процесса укладки бетонной смеси в блок она обогревается 2 калориферами с целью поддержания температуры + 30°C для того, чтобы процесс гидратации происходил как можно быстрее, до того момента пока бетонная смесь не наберет необходимую прочность.

5.6.2 Контроль качества бетонных работ

Контроль качества конструкций должен устанавливать соответствие технических показателей конструкций (геометрических размеров, прочностных показателей бетона и арматуры, прочности, трещиностойкости и деформативности конструкции) при их изготовлении, возведении и эксплуатации, а также параметров технологических режимов производства показателям, указанным в проекте, нормативных документах и в технологической документации (СНиП 12-01, ГОСТ 4.250).

Способы контроля качества (правила контроля, методы испытаний) регламентируются соответствующими стандартами и техническими условиями (СНиП 3.03.01, ГОСТ 13015.1, ГОСТ 8829, ГОСТ 17625, ГОСТ 22904, ГОСТ 23858).

Для обеспечения требований, предъявляемых к бетонным и железобетонным конструкциям, следует производить контроль качества продукции, включающий в себя входной, операционный, приемочный контроль. Контроль прочности бетона следует производить, как правило, по результатам испытания специально изготовленных или отобранных из конструкции контрольных образцов (ГОСТ 10180, ГОСТ 28570). Для монолитных конструкций, кроме того, контроль прочности бетона следует производить по результатам испытаний контрольных образцов,

изготавливаемых на месте укладки бетонной смеси и хранящихся в условиях, идентичных твердению бетона в конструкции, или неразрушающими методами (ГОСТ 18105, ГОСТ 22690, ГОСТ 17624).

5.6.3 Производство бетонных работ в зимних условиях

Особые требования к производству бетонных работ при отрицательной температуре наружного воздуха или основания предъявляются при наличии одного из следующих условий:

- среднесуточная температура наружного воздуха ниже 0° С;
- минимальная суточная температура наружного воздуха минус 5° С или ниже;
- температура основания, подготавливаемого для укладки на него бетона, ниже 0°С.

Производство зимних бетонных работ ведется при строгом соблюдении заданных проектом требований по сохранению монолитности сооружения обеспечивать получение в заданные сроки бетона с предусмотренной проектом прочностью, водонепроницаемостью и морозостойкостью. Для выполнения этого необходимо:

- сохранение положительных температур как бетонной смеси в процессе укладки, так и уложенного бетона;
- обеспечение надлежащего температурного режима в процессе твердения бетона;
- ограничение температурного перепада между ядром и поверхностью блока при выдерживании бетона в опалубке и между ядром блока и наружным воздухом при его распалубке.

В регионе строительства гидроузла абсолютная минимальная температура воздуха, °С согласно СП 131.13330.2012 равна минус 51°С (г. Алдан).

5.7 Второй этап: перекрытие русла

Пропуск строительного расхода при перекрытии русла производится через донные отверстия в бетонной водосливной плотине котлована первой очереди.

Основные работы второго этапа:

- Предварительное стеснение русла перемычками II очереди;
- Разборка низовой перемычки I очереди и затопление котлован;
- Разборка верховой перемычки I очереди (расходы пропускаются через донные отверстия).

5.8 Третий этап: наращивание сооружения до отметок для начала наполнения водохранилища

Основные строительные работы III этапа (котлован II очереди):

- 1) Возведение верховой и низовой перемычек II очереди (котлован II очереди);
- 2) Откачка воды и водопонижение в котловане II очереди;
- 3) Выемка скальных грунтов с врезкой в скалу правого берега применением БВР;
- 4) Возведение Здания ГЭС и правобережной грунтовой плотины;
- 5) Наращивание левобережной грунтовой плотины.
- 6) Устройство глубокой цементационной завесы;
- 7) Бурение дренажных скважин в основании плотины.

Конструкции перемычек II очереди, технологию возведения, механизмы и транспорт принимаем аналогичными, как для перемычек I очереди. Все работы: водоотлив, БВР, выемка грунтов, бетонные по котловану II очереди выполняются аналогично, как в котловане I очереди с применением тех же технологий, механизмов и транспорта. Объемы и время выполнения работ приведены в итоговых таблицах.

5.9 Четвертый этап: наполнение водохранилища до отметок пуска первых агрегатов

Основные строительные работы IV этапа

- 1) Наращивание всех основных сооружений по всему напорному фронту до отметки УМО=34,66 м;
- 2) Регулируемый пропуск строительных расходов для обеспечения наполнения водохранилища для пуска ГА;
- 3) Пуск ГА;
- 4) Наращивание правобережной и левобережной грунтовых плотин до отметки 36,4 м.

5.10 Пятый этап: наращивание сооружений и наполнение водохранилища до проектных отметок с последовательным поочередным пуском всех агрегатов

Состав работ:

- 1) Наращивание всех основных сооружений по всему напорному фронту;
- 2) Наполнение водохранилища до проектных отметок.

5.11 Технология возведения грунтовых плотин

Для возведения грунтовых каменно-земляных плотин применяется следующий состав работ:

- Разравнивание грунта слоями;
- Уплотнение грунта с увлажнением;
- Устройство и содержание въездов, съездов и проездов по насыпи;
- Очистка кузовов транспортных средств при выгрузке глинистых грунтов.

Определяем площади и длины поперечного сечения грунтовых глухих плотин $\omega_{лгп} = 808,6 \text{ м}^2$, $\omega_{пгп} = 808,6 \text{ м}^2$, и длины $L_{лгп} = 367,68 \text{ м}$, $L_{пгп} = 367,68 \text{ м}$ с помощью программы AutoCAD.

Суммарный объём глухих грунтовых плотин:

$$V_{\text{пер}} = (\omega_{лгп}) \cdot L_{лгп} + (\omega_{пгп}) \cdot L_{пгп} , \quad (5.43)$$

тогда

$$V_{\text{пер}} = 808,6 \cdot 367,68 + 808,6 \cdot 367,68 = 594612,096 \text{ м}^3$$

Время отсыпки плотин определяем по ГЭСН 81-02-36-2017 “Земляные конструкции ГТС” таблица ГЭСН 36-01-001-02 равно 15,92 маш.ч на 1000 м³, насухо возводим из несвязных грунтов катками массой свыше 16 т $1,43+0,81+10,63+1,43+0,81+1,24+0,81=15,92$ маш.час

$$\left(\frac{594612}{1000} \right) \cdot 15,92 = 9466,22 \text{ часов,}$$

6. Мероприятия по охране окружающей среды в зоне влияния Турейского ГУ.

6.1 Общие сведения о районе строительства

Климат в бассейне реки Турухан северный, суровый, с резкими колебаниями месячных и суточных температур воздуха.

Течение реки Турухан спокойное, равномерное почти на всем протяжении. Скорость течения в сравнении с другими притоками Енисея колеблется незначительно, составляет от 1.0 км/ч до 3.6 км/ч.

В период паводка на Енисее подпор от него распространяется вверх по реке Турухан иногда на 310 км от устья, образуя в подпорной части участка обратное течение. Колебание уровня. Поскольку бассейн Турухана находится в зоне вечной мерзлоты, питание реки подземными водами весьма незначительно. Основными источниками питания являются таяние снега весной и дожди. Вследствие наличия вечной мерзлоты дождевые воды в грунт не просачиваются, а стекают в реку, образуя, в навигационный период, особенно в сентябре, небольшие подъемы уровня воды. Для режима реки Турухан весеннее половодье характерно тем, что пик его паводка растянут с 27 мая до 29 июня (по водомерному посту Янов Стан). На устьевом участке период прохождения пика паводка по продолжительности равен вышележащему участку, но фаза наступления и окончания смещена, ранние сроки на 12 дней. Амплитуда колебания уровня на реке Турухан постепенно возрастает к устью.

Ледовый режим на Турухане во многом отличается от правобережных притоков Енисея. Осеннее льдообразование здесь бывает сравнительно коротким, начинается в среднем со второй декады октября. Осенний ледоход вместе с образованием заберегов проходит быстро и продолжается не более 3-4 дней. Основными источниками загрязнения реки Турухан в рассматриваемом створе является сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод с коммунальных, промышленных, сельскохозяйственных объектов, находящихся выше по течению от створа строительства. Берега реки сложены лессовидными суглинками, что служит природным источником поступления взвешенных веществ в реку. Основными загрязняющими веществами, поступающими в реку со сточными водами промышленных предприятий, предприятий коммунального хозяйства и с ливневыми водами с территорией населенных пунктов, являются: нефтепродукты, нитриты, нитраты, фосфаты, азот аммонийный, взвешенные вещества. Качество воды также характеризуется высокими значениями БПК, ХПК, минерализации, цветности и мутности.

6.2 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства Турейской ГЭС

- При строительстве Турейского 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 Турухан в нижнем бьефе Турейского 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.

6.3 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:

Лом бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме

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

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho, \text{ т} , \quad (6.1)$$

где N- объем бетонных работ, м³ (54490м³)

q- удельный норматив образования, % (q =1,8%)

ρ- плотность бетона, т/м³ (ρ =2,5 т/м³)

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} = \frac{54490 \cdot 1,8}{100\%} \cdot 2,5 = 2453 \text{ т} , \quad (6.2)$$

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. , норма образования отходов арматуры составляет 1,0 %.

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho, \text{ т} , \quad (6.3)$$

Где N- количество арматуры, т (818 т);

q- удельный норматив образования, % (q =1,0%);

ρ- удельный вес арматуры, т/м³ (ρ =2,0 т/м³).

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} = \frac{818 \cdot 1,0}{100\%} \cdot 2,0 = 1,6 \text{ т} , \quad (6.4)$$

Таким образом в результате строительства будет образовано 2453 т лома бетонных изделий , 1,6 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.

6.4 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации

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

- Сбросом сточных (дренажных, дождевых и талых) вод;
- Выбросами в атмосферу от: периодического опробования дизель-генераторов, сварочных и окрасочных работ, проводимых в период текущих и капитальных ремонтов;
- Образованием отходов при эксплуатации, техобслуживании и текущих капитальных ремонтах оборудования, производственных зданий и 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.

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 Турухан от сбросов Турейской ГЭС ниже по течению реки.

Режим использования зон санитарной охраны источников (ЗСО) питьевого водоснабжения города Туруханск, в пределах промплощадок объектов Турейской 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.

7. Пожарная безопасность. Охрана труда

7.1 Безопасность гидротехнических сооружений

Обеспечение безопасности гидротехнического сооружения является важнейшей задачей для службы эксплуатации, так как последствие аварии на сооружении может привести к необратимым последствиям. Законодательство о безопасности гидротехнических сооружений состоит из Федерального закона и принимаемых в соответствии с ним законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации.

Государственный надзор при строительстве, реконструкции гидротехнических сооружений осуществляется уполномоченными на осуществление государственного строительного надзора федеральным органом исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации в соответствии с законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности.

Собственник гидротехнического сооружения и (или) эксплуатирующая организация обязаны:

- обеспечивать соблюдение обязательных требований при строительстве, капитальном ремонте, эксплуатации, реконструкции, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений, а также их техническое обслуживание, эксплуатационный контроль и текущий ремонт;

- обеспечивать разработку и своевременное уточнение критериев безопасности гидротехнического сооружения, а также правил его эксплуатации, требования к содержанию которых устанавливаются федеральными органами исполнительной власти в соответствии с их компетенцией;

- обеспечивать контроль (мониторинг) за показателями состояния гидротехнического сооружения, природных и техногенных воздействий и на основании полученных данных осуществлять оценку безопасности гидротехнического сооружения, в том числе регулярную оценку безопасности гидротехнического сооружения и анализ причин ее снижения с учетом работы гидротехнического сооружения в каскаде.

7.2 Пожарная безопасность. Основные требования

Требования к пожарной безопасности в Российской Федерации изложены в правилах пожарной безопасности, утвержденных МЧС России. В соответствии с действующим законодательством ответственность за противопожарное состояние ГЭС возлагается на руководителя станции.

ГЭС должны быть оборудованы системой пожарной безопасности, направленной на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара.

Руководитель ГЭС обязан:

-организовать изучение и выполнение правил пожарной безопасности всеми работниками гидроэлектростанций;

–обеспечить разработку и выполнение мероприятий, направленных на повышение пожарной безопасности;

–установить противопожарный режим на территории, в производственных, административных и вспомогательных помещениях, соответствующий их пожарной опасности;

–установить порядок регулярной проверки состояния пожарной безопасности ГЭС;

–назначить ответственных лиц за пожарную безопасность по каждому производственному участку и помещению;

–о каждом пожаре сообщать в местные органы пожарной безопасности, назначать комиссию для установления причин пожара и разработки противопожарных мероприятий и т.д.

Ответственность за пожарную безопасность отдельных производственных и вспомогательных помещений (сооружений) и размещенных в них оборудованиях и устройств возлагается на руководителей структурных подразделений или на специально назначенных должностных лиц.

Руководители структурных подразделений ответственные за пожарную безопасность, обязаны:

–обеспечить на своих участках соблюдение установленного противопожарного режима и выполнение мероприятий, повышающих пожарную безопасность;

–обеспечить исправность технологического оборудования, немедленно принимать меры к устранению неисправностей, которые могут привести к пожару;

–организовать пожарно-техническую подготовку подчиненного персонала и требовать от него соблюдения противопожарного режима и выполнения установленных требований пожарной безопасности;

–обеспечить контроль за выполнением требований пожарной безопасности при проведении ремонтных работ персоналом подразделений и подрядными организациями;

–установить порядок и ответственность за содержание в исправном состоянии и постоянной готовности к действию имеющихся на участке средств обнаружения и тушения пожара.

