

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

Кафедра «Гидротехнических сооружений»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.Б. Затеев
«13» 06 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

08.03.01- Строительство

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИЙ-ХЕМСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ БОЛЬШОЙ
ЕНИСЕЙ. МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОСТИ ДАМБ
ХВОСТОХРАНИЛИЩ**

Руководитель *Ульянова Н.П.* 13.06.17 *старший преподаватель* Н.П. Ульянова
подпись, дата должность, ученая степень


Выпускник *Лактионов В.Е.* 13.06.17
подпись, дата В.Е. Лактионов

Саяногорск 2017

Продолжение титульного листа БР по теме: Проектирование Бий-Хемской ГЭС на реке Большой Енисей. Мониторинг безопасности дамб хвостохранилищ

Консультанты
по разделам:

Общая часть


13.06.17
подпись, дата

Н.П. Ульянова

Водно-энергетические
расчеты


9.06.17
подпись, дата

Е.Ю. Затеева

Выбор основного и
вспомогательного
оборудования


13.06.17
подпись, дата

А.В. Масленникова

Технология ГТС


14.06.17
подпись, дата

Н.А. Эклер

Компоновка гидроузла,
выбор типа и расчет основных
сооружений


13.06.17
подпись, дата

Л.С. Пермякова

Мероприятия по охране природы


15.06.17
подпись, дата

В.А. Кадычegov

Технико-экономические показатели


09.06.17
подпись, дата

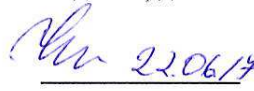
В.В. Лапасова

Спецвопрос


13.06.17
подпись, дата

Н.П. Ульянова

Нормоконтролер


22.06.17
подпись, дата

А.А. Чабанова

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

САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

институт

«Гидротехнических сооружений»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В. Б. Затеев

подпись инициалы, фамилия

« 16 » 05 2017 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Лактионову Владиславу Евгеньевичу

фамилия, имя, отчество

Группа СБ13 – 01 Направление (специальность) 08.03.01

номер код

Строительство

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Проектирование Бий-Хемской ГЭС на реке Большой Енисей. Мониторинг безопасности дамб хвостохранилищ.

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

Руководитель ВКР Н.П. Ульянова старший преподаватель СМР СФУ
инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР 1) топографическая основа в створе ГЭС; 2) гидравлические данные; 3) инженерно-геологические характеристики; 4) характеристика электросиловой системы

Перечень разделов ВКР 1) Общая часть; 2) Энергетические расчеты; 3) Осевые и вспомогательное оборудование; 4) Компаньонка и ее рабочие гидроузлы; 5) Этапы возведения сооружения; 6) Объемы производства электрэнергии; 7) Оценка охраны среды; 8) Спецвопрос

Перечень графического материала 1) Генеральный план; 2) Поперечный разрез здания ГЭС; 3) Разрез секции водосливной плотины; 4) Строительный генеральный план; 5) Этапы возведения сооружения; 6) Сводный календарный график

Руководитель ВКР Н.П. Ульянова

подпись инициалы и фамилия

Н.П. Ульянова

Задание принял к исполнению В.Е. Лактионов

подпись инициалы и фамилия студента

«13» июня 2017г.