В обязанности оперативного персонала входит: при возникновении пожара, аварии или других опасных факторов, угрожающих персоналу и нарушающих режим работы оборудования, принять меры к немедленному вызову пожарных подразделений, известить руководство гидроэлектростанции, обесточить электрооборудование в зоне пожара, выдать письменный допуск для тушения пожара, организовать его тушение и эвакуацию персонала (при необходимости), а также восстановление нормального режима работы оборудования.

Каждый работающий на ГЭС обязан знать и соблюдать установленные требования пожарной безопасности на рабочем месте, в других помещениях и

на территории, при возникновении пожара немедленно сообщить вышестоящему руководителю или оперативному персоналу о месте пожара, принять возможные меры к спасению людей, имущества и приступить к ликвидации пожара имеющимися средствами пожаротушения с соблюдением мер безопасности.

Все работники ГЭС должны проходить подготовку по пожарной безопасности. Подготовка работников включает в себя:

- вводный инструктаж по пожарной безопасности;
- регулярные инструктажи (первичный, периодические, внеплановые и целевые), по вопросам пожарной безопасности;
- специальная подготовка;
- проведение противопожарных тренировок;
- повышение знаний по противопожарной защите в учебных центрах;
- изучение и проверка знаний правил пожарной безопасности.

Персонал ГЭС несет ответственность за обеспечение пожарной безопасности. Лица, виновные в нарушении правил пожарной безопасности несут дисциплинарную, административную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Основные требования пожарной безопасности:

–ко всем зданиям и сооружениям предприятия должен быть обеспечен свободный доступ. Дороги, проезды, подъезды и проходы к зданиям, сооружениям, открытым складам, а также подступы к стационарным пожарным лестницам и пожарному инвентарю должны быть всегда свободными, содержаться в исправном состоянии, а зимой быть очищенными от снега и льда; -противопожарные разрывы между зданиями и сооружениями не разрешается использовать под складирования материалов, оборудования и тары, для стоянки транспорта, строительства зданий, сооружений и размещения временных строений;

–во всех производственных, вспомогательных и служебных зданиях должен соблюдаться установленный противопожарный режим для обеспечения нормальных и безопасных условий труда персонала;

–на путях эвакуации должно поддерживаться в исправном состоянии рабочее и аварийное освещение, а также должны быть установлены указатели для выхода персонала в соответствии с действующими государственными стандартами.

–курение разрешается только в специально отведенных и оборудованных местах, у которых должны быть вывешены знаки безопасности.

7.3 Требования по охране труда для работы сотрудников Турейской ГЭС. Цели обеспечения охраны труда

Хорошо организованная работа по обеспечению безопасности труда повышает дисциплину работников, что, в свою очередь, приведет к повышению производительности труда, снижению количества несчастных случаев, поломок

оборудования и иных нештатных ситуаций, то есть повышает в конечном итоге эффективность производства. Управление охраной труда в организации осуществляет ее руководитель.

Одной из задач по обеспечению безопасных условий труда является создание структурного подразделения по охране труда и технике безопасности.

Служба по охране труда Турейской ГЭС, в своей деятельности руководствуется Конституцией Российской Федерации, федеральными законами, указами Президента Российской Федерации, распоряжениями и поручениями уполномоченных должностных лиц, директора ГЭС, главного инженера ГЭС, локальными нормативными документами (актами) станции. Подразделение выполняет следующие ключевые задачи:

- определяет цели, задачи и политику организации в целом по предприятию;
- участие в организации работ на оборудовании и сооружениях станции;
- назначение ответственных лиц за ТБ;
- разработка мероприятий по охране труда на предприятии.

Для всех работников станции в обязательном порядке разрабатывается должностная инструкция, для рабочих специальностей - инструкция по охране труда. Все работники станции, при исполнении своих служебных обязанностей, должны руководствоваться данными документами. Должностная инструкция – это организационно–правовой документ, в котором определяются основные функции, обязанности, права и ответственность сотрудника Турейской ГЭС при осуществлении им деятельности в определенной должности. Она составляется по каждой штатной должности организации, носит обезличенный характер и объявляется сотруднику под расписку при заключении трудового договора.

Каждый работник станции должен быть обучен безопасным методам труда при эксплуатации гидротехнических сооружений, в том числе по электро–, пожаробезопасности, при выполнении технических работ, пройти проверку знаний и иметь удостоверение о праве проведения этих работ. К работам по проектированию, эксплуатации, ремонту, реконструкции, наладке, испытанию оборудования, зданий и сооружений, входящих в состав энергетических установок, а также к контролю за их состоянием допускаются лица, прошедшие обучение и проверку знаний соответствующих отраслевых норм и правил, органов государственного надзора и других ведомств.

Основными целями обеспечения охраны труда являются:

- исключение случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний;
- формирование у работников общества безопасного поведения на производстве и навыков предупреждения опасных ситуаций;
- постоянное улучшение условий труда.

Для достижения поставленных целей при осуществлении всех видов деятельности общество обязуется обеспечивать приоритет сохранения жизни и здоровья работников перед результатами производственной деятельности и принимает на себя следующие обязательства:

- соблюдение требований законодательных и иных нормативных правовых актов Российской Федерации в области охраны труда;
- обязательное социальное страхование работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- обеспечение обучения работников общества по охране труда и проверку знаний требований охраны труда;
- обеспечение организации контроля за состоянием условий труда на рабочих местах, а также за правильностью применения работниками средств индивидуальной и коллективной защиты на объектах;
- осуществление контроля за соблюдением требований охраны труда на объектах общества.

8 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации

8.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии

Таблица 8.1. – Оценка объемов реализации электроэнергии в первые годы эксплуатации

Наименование показателя	Единица измерения	Год реализации проекта				
		2028	2029	2030	2031	2032
Установленная мощность	МВт	60	60	60	60	60
Числочасов использования установленной мощности	Часы	3366,00	3366,00	3366,00	3366,00	3366,00
Выработка электроэнергии	МВт·ч	201960	201960	201960	201960	201960
Расход электроэнергии на собственные нужды	%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Расход электроэнергии на собственные нужды	МВт·ч	3029,40	3029,40	3029,40	3029,40	3029,40

В результате расчетов, представленных в таблице 8.1, наши полученные данные показывают, что при постоянном объемном количестве продаж электроэнергии полученная выручка возрастает. Прежде всего это связано с ростом тарифа на электроэнергию.

8.2 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 8.2.

Таблица 8.2 – Эксплуатационные расходы гидроузла

Наименование	Ставка, тыс.руб/МВт	Сумма, млн.руб.
Расходы на оплату труда	255,2	15,3
Прочие	274,8	16,4
Итого по ГЭС	530	31,7

Отчисления на ремонт основных производственных фондов определяются исходя из величины их стоимости, удельные значения расходов на ремонт в %, представлены в таблице 8.3

Таблице 8.3 – Удельные значения расходов на ремонт, %

Этап проекта	Величина
1-5	0,02
6-15	0,03

Рассчитываются услуги регулирующих организаций исходя из ставок в соответствии единым сценарным условиям «РусГидро», результат представлен в таблице 8.4

Таблица 8.4 – Расходы на услуги регулирующих организаций

Наименование	Ставка	Сумма, млн.руб.
ОАО «СО – ЕЭС»	0,3538тыс.руб/Мвт	8,15
НП АТС (администратор торговой системы)	0.001097тыс.руб/Мвт·ч	0,56
ЦФР (центр финансовых расчетов)	0.000313тыс.руб/Мвт·ч	0,17
Итого		8,88

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

Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации приведены в таблице 8.5

Таблица 8.5 – Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2021	2022	2023	2024	2025
Амортизационные отчисления, млн.руб.	16,5	39,1	56,1	56,1	56,1
Расходы на страхование, млн.руб.	0,32	1,4	1,7	2,4	3,05
Эксплуатационные затраты, млн.руб.	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7
Расходы на ремонт производственных фондов, млн.руб.	0,047	0,167	0,213	0,304	0,382

Из полученных итоговых данных, можем сделать вывод, что часть затрат(основную) по гидроузлу в первые годы эксплуатации будут занимать амортизационные отчисления и эксплуатационные затраты.

8.3 Налоговые расходы

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

Учтены следующие налоги:

- Налог на прибыль – 20%;
- НДС – 20%;
- Взносы в социальные фонды – 34%;
- Налог на имущество – 2,2%
- Налог на воду на 1 тыс. кВт.ч – 4,8 руб.

Предполагаемые налоговые расходы при отсутствии льгот приведены в таблице 8.6

Таблица 8.6– Налоговые расходы

Наименование	Год реализации проекта				
	2021	2022	2023	2024	2025
Налог на прибыль, млн.руб.	12,4	123,1	127,8	130,9	133,8
НДС, млн.руб.	83,6	130,4	133,1	135,9	138,8

Полученные расчетные данные, представленные в таблице 8.6, показывают, что основные налоговые отчисления будут приходиться на налог на прибыль и налог на добавленную стоимость (НДС). По таблице видно, что НДС составляют значительную часть расходов ГЭС.

8.4 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 8.7

Таблица 8.7- Годовая прибыль в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2021	2022	2023	2024	2025
Выручка (нетто), млн.руб.	563,7	575,6	588,4	600,8	613,5
Текущие расходы, млн.руб.	551,6	51,3	51,2	51,2	51,2
ЕВИТДА (Валовая прибыль), млн.руб.	12,2	524,4	537,2	549,6	562,4
ЕВИТ(прибыль до налогообложения), млн.руб.	157,8	383,2	511,6	599,6	613,3
Скорректированный налог на прибыль, млн.руб.	122,5	19,92	17,36	31,58	76,64
NOPAT (чистая прибыль), млн.руб.	490	79,68	69,44	126,3 2	306,56
Ставка налога на прибыль, %	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

По данным из программы ProjectExpert строится график денежных потоков (Cash-Flow), представленный на рисунке 8.1.

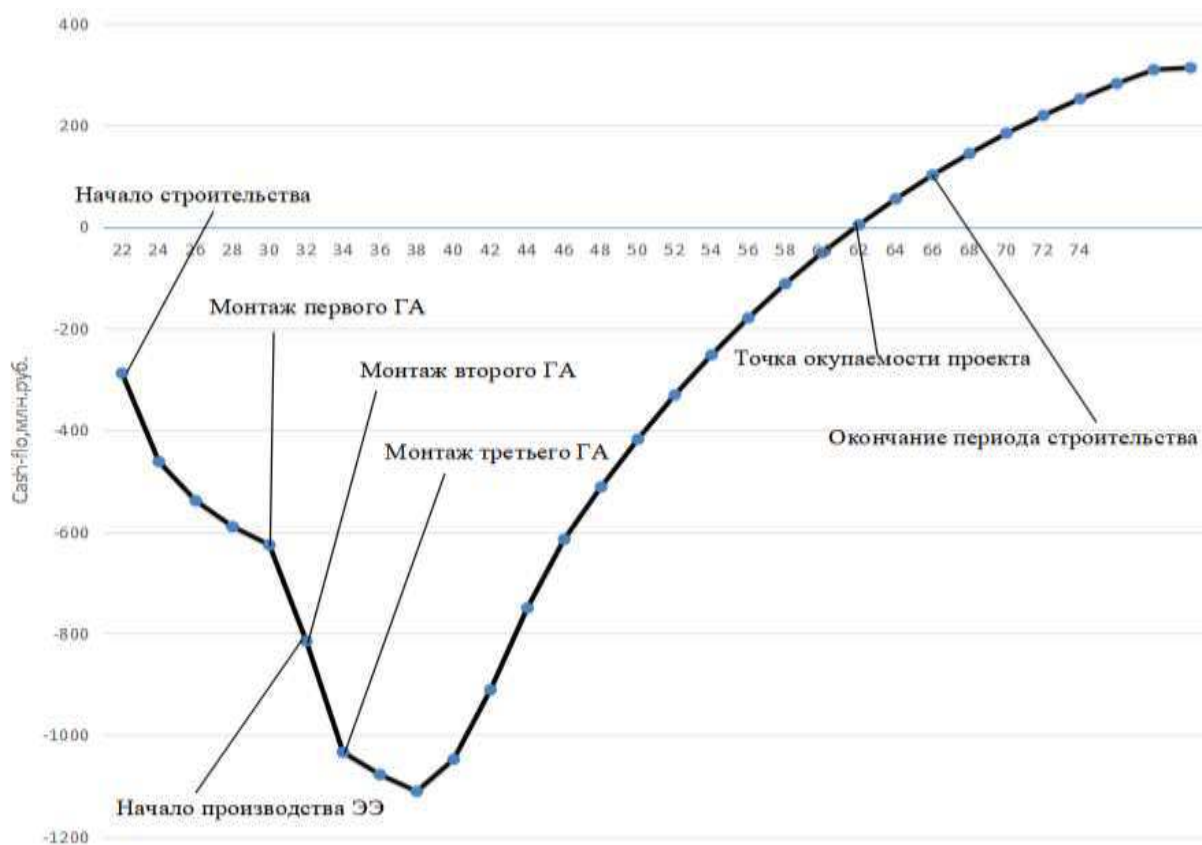


Рисунок 8.1 – График денежных потоков с укрупненными этапами реализации проекта

8.5 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.»)

8.5.1 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:

–«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;

–«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.

–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:

–Период прогнозирования для Турейской ГЭС составляет 25 лет, в соответствии со сроком службы основного оборудования. Расчеты производятся по состоянию на 1 квартал 2022 года без учета геополитических изменений после 24 февраля 2022 года.

–Предполагается что в течении прогнозного периода не будет происходить глобальных изменений в экономической ситуации, существующих правил и законов.

8.5.2 Коммерческая эффективность

Цель проведения расчёта коммерческой эффективности проекта является расчёт показателей, которые представлены в таблице 8.8

Таблица 8.8 – Показатели эффективности реализации проекта «Турейской ГЭС на реке Турухан»

Наименование	Значение
Ставка дисконтирования, %	11,6
период окупаемости - DPB, мес	480
Чистый приведенный доход – NPV, млн.руб	313
Индекс прибыльности – PI, руб.	1,28
Внутренняя норма рентабельности - IRR, %	13,79
Себестоимость эл.энергии, руб/Квт*ч	0,56
Удельные капиталовложения, руб/Квт	74733,3

По данным таблицы 8.8 видно, что доход на конец расчетного периода составит 313 млн. руб.

8.5.3 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 8.9

Таблица 8.9 – Предполагаемые налоговые поступления в федеральный и региональные бюджеты

Наименование	2020	2021	2022	2023	2024
В федеральный бюджет, млн.Рублей	3933,8	7155,2	7272,6	8660	10344,4
В региональный бюджет, млн.Рублей	3855,6	4503,3	3610,8	3610,8	8603,2
Итого налоговых поступлений, млн.Рублей	7789,4	11658,5	10883,4	12270,8	18947,6

Строительство Туруханской ГЭС обеспечит регулярное поступление денежных средств в федеральный и региональный бюджеты. С момента производства электроэнергии, денежные поступления значительно возрастут.

8.6 Анализ чувствительности

Основным методом исследования рисков является анализ чувствительности - метод оценки влияния основных параметров финансовой модели на результирующий показатель.

В данном разделе проведен анализ чувствительности величины прогнозного тарифа к изменениям:

а) Объема инвестиций, представлен на рисунке 8.2;

б) Цены сбыта, представлена на рисунке 8.3;

в) Ставки налогов, представлены на рисунке 8.4;

Пределы изменения рассматриваемых факторов определялись экспертно.

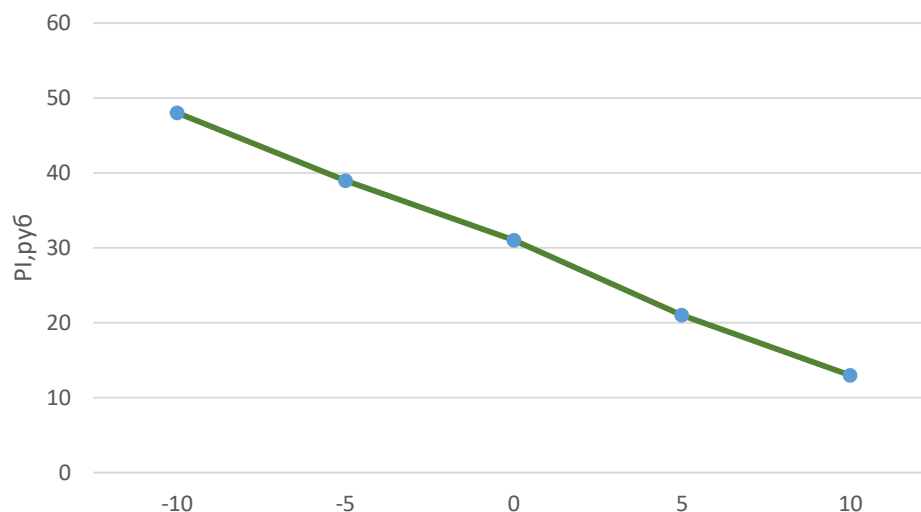


Рисунок 8.2– Сумма PI от в зависимости от изменения объёма инвестиций

Вывод: Увеличение объема инвестиций приведет к уменьшению величины PI.

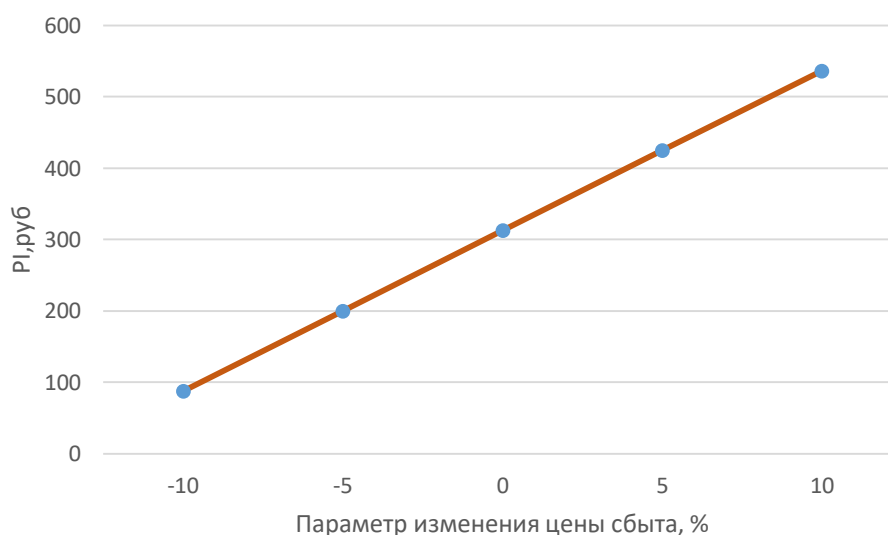


Рисунок 8.3– Сумма PI в зависимости от изменения цены сбыта

Вывод: Увеличение цены сбыта приведет к увеличению величины PI.

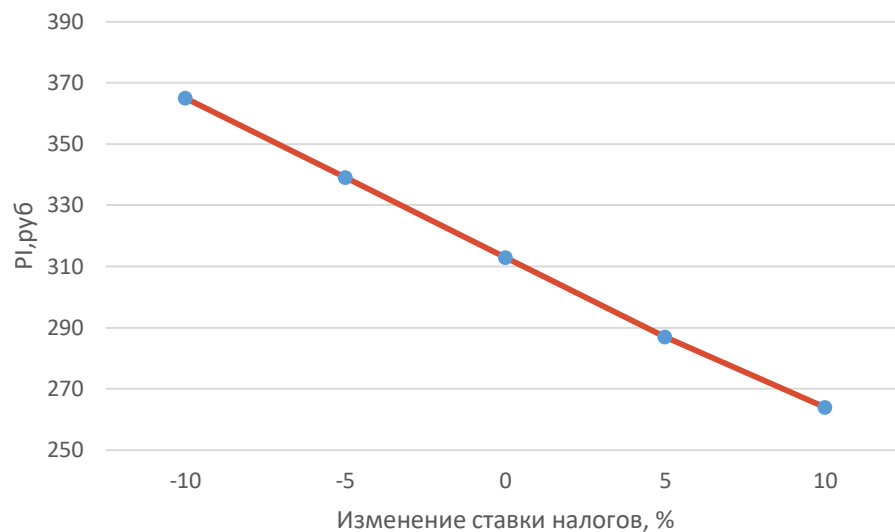


Рисунок 8.4– Сумма PI в зависимости от изменения ставки налогов

Вывод: Увеличение ставки налогов приведет к уменьшению величины PI.

9. Технология возведения ГТС в суровых климатических условиях

9.1 Влияние суровых климатических условий в районе строительства Турейской ГЭС

Климат - это совокупность погодных (атмосферных) условий за многолетний период, которые характерны для данной местности. Это более устойчивая характеристика погоды. Погода меняется стремительно, относительно быстро, а климат – относительно медленно.

Суровые климатические условия Сибири, Севера и Дальнего востока, характеризующиеся низкими температурами наружного воздуха, большими суточными и сезонными колебаниями, сильными ветрами, снегозаносами и интенсивными дождями, наличием вечной мерзлоты вызывают особую необходимость учета всех этих факторов при проектировании и строительстве сооружений.

К суровым климатическим условиям относятся районы, характеризующиеся:

- низкими температурами наружного воздуха в зимний период – ниже -30°C
- длительным периодом с отрицательными температурами - более 7 месяцев и как следствие наличием многолетнемерзлых грунтов ММГ
- значительными сезонными перепадами температур -от 80 до 100°C , которые являются дополнительной температурной нагрузкой

К строительству в таких условиях предъявляются очень серьезные требования, определяющие необходимый микроклимат внутри ГТСи зданиях, качеству зданий с санитарно-технической и физиологической точек зрения, обеспечение необходимых удобств во время работы людей, уменьшение трудоемкости и повышение уровня индустриализации строительства, долговечность и снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Рассмотрим наличие этих условий для района строительства Турейской ГЭС на реке Турухан:

Климатические условия

Климат в бассейне реки Турухан северный, суровый, с резкими колебаниями месячных и суточных температур воздуха.

Зима длительная и холодная (Отрицательная температура держится в среднем 224 дня, 7,5 месяцев), отличается нестабильной, ветреной погодой. Лето короткое, прохладное, туманное и сырое. Средний дневной максимум $+30^{\circ}\text{C}$, Самый холодный месяц года – январь имеет среднесуточную температуру -60°C . Разница температур самого холодного месяца – января и самого тёплого – июля составляет 90 градусов.

Расчетная температура района строительства составляет минус 35°C

Распространение многолетнемерзлых пород (ММП):

Туруханский район, река Турухан - это зона редко-островного, островного и массивно-островного распространения ММП со средними годовыми

температурами ($T_{ср}$) от +3 до -1°C и мощностью (M) мерзлой толщи от 0 до 100 м. Вечная мерзлота непрерывная и составляет более 90%.

Выводы:

–Район строительства Турейской ГЭС на реке Турухан относится крайону с суровыми климатическими условиями;

–При проектировании такой ГЭС необходимо использовать требования нормативных документов для многолетнемерзлых грунтов и суровых климатических условий: СП25.13330.2020 «Основания и фундаменты на многолетнемерзлых грунтах», СП58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения.» пункты 6.19-6.22 «Требования по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, эксплуатируемых в особых природных условиях».

9.2 Выбор принципа строительства и эксплуатации Турейской ГЭС

В суровых климатических условиях ММГ и грунтовые плотины могут строиться и эксплуатироваться как в мерзлом, так и в талом состоянии. Бетонные сооружения только в талом состоянии.

При строительстве на многолетнемерзлых грунтах необходимо применять конструктивные и технологические решения, соответствующие эксплуатации на многолетнемерзлых грунтах, учитывать необходимость целенаправленного изменения свойств грунтов основания в период строительства и эксплуатации. Поэтому применяются один из следующих принципов использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружений:

Принцип I (по мерзлому принципу) - многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом или промораживаемом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения;

Принцип II (по талому принципу) - многолетнемерзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания в период эксплуатации сооружения)

Применение мерзлого принципа

Принцип I следует применять, если грунты основания можно сохранить в мерзлом состоянии и это экономически целесообразно. На участках с твердомерзлыми грунтами, а также при повышенной сейсмичности района следует принимать использование многолетнемерзлых грунтов по принципу I.

При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по мерзлому принципу минимальную глубину заложения фундаментов d_{min} рекомендуется принимать в зависимости от расчетной глубины сезонного оттаивания грунта d_{th} , определяемой согласно таблицы:

Для сохранения оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по мерзлому принципу необходимо использовать специальные мероприятия:

–устройство вентилируемых потерн,

–укладку в основании сооружения вентилируемых труб, каналов или применение вентилируемых фундаментов,

–установку сезонно действующих охлаждающих устройств жидкостного или парожидкостного типов - СОУ,

–применение теплозащитных экранов по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружения на мерзлые грунты основания,

–инженерные тепловыделяющие коммуникации, размещаемые в сооружении, должны быть тепло изолированы.

Выбор одного или сочетания нескольких мероприятий должен производиться на основании расчетов:

–прогнозного (на период строительства и эксплуатации) теплотехнического,

–устойчивости и несущей способности с учетом конструктивных и технологических особенностей сооружения,

–опыта местного строительства и экономической целесообразности.

При проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых с использованием многолетнемерзлых грунтов по талому принципу II, следует предусматривать мероприятия:

–по уменьшению деформаций основания

–мероприятий по приспособлению конструкций сооружения к восприятию неравномерных деформаций основания, назначаемые по результатам расчета основания по деформациям.

Выбор одного из указанных мероприятий или их сочетания производится на основании технико-экономического расчета.

Для уменьшения деформаций основания в зависимости от конкретных условий строительства следует предусматривать:

–предварительное (до возведения сооружения) искусственное оттаивание и уплотнение грунтов основания;

–замену льдистых грунтов основания талыми или непросадочными при оттаивании (песчаным или крупнообломочным грунтом);

–ограничение глубины оттаивания мерзлых грунтов основания.

–увеличение глубины заложения фундаментов, в том числе с прорезкой льдистых грунтов и опиранием фундаментов на скальные или другие малосжимаемые при оттаивании грунты.

При оттаивании многолетнемерзлых грунтов происходит существенное изменение физико-механических свойств грунтов в сторону ухудшения этих свойств. Прочные мёрзлые нескальные грунты переходят в состояние мягких грунтов. Поэтому очень важным при проектировании гидроузлов в суровых климатических условиях является установить границы, которые разделяют талую и мерзлую зоны основания, что достигается выполнением специального расчета - прогноз теплового влияния водохранилища на мерзлое основание.