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращенный паспорт Бий-Хемской ГЭС	7
Введение.....	9
1 Сведения о районе строительства	10
1.1 Общая характеристика района строительства	10
2 Водноэнергетические расчеты.....	12
2.1 Выбор расчетного года	12
2.2 Кривые связи.....	14
2.2.1 Верхний бьеф.....	14
2.2.2 Нижний бьеф	14
2.3 Графики нагрузки.....	15
2.3.1 Суточные графики нагрузки	15
2.3.2 Годовые графики нагрузки.....	16
2.4 Расчет режимов работы ГЭС с учетом требований ВХК	17
2.5 Баланс энергий.....	19
2.6 Интегральные кривые нагрузки.....	19
2.7 Водно-энергетический расчет.....	20
2.8 Режимное поле.....	20
2.9 Баланс мощностей.....	21
3.1 Выбор гидротурбины	22
3.2 Выбор отметки установки рабочего колеса	26
3.3 Расчет и построение бетонной спиральной камеры	26
3.4 Расчет отсасывающей трубы.....	30
3.5 Требования к гидрогенератору	33
3.6 Расчет вала на прочность	35
3.7 Выбор МНУ и ЭГР	35
4 Компоновка и сооружения гидроузла	36
4.1 Состав и компоновка сооружений гидроузла	36
4.1.1 Проектирование сооружений напорного фронта.....	36
4.2 Гидравлические расчеты	39
4.2.1 Определение ширины водосливного фронта	39

4.2.2	Определение отметки гребня водослива	40
4.2.3	Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае.....	42
4.2.4	Построение профиля водосливной плотины	43
4.2.5	Расчет сопряжения бьефов	44
4.2.6	Расчет водобойного колодца.....	45
4.3	Конструирование плотины.....	47
4.3.1	Определение ширины подошвы плотины	47
4.3.2	Разрезка плотины швами.....	47
4.3.3	Быки.....	48
4.3.4	Устои	48
4.3.5	Дренаж тела бетонных плотин.....	48
4.3.6	Галереи в теле плотины	48
4.4	Назначение размеров основных элементов плотины	49
4.5.2	Дренажные устройства в основании.	53
4.7	Фильтрационные расчеты подземного контура.....	55
4.7.1	Построение эпюры фильтрационного давления	55
4.8.2	Сила гидростатического давления воды.....	60
4.8.3	Сила взвешивающего давления на подошву плотины	61
4.8.4	Сила фильтрационного давления на подошву плотины	62
4.8.5	Давление грунта	62
4.8.6	Волновое давление.....	64
4.9.2	Критерии прочности плотины	70
4.9.3	Расчет устойчивости плотины на сдвиг по основанию.....	71
5	Этапы возведения сооружений и схема пропуска строительных расходов на различных этапах	74
5.1	Первый этап	74
5.1.1	Расчет перемычек первой очереди с учетом пропуска строительных расходов через стесненное русло	75
5.1.2	Тип и конструкцию перемычек	76
5.1.3	Осушение котлована 1-й очереди.....	78
5.1.4	Разработка котлована под водосливную плотину	78
5.1.5	Бетонные работы в нижней части водосливной плотины	79

5.1.6 Расчет пропуска расчетного строительного расхода через гребенку.....	80
6 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации	86
6.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии	86
6.2 Текущие расходы по гидроузлу.....	87
6.3 Налоговые расходы.....	89
6.4 Оценка суммы прибыли от реализации электроэнергии и мощности.....	90
6.5 Оценка инвестиционного проекта.....	91
6.5.2 Коммерческая эффективность	92
6.5.3 Бюджетная эффективность.....	92
6.5.4 Анализ чувствительности.....	92
7 Мероприятия по охране окружающей среды в зоне влияния Бий-Хемской ГЭС. Охрана труда и противопожарная безопасность.....	95
7.1 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства.....	95
7.2 Мероприятия по подготовке ложа водохранилища.....	96
7.3 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации.....	98
8 Мониторинг безопасности дамб хвостохранилищ	99
Заключение	113
Список использованных источников	114
Приложение А Расчётный гидрологический ряд наблюдений р. Большой Енисей в створе Бий-Хёмской ГЭС с 1922-1971 гг	114
Приложение Б Данные для расчета среднесуточных мощностей для лета и зимы	114
Приложение В Суточные графики нагрузки	114
Приложение Г ВЭР маловодного года с обеспеченностью годового стока 90%	120
Приложение Д Результаты расчета режимного поля проектируемой ГЭС.....	121
Приложение Е Режимное поле Бий-Хемской ГЭС по напору и расходу.....	122
Приложение Ж Баланс мощности.....	123
Приложение И Проточная часть ПЛ40 б-В.....	124
Приложение К Координаты для построения оголовка водослива при Нст=12м.....	125