Для того, чтобы исключить ухудшение физико-механических свойств грунтов после оттаивания необходимо в период строительства возводить сооружения с обеспечением талого состояния используемых грунтов и

улучшением их деформационных характеристик до требуемых значений, тогда после оттаивания они сохраняют свои свойства.

Под руслом реки в условиях распространения ММГ всегда сохраняется зона талых грунтов, так как движущая вода препятствует замерзанию. Поэтому возможно использование талого принципа в этой зоне. Главным условием использования такого основания является его сохранение в талом состоянии в период строительства и эксплуатации.

Проект плотины, возводимой на естественном основании, соответствующем талому принципу, предусматривает оттаивание мерзлых грунтов или сохранение талого состояния пород.

Как правило оттаивание длится несколько лет (иногда десятилетий). Оттаивание является следствием отепляющего воздействия фильтрационного потока, который формируется в естественном основании и теле плотины под влиянием водохранилища и сохраняется на весь период эксплуатации сооружения.

Принципы возведения грунтовых гидротехнических сооружений в суровых климатических условиях

Грунтовые плотины для суровых климатических условий проектируются по двум принципиально отличающимся температурным состояниям их тела:

–мёрзлые плотины (когда противофильтрационным элементом является мерзлое тело плотины и размораживание не допускается, что требует эксплуатации специальных установок для поддержания мерзлого состояния во весь период эксплуатации).

–талые плотины (когда противофильтрационный элемент возводится по талому принципу и сохраняется в талом состоянии во весь период эксплуатации под влиянием отепляющего воздействия фильтрующей воды).

Талое температурное состояние плотины подразумевает, что плотина воспринимает гидростатическую нагрузку верхнего бьефа при полностью талом состоянии её противофильтрационного элемента (глинистого ядра). Мёрзлое состояние низового клина плотины допускается.

Мерзлое температурное состояние плотины подразумевает, что восприятие напора верхнего бьефа происходит только при замороженном теле плотины. При этом наличие в плотине фильтрационного потока не допускается ни при каких штатных условиях.

9.3 Примеры строительства и эксплуатации ГЭС в суровых климатических условиях и используемые принципы их возведения

Талый принцип. Примером строительства ГЭС в суровых условиях на вечномерзлых грунтах скальных являются Вилюйские ГЭС I и II, а на вечномерзлых глинистых грунтах Вилюйская ГЭС III (ныне Светлинская ГЭС), обе возведены по талому принципу и успешно эксплуатируются.

Вилюйские ГЭС I и II. Состав сооружений:

–станционный узел ГЭС-1 на правом берегу, в составе подводящего канала длиной 515 м, водоприёмника глубинного типа, четырех напорных водоводов длиной по 100 м, полуподземного здания ГЭС-1 и отводящего канала; (Расчетный напор 55м);

–станционный узел ГЭС-2 на левом берегу, в составе подводящего канала длиной 250 м, водоприёмника, четырех напорных водовода длиной по 118 м, здания ГЭС-2 и отводящего канала. (Расчетный напор 55м);

–каменно-земляная плотина между ними с суглинистым экраном, который в верховой части переходит в ядро.

Светлинская ГЭС (Вилюйская ГЭС III). Расчетный напор на поворотнo-лопастных турбинах 22.8м

Состав сооружений ГЭС:

–левобережная насыпная плотина длиной 112 м и наибольшей высотой 62 м;

–правобережная насыпная плотина длиной 267 м и наибольшей высотой 62 м;

–здание ГЭС, совмещенное с донными водосбросами (сопряжение бьефов осуществляется с помощью водобоя, рисбермы и ковша гасителя);

–отводящий канал длиной 210 м. Мерзлый принцип

Гидроузел на р. Ирелях Мирнинского горно-обогатительного комбината Акционерной компании «АЛРОСА»

В состав сооружений гидроузла входят: плотина, замораживающая система, водохранилище, береговой водосброс, плотина перехвата, дренажная насосная станция, водозаборный узел с насосной станцией. Плотина земляная, насыпная, с мерзлым ядром, высотой 20,5 м, длиной по гребню — 320 м., шириной гребня 8.0 м. По классу капитальности плотина отнесена ко II классу, построена по 1 принципу строительства, с сохранением многолетнемерзлых грунтов основания в мерзлом состоянии.

Плотина эксплуатируется 50 лет и появились ряд факторов, потенциально способных привести к развитию гидродинамической аварии, основным из них является оттаивание грунтов до 70 м в основании. Причина фильтрации связана с большой трещиноватостью пород основания. При вытаивании льда образовались мощные фильтрационные ходы. Для уменьшения фильтрационных расходов применяли способы дополнительного замораживания, но это не позволило в полной мере стабилизировать процессы растепления в основании плотины, но значительно снизило опасность потери водохранилищем своего функционального назначения - снабжения водой г. Мирного и фабрики №3.

В настоящее время фильтрация через сооружение стабилизировалась в пределах 1130 м³/ч и угрозы для безопасности ГЭС и водоснабжения г. Мирный не создает.

9.4 Выбор принципа возведения ГТС для Турейской ГЭС на реке Турухан

Высота плотин Турейской ГЭС составляет 30м,напор максимальный 18,7м. Низконапорная ГЭС.

В составе Турейской ГЭС предлагается возвести две грунтовые плотины общей длиной 735м: каменно-земляные с суглинистым ядром, так как имеется достаточное количество суглинистого материала.

При возведении Турейской ГЭС по мерзлому принципу:

Основанием ГЭС будет служить рыхловатая глина и илистый песок, которые в замороженном состоянии будут иметь более лучшие прочностные характеристики.

В зоне руслового талика необходимо устроить мерзлотную завесу, проморозив основание на необходимую глубину и поддерживать это мерзлое состояние в период эксплуатации, с учетом отепляющего действия фильтрующей из водохранилища воды.

Возведение грунтовых плотин лучше осуществить по технологиям из талых грунтов, что позволит создать необходимые физико-механические характеристики грунтов уплотняя их, а затем заморозить и далее поддерживать замороженное состояние. В этом случае можно выбрать тип грунтовых плотин – земляные однородные из мелкозернистых грунтов. Тело которых будет выполнять роль как противofiltrационных элементов, так и обеспечивать работу сооружения на сдвиг. Распластанность однородных плотин и объемы отсыпаемых грунтов будут значительно больше, чем у плотины с ядром, так как объемный вес мелких грунтов в 2 раза меньше, чем с скальной наброски.

Бетонные сооружения будут эксплуатироваться талыми и на талом основании.

При возведении Турейской ГЭС по талому принципу:

Основанием для ГТС Турейской ГЭС предлагается использовать рыхловатую глину и илистый песок, которые являются малофильтрующими породами.

Слабые прочностные свойства пород основания требуют устройства дополнительных элементов для увеличения сцепления с основанием – устройство зубьев со стороны ВБ и НБ с заглублением порядка 6м. В зубьях необходимо устроить потерны 3*3 м для проведения работ по укреплению основания методами цементации, для устройства цементационной и дренажной завес, проведению подогрева потерны в зимний период при суровых зимах и сохранения талого состояния основания в период строительства и эксплуатации.

Возведение грунтовых плотин будет осуществляться по технологиям из талых грунтов и под воздействием фильтрующей воды сохраняться в талом состоянии. Промороженным будет оставаться низовой клин плотины. Для

уменьшения размеров плотины лучше применить каменно-земляные плотины с суглинистым ядром.

Бетонные сооружения будут эксплуатироваться талыми и на талом основании.

9.4.1 Определение величины влияния водохранилища Турейской ГЭС на распространение талого состояния сооружений в период эксплуатации

Определение размеров талика в русле реки Турухан

Под руслом реки Турухан образуется зона талых грунтов. Ширина реки в створе ГЭС при расходе 10% обеспеченности, который повторяется 1 раз в 10 лет составляет 816м, длина створа по гребню 1020м, то есть размеры талика составляют 80 % от полного створа ГЭС.

Бетонные сооружения длиной 238м, должны находиться в пределах талого русла реки Турухан, так как через их водопропускные сооружения в период эксплуатации постоянно пропускается вода, а в период строительства бетон твердеет при положительной температуре и экзотермии. Они будут находиться постоянно в талом состоянии: и в период строительства, и в период эксплуатации.

Основание в пределах бетонных сооружений также должно находиться в талом состоянии, и в период строительства, и в период эксплуатации.

Грунтовые плотины длиной 736 м, учитывая ширину русла реки Турухан в створе ГЭС 816м, практически тоже находятся в пределах талого грунта.

Определение величины влияния водохранилища Турейской ГЭС на распространение талого состояния

Ширина водохранилища в створе ГЭС составляет 1000м при длине створа 1020м. При таких размерах отепляющее воздействие водохранилища будет распространено не только на возведенные сооружения, но и на берега. Поэтому необходимо рассмотреть характеристики многолетне-мерзлых грунтов основания и береговых примыканий и их изменения после оттаивания.

Бетонные сооружения под влиянием водохранилища будут все время талыми.

Грунтовые плотины расположены в правом и левом примыкании близко от талика русла реки. В период эксплуатации под воздействием водохранилища они будут сохраняться в талом состоянии.

Примерно 100м примыкания глухих грунтовых плотин к берегам не будут находиться в пределах талика.

Выбор принципа строительства и эксплуатации Турейской ГЭС.

Таким образом, целесообразнее использовать талый принцип для возведения и эксплуатации грунтовых плотин Турейской ГЭС.

9.5 Требования к проведению изысканий при наличии вечно-мерзлых грунтов

Подразделение грунтов на твердомерзлые, пластичномерзлые и сыпучемерзлые при проектировании оснований и фундаментов следует производить в зависимости от их состава, температуры и степени заполнения пор льдом и незамерзшей водой на момент проведения инженерно-геологических изысканий с учетом температуры грунтов, измеренной в период отбора проб.

При проведении изысканий необходимо определить:

а) деформационные и прочностные характеристики грунтов для расчета мерзлых оснований по деформациям и несущей способности: коэффициент сжимаемости мерзлого грунта m_f или модуль деформации E_f , расчетное давление R и сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по поверхности смерзания R_{af} и R_{sh} ;

б) деформационные характеристики грунтов для расчета оттаивающего основания по деформациям: коэффициенты оттаивания A_{th} и сжимаемости при оттаивании m_{th} грунта;

в) прочностные характеристики для мерзлых грунтов и их контактов.

Для Турейской ГЭС, являющейся уникальным сооружением, прочностные характеристики мерзлых грунтов c_L и ϕ_L , а также деформационные характеристики E_f и u_f необходимо определять по результатам длительных испытаний методом трехосного сжатия;

г) характеристики грунтов слоя сезонного промерзания-оттаивания для расчета оснований и фундаментов на воздействие сил морозного пучения грунтов, относительная деформация морозного пучения E_{th} расчетная удельная касательная сила пучения t_{th} , и удельное нормальное давление пучения грунта на подошву фундамента P_{th} , а также характеристики мерзлых грунтов для расчета оснований на горизонтальные статические и сейсмические воздействия.

д) выполнить прогнозирование отепляющего воздействия водохранилища и фильтрующей воды на берега.

9.6 Технологии возведения гидротехнических сооружений Турейской ГЭС в суровых климатических условиях

9.6.1 Сохранение талого основания в суровых климатических условиях

Использование талого принципа сохранения основания требует разработки особых мероприятий при строительстве ГТС Турейской ГЭС. Сохранение основания является очень важным этапом в технологии строительного производства. Приемлемыми естественными основаниями для ГТС считаются такие, которые обеспечивают допустимые для принятых

конструкций сооружений неравномерности осадок и горизонтальных смещений, а также их прочность и устойчивость. Если неоднородность основания не обеспечивает этих условий, то его укрепляют путем ряда инженерных мероприятий (инъекции цементных и других растворов, дренирование грунтовых вод, укрепление склонов, заделка крупных трещин, полостей и тектонических зон бетоном и т.п.)

Мероприятия для сохранения талого состояния основания ГЭС Турейской ГЭС:

Период положительных и отрицательных температур в соответствии с СП «Строительная климатология» составляет 210 (7 мес отрицательные температуры) и 155 суток (5 мес) положительные.

Для разработки мерзлых грунтов используем БВР и последующую экскавацию разрыхленного грунта с транспортировкой в автосамосвалах со складированием в бурты.

Для сохранения основания при БВР используем шпуровой метод при разработке последних 1,5м основания. Шпуровой метод используют при доработке котлованов с целью сохранения грунта в основании.

Сохранение основания при экскавации

Чтобы не проморозить вскрываемое основание, вскрытие основания должно проводиться при положительных температурах, для сохранения вскрытого основания необходимо оставлять защитный слой, который будет разрабатываться вручную при подготовке к бетонированию и сразу закрываться бетоном.

Для обеспечения непромерзания основания в последующую зиму необходимо возвести бетонные блоки толщиной не менее 2м для условий Турейской ГЭС.

9.6.2 Рассмотрение вопроса производства работ вахтовым методом только в период положительных температур

Так как период положительных температур в районе строительства Турейской ГЭС составляет 5 месяцев, а ГЭС небольшая и низконапорная, предлагается рассмотреть возможность возведения Турейской ГЭС только в период положительных температур.

Для этого определим время на возведение ядра грунтовых плотин и на возведение бетонных сооружений.

Для возведения ядра, потребуется 35,48 маш.-ч на каждую 1000 м³ грунта.

–Объем земляных работ левой каменно-земляной плотины составляет $W_1=25348,5\text{м}^3$

–Объем земляных работ правой каменно-земляной плотины составляет $W_2=34302,6\text{м}^3$

Определяем время на выполнение работ по возведению суглинистого ядра:

$$T = W_1 \cdot 35,48/1000 + W_2 \cdot 35,48/1000 \quad (9.1)$$

$$T = 25348,5 \cdot 35,48/1000 + 34302 \cdot 35,48/1000 = 899 + 1217 = 2116 \text{ час}$$

13мес /5мес (периода положительных температур) =2,6 года, при 2-х сменной работе 1,3 года, что вполне приемлемо. Время на возведение бетонных сооружений:

Общий объем бетонирования составляет $V = 54490 \text{ м}^3$, интенсивность выполнения бетонных работ $0,46 \text{ час/ м}^3$. Суммарное время на выполнение бетонных работ составляет $24712,404 \text{ маш/ч}$. Выполнение работ при 3-х сменной работе и 2-х кранах КБГС составит: 2 года 10 месяцев.

Рассмотрение вопроса производства работ вахтовым методом только в период положительных температур

Производство работ вахтовым методом будет производиться в 2 смены (дневная/ночная), при использовании скользящего графика работ, можно сократить продолжительность работ еще в 1,5 раза.

9.7 Технологии возведения грунтовых сооружений Турейской ГЭС

9.7.1 Возведение суглинистого ядра Турейской ГЭС

Основные требования, предъявляемые к грунту ядра каменно-земляных плотин:

- слабая водопроницаемость, предотвращающая большие потери воды из водохранилища;
- фильтрационная прочность, исключая вымыв мелких частиц,;
- пластичность, допускающая возможность значительных деформаций без образования трещин.

Помимо указанных качеств от грунтов ядра или экрана требуется также сопротивляемость сдвигу и хорошая уплотняемость.

Разработка суглинистого грунта для ядра плотины производится в карьере суглинка. Исследование грунтов в карьере выполнялось при проведении предпроектных изысканий. Во время разработки грунта в карьерах и выемках, подготовительные и основные виды работ должны быть полностью механизированы. В карьере сначала проводим вскрышные работы бульдозером, собранный грунт будет использован для последующей рекультивации карьера. Разработку суглинка проводим экскаватором слоями по мере оттаивания и складировем в бурты в карьере. Объем буртов должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить не промораживание всей толщи суглинка за зиму. Тогда ранней весной можно начать работы по укладке суглинка в ядро плотины, вынимая из буртов талый суглинок.

Для поддержания оптимальной влажности используем искусственную сушку или увлажнение, которые будем выполнять в карьере, требующие

дополнительных средств и времени; Чтобы предохранить грунты от промерзания, выполнение работ проводим в сезон положительных температур и применяем химические добавки, обогрев и другие специальные меры. Организация и разработка карьеров должны обеспечивать минимальный ущерб окружающей среде.

9.7.2 Технология укладки суглинка в ядро плотины при положительных температурах

Укладка грунтовых материалов в ядро плотины требует соблюдения влажностного и температурного режимов, обеспечивающих получение проектной плотности. Состав работ:

Перевозка суглинка из карьера выполняем самосвалами АС-68904Е на базе КАМАЗ 65225-0001971-22, объемом кузова 18,5 м³, грузоподъемностью 17,7 т. При выборе транспортного средства учитывалась его высокая маневренность и автономность. Данный транспорт будет наиболее эффективен при перемещении грунта от 1.5 до 10 км и при погрузке грунта экскаваторами.

Разравнивание грунта выполняем слоями (0.25-0.3м) с помощью бульдозеров и автогрейдеров. Назначенную толщину слоя уточняют опытно-производственными исследованиями. Разравнивание производят сразу после отсыпки, чтобы избежать потерь влажности.

Уплотнение грунта с увлажнением проводим для каждого слоя, слой грунта увлажняют проходами поливочных машин, после операции по его разравниванию. Уплотнение грунта производят с помощью катков (скорость передвижения катка устанавливается по секундомеру и проходимому катком фиксированному расстоянию).

Эффективность работы оценивается по степени уплотнения грунта. Уплотнение грунтов должно производиться при влажности близкой к оптимальной. Допустимые отклонения от влажности оптимальной обычно принимаются в пределах $\pm 20\%$ от ее значения.

После завершения укатки необходимо приступить к отбору проб грунта согласно требованиям технических условий.

Контроль качества возведения грунтовых плотин выполняется специально организуемой производственной службой в соответствии с требованиями нормативных документов.

Выполняется контроль за соблюдением толщины разравниваемого слоя, за соблюдением границ отсыпки, правильной технологией отсыпки грунта, влажностью и плотностью.

9.7.3 Возведение скальных призм

Возведение скальных призм следует предусматривать отсыпкой каменного материала слоями с его уплотнением или ярусами, высотой 3м и более. Для Турейской ГЭС допускаются оба варианта.

Пригодность материала (скальных пород) устанавливается в зависимости от высоты плотины, их расположения в профиле плотины, в зависимости от климатических условий района строительства, также необходимо учитывать условия разработки и транспортирования.

Предельную крупность грунта и его зерновой состав следует устанавливать в проекте в зависимости от качества камня и метода возведения плотины. Крупность материала, отсыпаемого послойно с уплотнением, должна быть не более 1/2-1/3 толщины отсыпаемого слоя, но может быть и больше в зависимости от используемых уплотняющих механизмов.

Добыча камня будет производиться в карьере, который расположен недалеко от места производства работ.

Добыча камня осуществляется с применением буровзрывных работ методом скважинных зарядов. При взрыве образуются совокупности кусков породы, которые имеют различную форму и обладают значительной вариацией по линейным и угловым размерам.

При переработке скальных грунтов крупные куски могут использоваться для перекрытия русла, а лишний объем дополнительно дробиться до определенного размера с помощью процесса дробления.

В этом же карьере будет организовано производство щебня разных фракций для бетона. Для фракционирования щебня добавится процесс сортировки.

9.8 Технология возведения бетонных сооружений Турейской ГЭС

Состав работ по возведению бетонных сооружений в летний период:

1. Приготовление бетонных смесей. Бетонную смесь готовят на приобъектном заводе «Стандарт-15», который находится в 3,5 км от производимых работ в месте возведения плотины.

2. Доставка бетонной смеси к месту работ выполняется с помощью автобетоносмесителя «Камаз» 5814А7 (емкость 7м³). Принятый способ транспортировки исключает:

- попадание атмосферных осадков и прямое воздействие солнечных лучей;
- расслоение и нарушение однородности;
- потерю цементного молока или раствора.

3. Подача и укладка бетонной смеси производится с применением башенных бетоноукладочных кранов. Для подачи бетона в блоки бетонирования был выбран башенный бетоноукладочный кран КГБС-1000. В процессе укладки должно контролироваться

- опалубки, положение арматуры;
- качество укладываемой смеси;
- соблюдение правил выгрузки и распределения бетонной смеси;
- соблюдение установленного порядка бетонирования и правил устройства рабочих швов.

4. Вибрирование

При работе вибратор нужно держать вертикально, и так же в вертикальном положении опускать его в бетонную смесь и доставать. Опускать наконечник вибратора надо быстро, вынимать по окончании работы над участком - наоборот медленно и постепенно, чтобы бетонная смесь полностью заполнила освобождающееся от инструмента пространство.

Длительность работы вибратора на одном участке должна быть такой, чтобы обеспечить наилучшее уплотнение бетонной смеси, но при этом не допустить её расслоения от излишнего вибрирования. Ориентировочное время обработки одного участка - от 20 секунд для подвижных смесей до 50 секунд для жестких и малоподвижных. Внешние признаки, означающие достаточное уплотнение, это:

- бетонная смесь перестала усаживаться;
- на поверхности перестали выделяться пузырьки воздуха;
- на поверхности начинает выступать цементное молочко.

5. Уход за бетоном

Различают два основных вида ухода за бетоном: внешний, — защита от испарения воды путём устройства либо нанесения на поверхность бетона различных покрытий, включая специальные жидкие, и внутренний — в бетон вводятся суперадсорбенты, минеральные добавки и пластификаторы, водонасыщенные пористые заполнители бетона, которые аккумулируют воду при приготовлении бетонной смеси и выделяют её в процессе твердения бетона

6. Сохранение бетона от промерзания в последующий зимний период осуществляется путем утепления:

- твердение осуществляется в тепляке в теплой опалубке;
- распалубливание производится после набора 100% прочности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Климат в бассейне реки Турухан северный, суровый, с резкими колебаниями месячных и суточных температур воздуха.

Течение реки Турухан спокойное, равномерное почти на всем протяжении. Скорость течения в сравнении с другими притоками Енисея колеблется незначительно, составляет от 1.0 км/ч до 3.6 км/ч. Ледовый режим на Турухане во многом отличается от правобережных притоков Енисея. Осеннее льдообразование здесь бывает сравнительно коротким, начинается в среднем со второй декады октября. Осенний ледоход вместе с образованием заберегов проходит быстро и продолжается не более 3-4 дней.

В проекте были рассчитаны и определены основные параметры и элементы Турейской ГЭС на реке Турухан, являющейся сооружением III класса. В ходе энергетических расчетов на основе исходных данных по энергосистеме и гидрологии была выбрана установленная мощность ГЭС, а также определена ее зона работы в суточном графике нагрузки. Установленная мощность составила $N_{уст}=60$ МВт. Был определен уровень мертвого объема, отметка которого получилась 34,66 м. Также произведена оценка среднемноголетней выработки электроэнергии, которая составила 205 млн. кВт*ч.

Далее было определено оптимальное число и тип гидроагрегатов данной электростанции. Для этого была построена область допустимых режимов работы, на которой были определены следующие напоры:

- максимальный 18,7 м;
- расчетный 14,3 м;
- минимальный 12,85 м;

По результатам расчетов был определен оптимальный вариант турбины типа ПЛ20В-500, с тремя гидроагрегатами. По справочным данным для выбранной ПЛ турбины подобрали серийный гидрогенератор СВ-866/70-52 с номинальной активной мощностью 23 МВт.

Компоновка гидроузла принята русловой. В состав сооружений входят:

- левобережная грунтовая плотина;
- водосливная плотина;
- здание ГЭС руслового типа;
- правобережная грунтовая плотина.

Длина створа по гребню 1020 м.

Для снятия противодействия устроены цементационная завеса и дренаж. Во избежание недопустимо высоких напряжений, появляющихся при неравномерных осадках основания и при температурных деформациях, в частях тела бетонной плотины, она разделена на секции постоянными температурно-осадочными швами.

В соответствии с настоящим законодательством были рассмотрены мероприятия организации безопасности гидротехнических сооружений. Также

перечислены мероприятия по охране окружающей среды в период возведения и эксплуатации гидроузла.

По технико-экономическим расчетам получены следующие показатели:

–удельная себестоимость производства электроэнергии 0.56 руб.кВт/ч;

–период окупаемости 18 лет.

Таким образом, строительство данной Турейской ГЭС с установленной мощностью 60 МВт является актуальным.

В качестве вопроса было выбрано рассмотрение технологии возведения ГЭС в суровых климатических условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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 : СШФКГТУ, 2008. – 114 с.
2. Орахелашвили, Б.М. Гидромашины. Методические указания по курсовому проектированию/сост.Б.М. Орахелашвили. – 2-е изд., испр.Саяногорск: Сибирский федеральный ун-т; Саяно-Шушенский филиал, 2011. - 28 с.
3. Щавелев, Д. С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций : Справочное пособие : В 2 т. / Под ред. Ю. С. Васильева, Д. С. Щавелева. – Т. 1. Основное оборудование гидроэлектростанций. / Л. Ф. Абдурахманов, Б. Н. Ананьин [и др.] – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 400с.
4. Щавелев, Д. С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций : Справочное пособие : В 2 т. / Под ред. Ю. С. Васильева, Д. С. Щавелева. – Т. 2. Вспомогательное оборудование гидроэлектростанций. / М. И. Гальперин, И. Н. Лукин [и др.] – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 336 с
5. Гидроэлектрические станции/Н.Н. Аршневский, М.Ф.Губин, В.Я.Карелин и др; Под ред. В.Я.Карелина, Г.И.Кривченко.-3-е изд., перераб.и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1987.-464.:ил
6. Речные гидротехнические сооружения. Проектирование бетонной водосливной плотины и грунтовой плотины в составе гидроузла : методические указания по выполнению курсового проекта и выпускной квалификационной работы/ сост. Т.А.Лыбина, Н.П.Ульянова, В.Б.Затеев.- Саяногорск; Черемушки: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал.2015.-88с.
7. Чертоусов, М. Д. Специальный курс гидравлики: учебник / М.Д. Чертоусов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Госэнергоиздат, 1949. - 407.00 с. - 21.00 тг.
8. Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам: учебное пособие для вузов /П. Г. Киселев, А. Д. Альтшуль, Н. В. Данильченко, А. А. Каспарсон, Г. И. Кривченко, Н. Н. Пашков, С. М. Слиссский. – Москва : Издательство «Энергия», 1972, - 312 с.
9. Телешев В.И. Организация, планирование и управление гидротехническим строительством (учебник для ВУЗов) М.: строй.издат, 1989. – 416 с.