Приложение Л Эпюры нагрузок. Основное сочетание нагрузок и воздействий.....	126
Приложение М Эпюры нагрузок. Особое сочетание нагрузок и воздействий.....	127
Приложение Н Эпюры напряжений. Основное сочетание нагрузок и воздействий.....	128
Приложение П Эпюры напряжений. Особое сочетание нагрузок и воздействий.....	129

СОКРАЩЕННЫЙ ПАСПОРТ БИЙ-ХЕМСКОЙ ГЭС

Наименование гидроузла: Бий-Хемский ГУ на реке Большой Енисей,

Местонахождение ГЭС: Тыва,

Тип проектируемой установки: Гидроэлектростанция.

Характерные расходы воды:

а) среднемноголетний 560 м³/с,

б) всех турбин 1392 м³/с,

в) максимальный с учетом трансформации паводка обеспеченностью 3%,
3707 м³/с,

г) максимальный поверочный расход обеспеченностью 0,5%, 5075 м³/с.

Параметры водохранилища:

а) характер регулирования стока годовой,

б) отметки: НПУ 740 м; УМО 732 м,

в) объем водохранилища: полный 15 км³; полезный 6,16 км³.

Напоры ГЭС:

а) максимальный 33,9 м,

б) расчетный 24 м,

в) минимальный 21 м.

Энергетические характеристики:

а) мощность установленная 212 МВт; гарантированная 207 МВт,

б) среднемноголетняя выработка электроэнергии 1,0 млрд.кВт.ч.,

в) число часов использования установленной мощности 5400 час.

Плотины:

а) гравитационная водосливная материал бетон,

б) левобережная гравитационная глухая материал бетон,

в) русловая гравитационная глухая материал бетон,

г) станционная русловая гравитационная материал бетон,

д) правобережная гравитационная глухая материал бетон,

е) общая длина 372 м, максимальная высота 40 м.

Водосбросные сооружения:

а) гашение энергии по типу водобойного колодца,

б) число пролетов 3 отверстия,

в) общая длина 36 м.

Здание ГЭС:

а) тип здания русловое; число агрегатов 4,

б) размер: общая длина 76 м, ширина 27,4 м.

Основное оборудование:

- а) тип турбины ПЛ40б-В-560,
- б) тип генератора СВ 765/80-26,
- в) частота вращения 115,4 об/мин.

Технико-экономические показатели:

- а) период окупаемости 7,3 лет,
- б) себестоимость энергии 0,15 коп/кВт ч.,
- в) удельные капиталовложения 75314,1 руб/Квт.

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика — это одна из ведущих отраслей энергетики, в которую входит сбыт, производство и передача электроэнергии. Данная отрасль энергетики считается важной, так как у нее большие преимущества относительно других видов энергии, а именно: распределение между потребителями, ее легко транспортировать на большие расстояния и превращать в другую энергию (тепловую, механическую, световую, химическую и др.). Отличительная черта электрической энергии — это ее одновременность в генерации и потреблении энергии, так как по сетям электрический ток распространяется почти со скоростью света.

Генерация электроэнергии — это процесс, при котором различные виды энергии преобразовываются в электрическую энергию.

Гидроэлектростанция — это комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия потока воды преобразуется в электрическую энергию.

Гидроэлектростанции являются составной частью гидроузла — комплекса гидротехнических сооружений, предназначенных для использования водных ресурсов в интересах народного хозяйства: получения электрической энергии, ирригации, водоснабжения, улучшения условий судоходства, защиты от наводнений, рыбоводства и др.

При проектировании ГЭС сначала необходимо технико-экономическое обоснование, определить зоны затопления при наполнения водохранилища, воздействия на окружающую среду.