10. Телешев В.И. Бетонные работы в гидротехническом строительстве. Часть I: Теоретические основы требований к технологии бетонных работ «учебное пособие». СПбГТУ, 1992. 108 с.
11. Правила производства бетонных работ при возведении гидротехнических сооружений ВСН81-83 Минэнерго-СССР. .
12. Галузин В.М., Комаринский М.В., Телешев В.И. – Выбор машин и оборудования для производства бетонных работ «учебное пособие». - СПбГТУ, 1995. 80 с.
13. Производство гидротехнических работ «учебник» под общей редакцией Чуракова А.И.- М. строй.издат, 1985 -623 с.
14. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] :Федер. закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
15. Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс] :Федер. закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
16. О животном мире [Электронный ресурс] :Федер. закон от 13.12.1996 N 52-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
17. Об особо охраняемых природных территориях [Электронный ресурс] :Федер. закон от 14.03.1995 N 33-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
18. О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов[Электронный ресурс] :Федер. закон от 06.12.2007 N 333-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
19. Единые сценарные условия ПАО «РусГидро» на 2016-2041 гг. «приказ ПАО «РусГидро» от 08.02.16 г. №92»
20. «Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике», утвержденные приказом ОАО РАО «ЕЭС России» от 07.02.2000г. № 54 на основании Заключения Главгосэкспертизы России от 26.05.1999г. №24-16-1/20-113.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Водно-энергетические характеристика

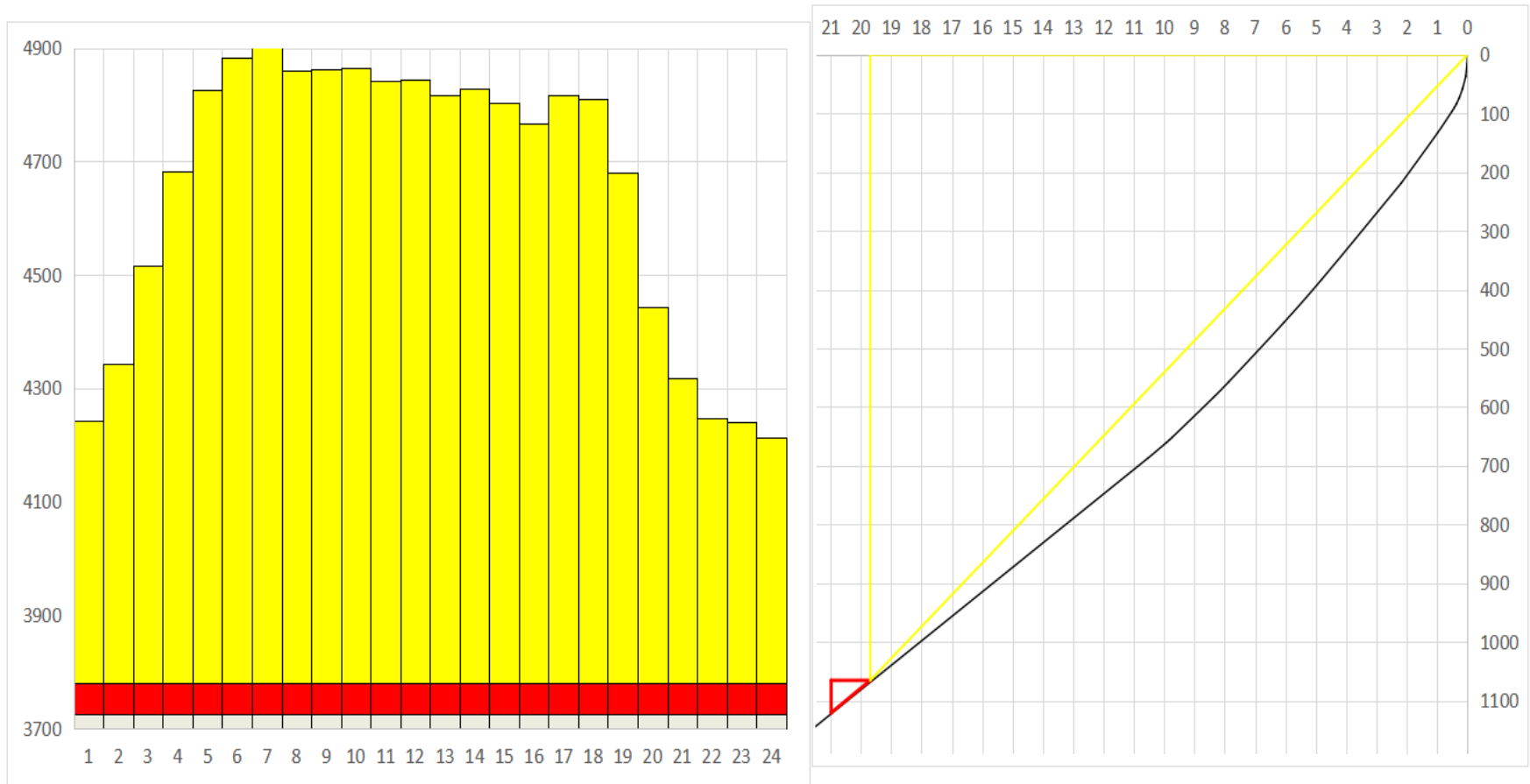


Рисунок А.1 – Суточный график нагрузки и ИКН для летнего периода

Продолжение приложения А

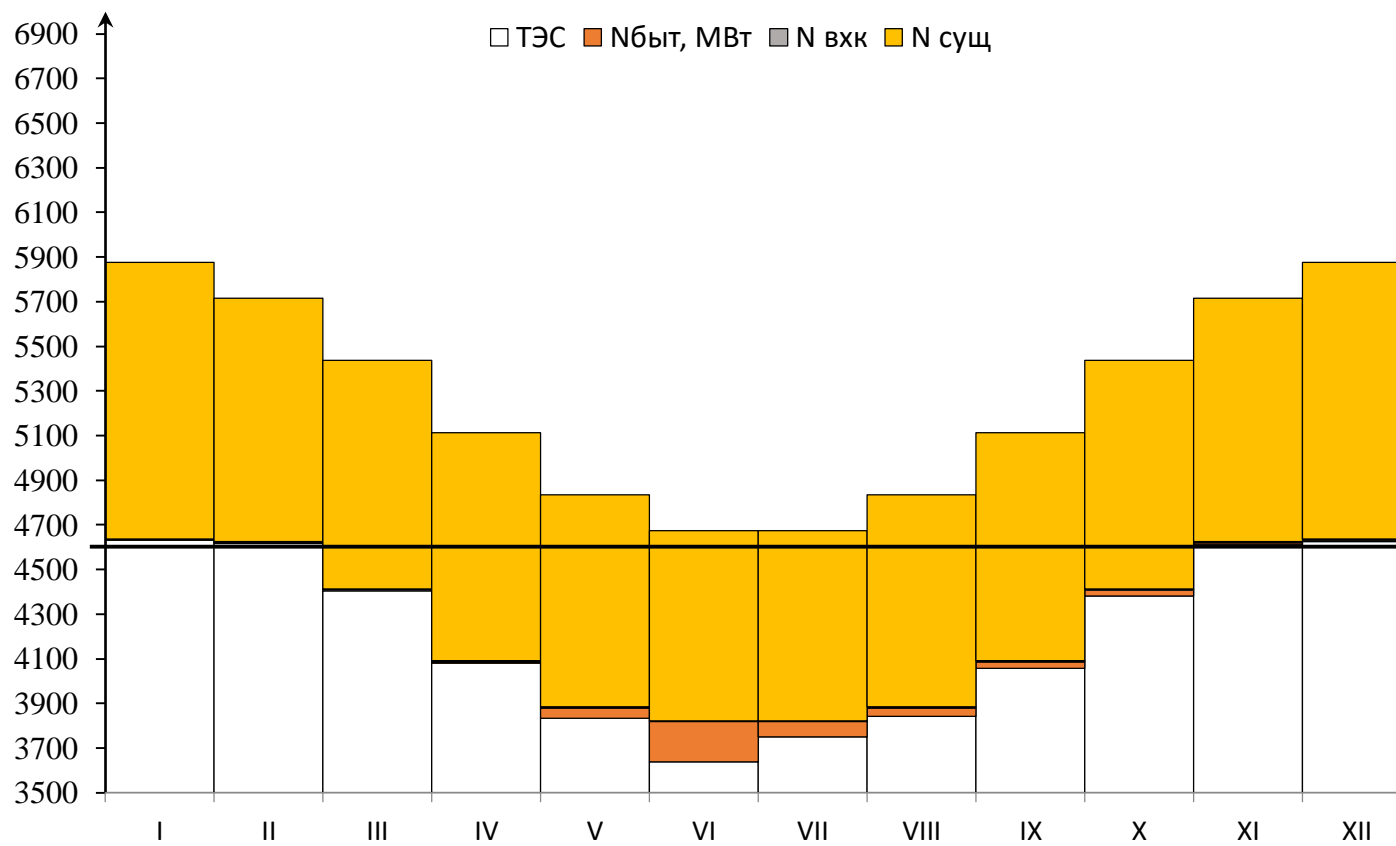


Рисунок А.2 – Баланс энергии для проектируемой ГЭС

Продолжение приложения А

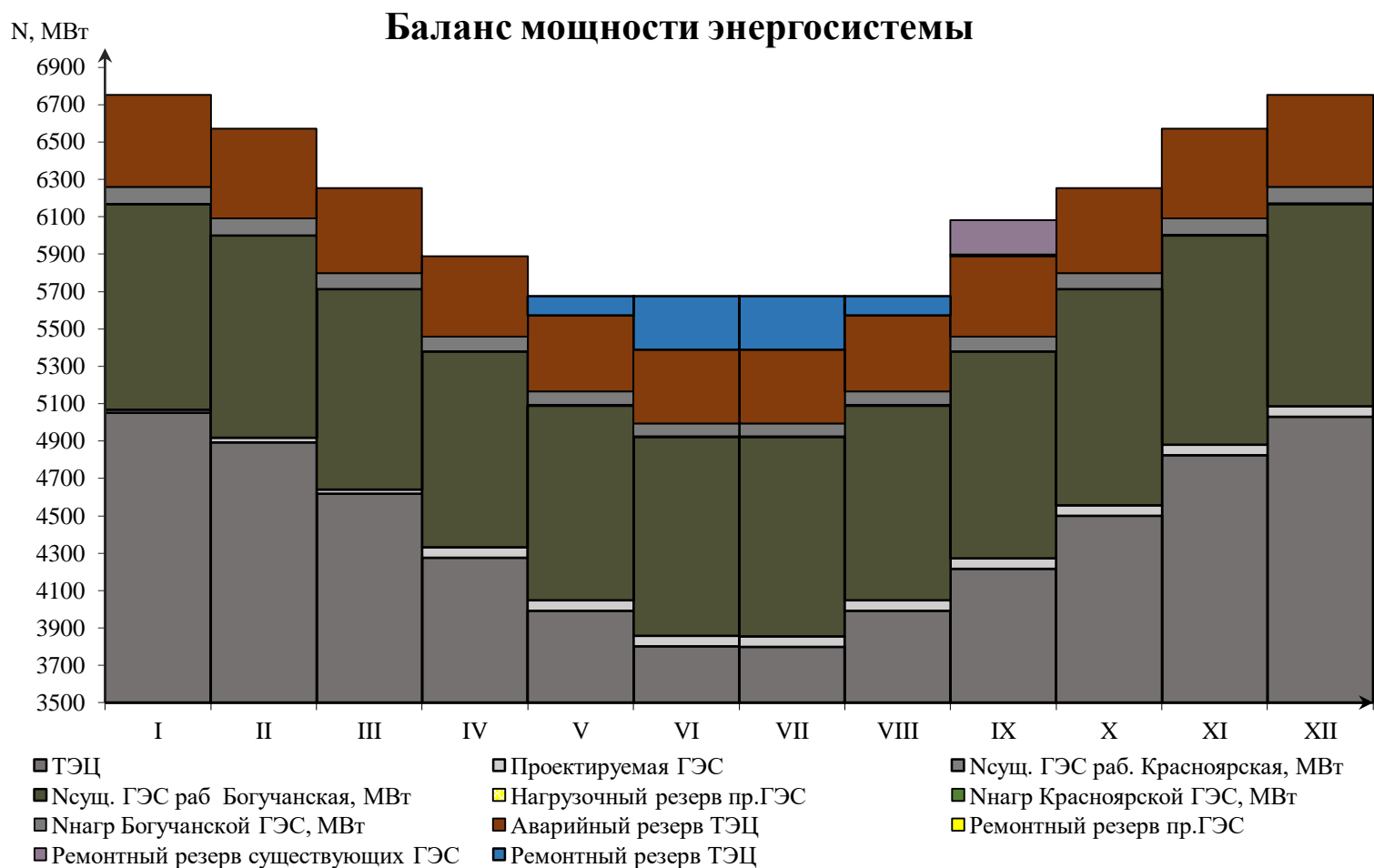


Рисунок А.3 – Баланс мощности для проектируемой ГЭС

Окончание приложения А

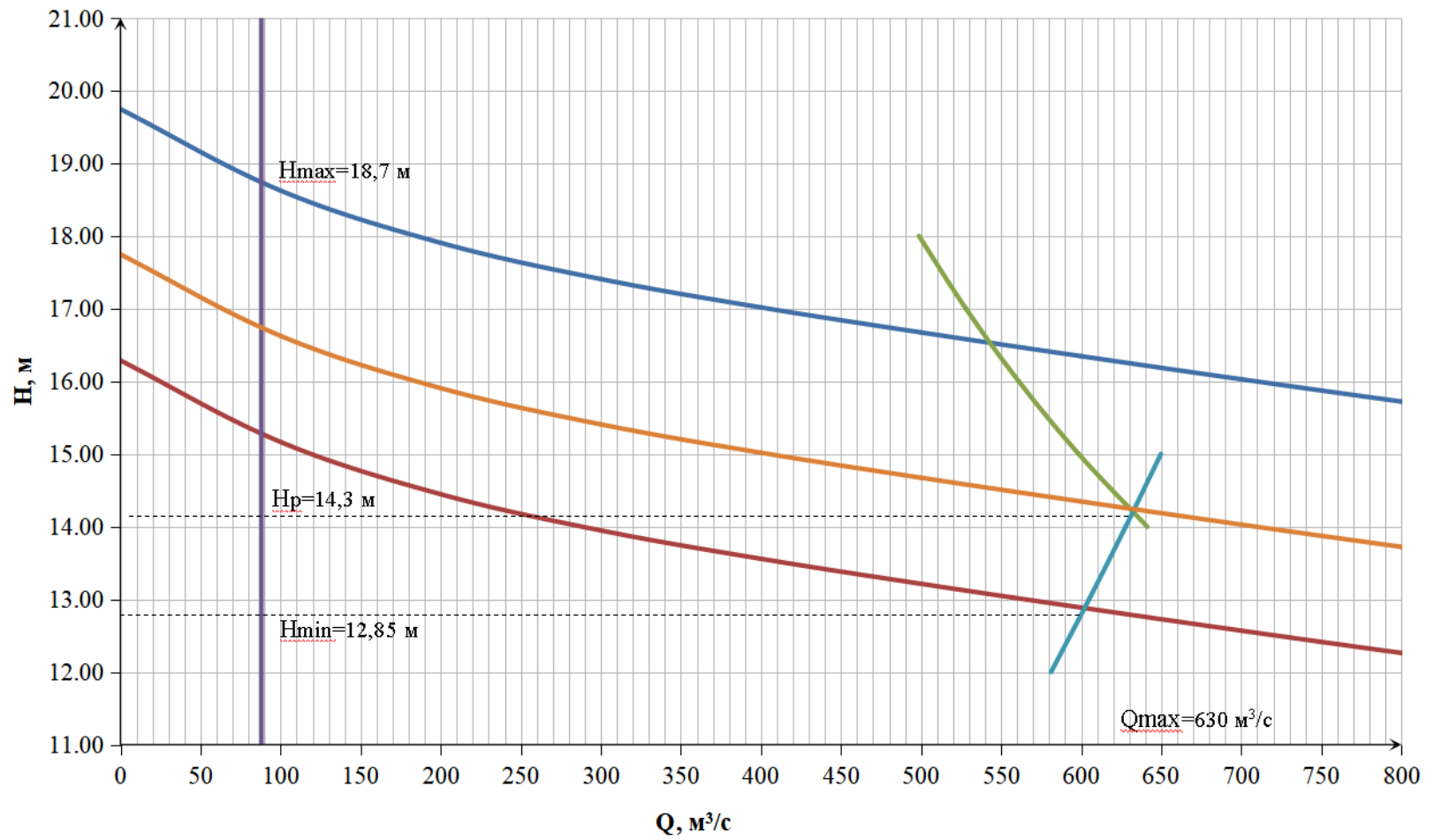


Рисунок А.4 – Режимное поле Турейской ГЭС

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Гидравлические машины

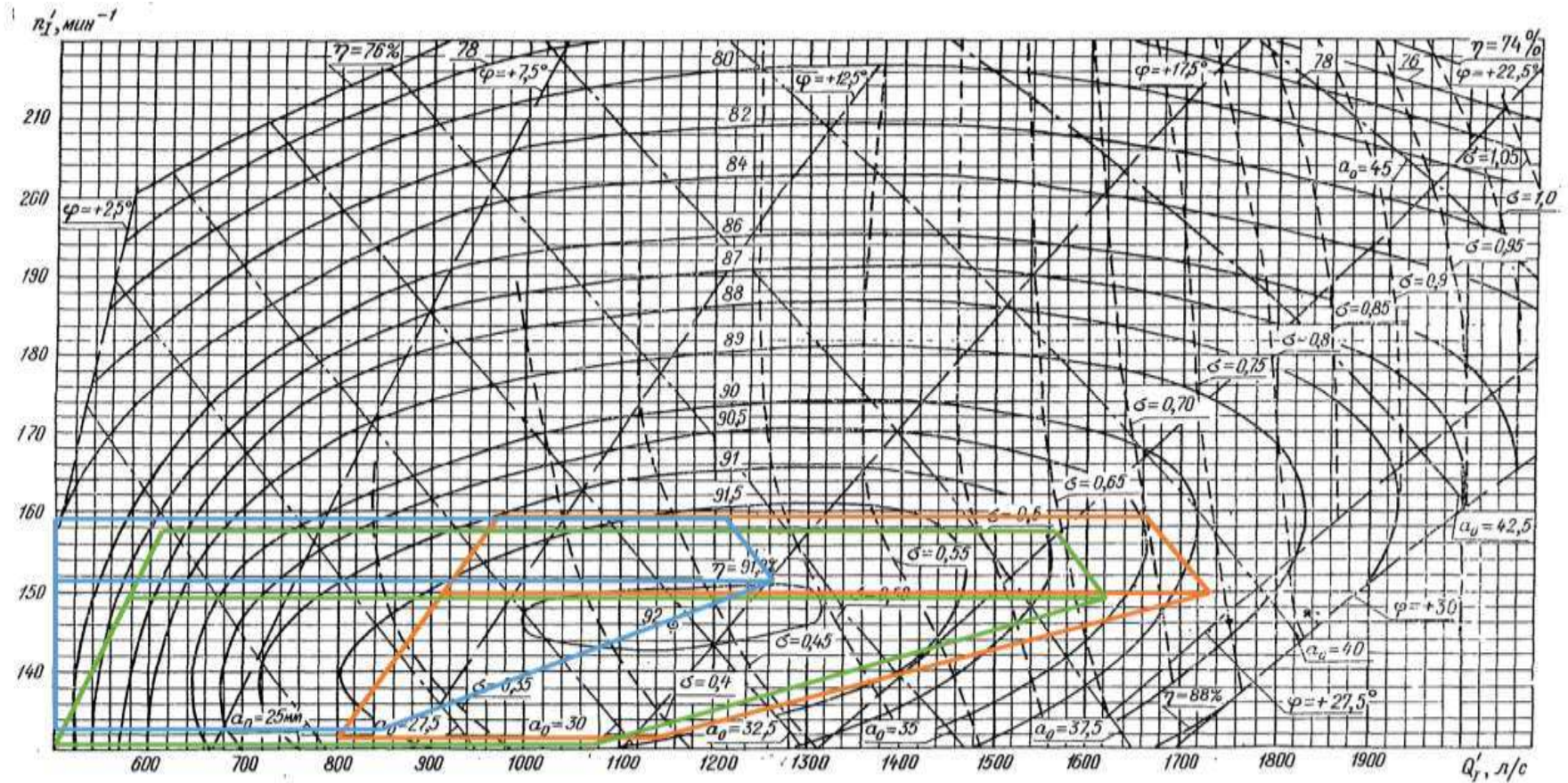


Рисунок Б.1 – Главная универсальная характеристика с обозначенной рабочей зоной для гидротурбин ПЛ20-В-500 (оранжевая), ПЛ20-В-630(зеленая), ПЛ20-В-710 (голубая)

Окончание приложения Б

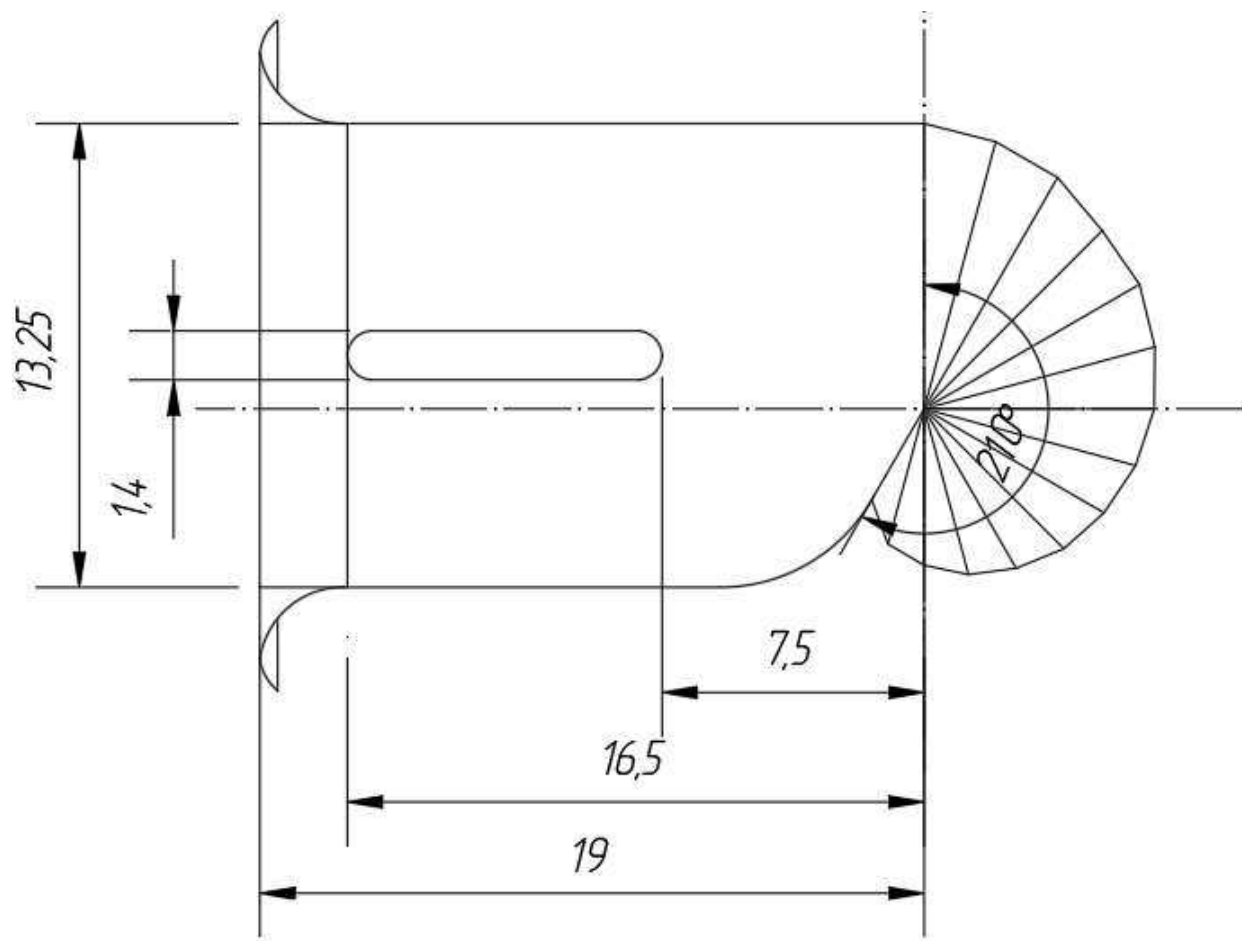


Рисунок Б.2 – План бетонной спиральной камеры

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Гидротехнические сооружения

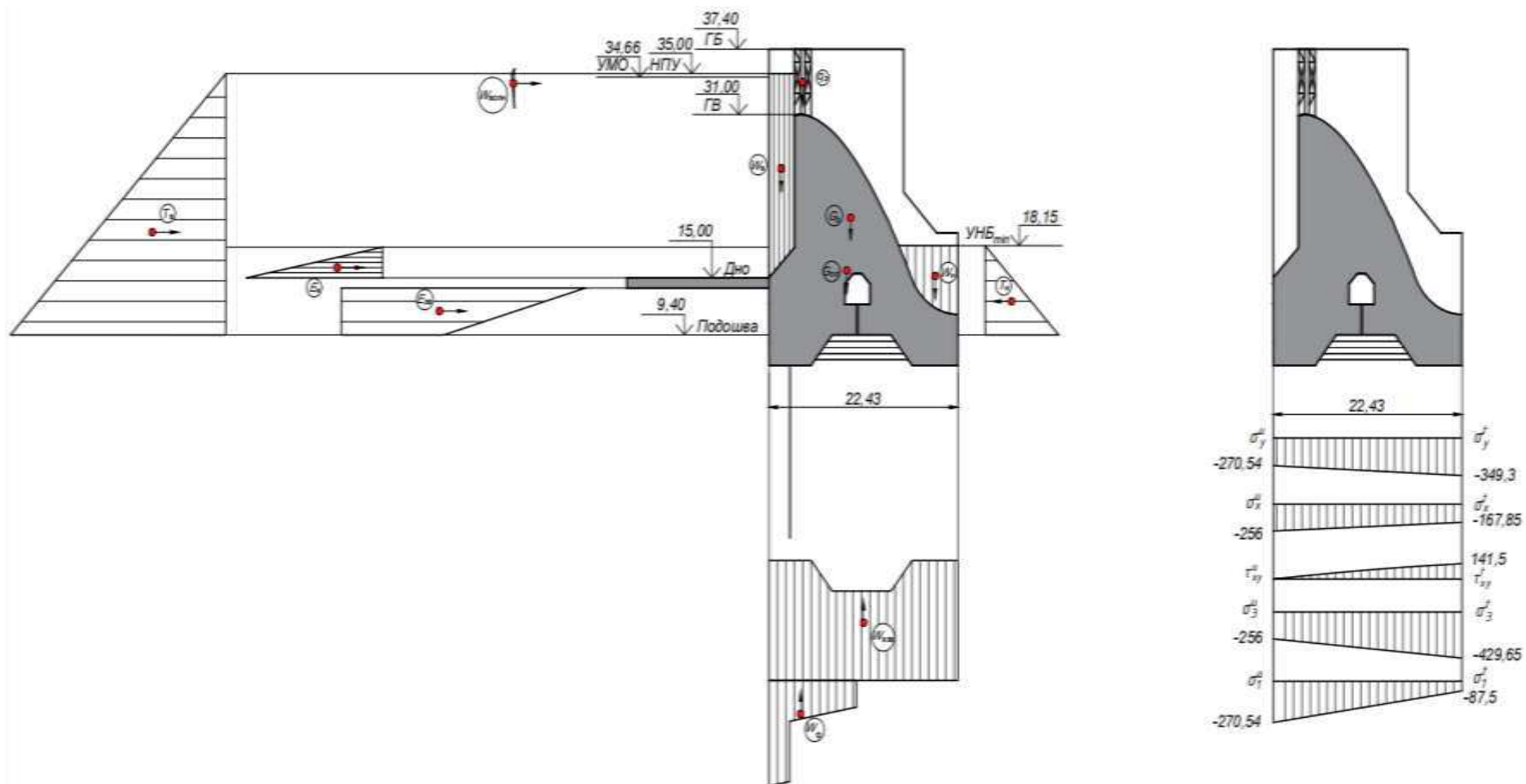


Рисунок В.1 –Схема к расчету устойчивости и плотности плотины для основного случая

Продолжение приложения В

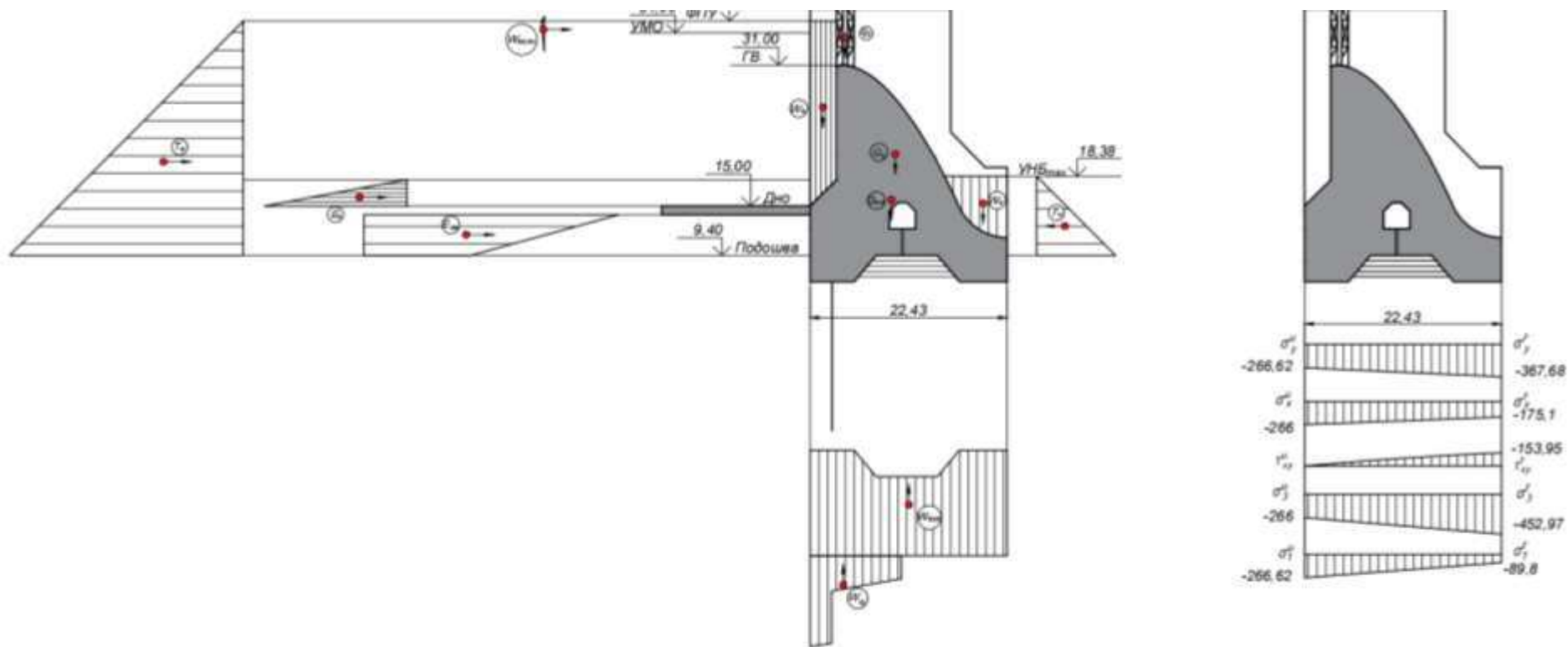


Рисунок В.2 – Схема к расчету устойчивости и плотности плотины для поверочного случая

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Технология ГЭС

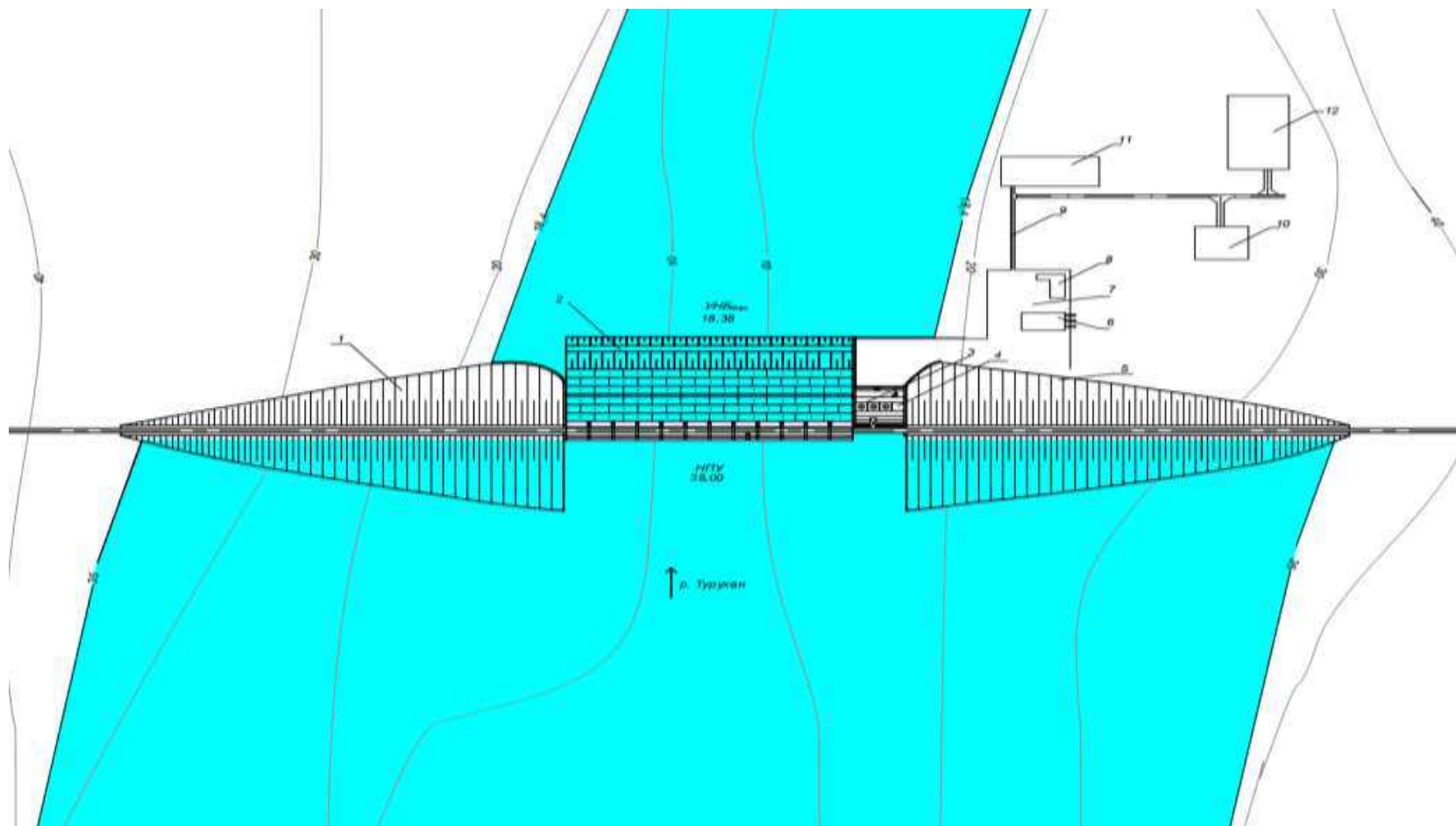


Рисунок Г.1 – Строительный генеральный план Турейской ГЭС

Продолжение приложения Г

Таблица Г.1 – ведомость объема земляных работ

№ этапа	Земляные работы	Объем, м ³	Месяцы	Примечания
Выемка грунта				
I	Котлован I очереди (нескального грунта)	25348,00	1,2	1 смена 1 механизм
III	Котлован II очереди (нескального грунта)	34302,00	1,6	1 смена 1 механизм
III	Здание ГЭС, выемка	3840,00	0,2	1 смена 1 механизм
Насыпные работы				
Перемычки котлована I очереди				
I	Перемычки I очереди	75916,00	7,6	1 смена 1 механизм
II	Перемычки II очереди	95974,00	10	1 смена 1 механизм
I	Левобережная грунтовая плотина до отметки 30,6 м	77500,00	8	1 смена 1 механизм
III	Правобережная грунтовая плотина до отметки 33,6 м	114863,00	11	1 смена 1 механизм
III	Левобережная грунтовая плотина от отметки 30,6 м до отметки 33,6 м	61119,00	6	1 смена 1 механизм
V	Правобережная грунтовая плотина от отметки 33,6 м до отметки гребня	30278,00	3	1 смена 1 механизм
V	Левобережная грунтовая плотина от отметки 33,6 м до отметки гребня	30348,00	3	1 смена 1 механизм

Окончание приложения Г


Таблица Г.2 –Ведомость объема бетонных работ

№ этапа	Бетонные работы	Объем, м3	Месяцы	Примечания
I	Водосливная плотина до отметки 31,6 м	10320,00	28,3	1 смена, 1 кран
II	Водосливная плотина от отметки 31,6 до отметки 33,5	3645,00	10	1 смена, 1 кран
III	Здание ГЭС до отметки 33,5	14288,00	39,2	1 смена, 1 кран
V	Здание ГЭС от отметки 33,5 до отметки 38 м	19552,00	53,5	1 смена, 1 кран
V	Водосливная плотина от отметки 33,5 до гребня	2584,00	7,1	1 смена, 1 кран

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

Кафедра «ГТС и ГМ»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

 А.А. Андрияс
подпись инициалы, фамилия

« 16 » 06 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

08.03.01 - Строительство
код – наименование направления

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРЕЙСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ТУРУХАН.
ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ГТС В СУРОВЫХ
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Руководитель


подпись, дата

Старший преподаватель

кафедры ГТС и ГМ

учебная степень, звание, должность

Место работы

Т.Ю. Голошинова

инициалы, фамилия

Выпускник

7.05.2022 
подпись, дата

В.Э. Курдогло

инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2022

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Турейской ГЭС на реке Турухан. Технология возведения гидротехнических сооружений в суровых климатических условиях».

Консультанты по разделам:

Консультант руководителя БР

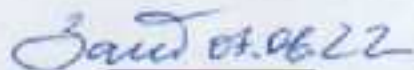
 14.06.22

подпись, дата

Андрьяс А.А.

инициалы, фамилия

Водно-энергетические расчёты

 01.06.22

подпись, дата

Затеева Е.Ю.

инициалы, фамилия

Основное и вспомогательное
оборудование

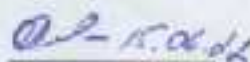


подпись, дата

Масленникова А.В.

инициалы, фамилия

Компоновка и сооружения гидроузла

 11.06.22

подпись, дата

Фирищак Е.В.

инициалы, фамилия

Организация и производство
гидротехнических работ


 07.05.2022

подпись, дата

Голошинова Т.Ю.

инициалы, фамилия

Пожарная безопасность. Охрана труда

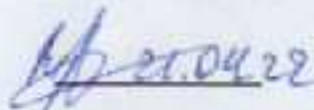
 16.06.22

подпись, дата

Татарников В.И.

инициалы, фамилия

Охрана окружающей среды

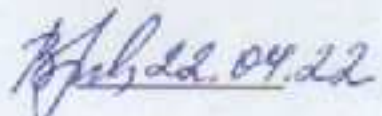
 21.04.22

подпись, дата

Кадычегов В.А.

инициалы, фамилия

Технико-экономическое обоснование

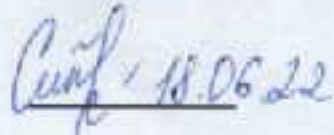
 22.04.22

подпись, дата

Лапасова В.В.

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 18.06.22

подпись, дата

К.П. Симельникова

инициалы, фамилия