1 Сведения о районе строительства

1.1 Общая характеристика района строительства

Тыва энергетически бедная республика, при высоком развитии ее промышленности. В регионе наиболее развита добывающая промышленность, возникающая на базе месторождений цветных металлов, асбеста, каменного угля, золота и других полезных ископаемых. Также развита пищевая промышленность, лесная и деревообрабатывающая промышленность. Электрические нагрузки промышленности Тывы составят 440 МВт к 2020 г. и 740 МВт к 2030 г.

Проектируемый гидроузел, возводимый на реке Большой Енисей (рисунок 1.1), энергетического назначения. Река Большой Енисей - это правый исток Енисея. Бассейн Большого Енисея — горная область. Берёт начало из озера Кара-Балык. Длина — 605 км, площадь бассейна — 56 800 км. Высокая водность реки объясняется тем фактом, что водосбор реки включает в себя Тоджинскую котловину, рельеф которой формирует уникальный водосборный бассейн. Река принимает многочисленные притоки. Тип питания за счет снеготаяния. Расходы реки: максимальный 5075 м³/с, минимальный 133 м³/с, средний 576 м³/с.

Климат резко- континентальный. Зима морозная безветренная, в котловинах малоснежная. Лето умеренно тёплое в горах и жаркое в котловинах. Средняя температура января от -28°С до -35°С, июля 15- 20°С. Зима длится с ноября по апрель. Снежный покров устанавливается в конце октября и достигает 15-20 см., в горах до 1-2 метров, сходит в середине апреля, в горах - в мае. Весна (апрель - май) - короткая, ясная, ветреная и сухая. Ветры над Тувой обычно слабые, особенно зимой. Весной наблюдается усиление ветровой деятельности, максимальная скорость часто превышает 15 м/с, достигая 20-25 м/с.

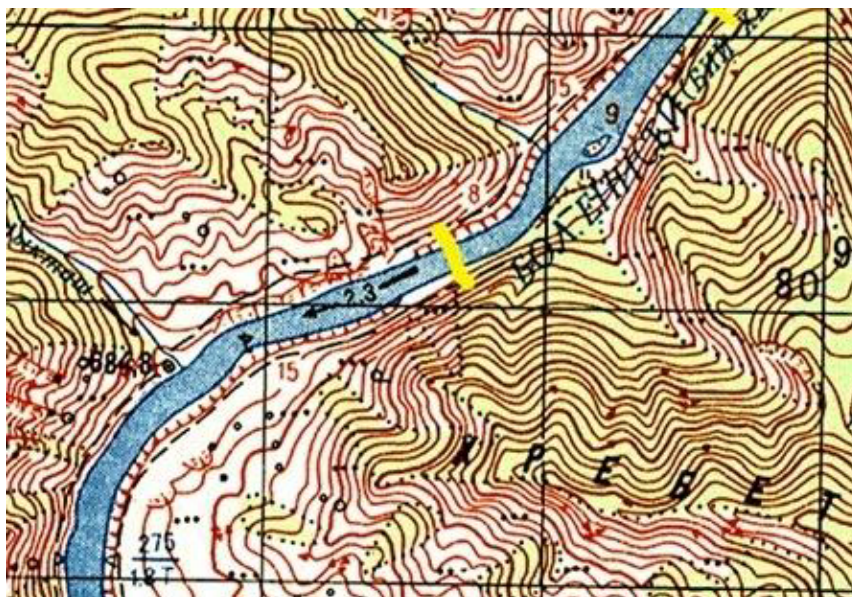


Рисунок 1.1- Выбранный створ Бий-Хемской ГЭС на топографической карте.

Основание в створе гидроузла скальное (гранит). Ширина створа 372 м. Створ симметричный (рисунок 1.2). Так же присутствует средний песок с глубиной залегания 3,5 м и крупнообломочный камень с глубиной залегания 8 м (рисунок 1.3). Модуль упругости гранита $0,49 \cdot 10^5$ МПа. Плотность гранита — 2600 кг/м^3 , прочность на сжатие до 300 МПа.

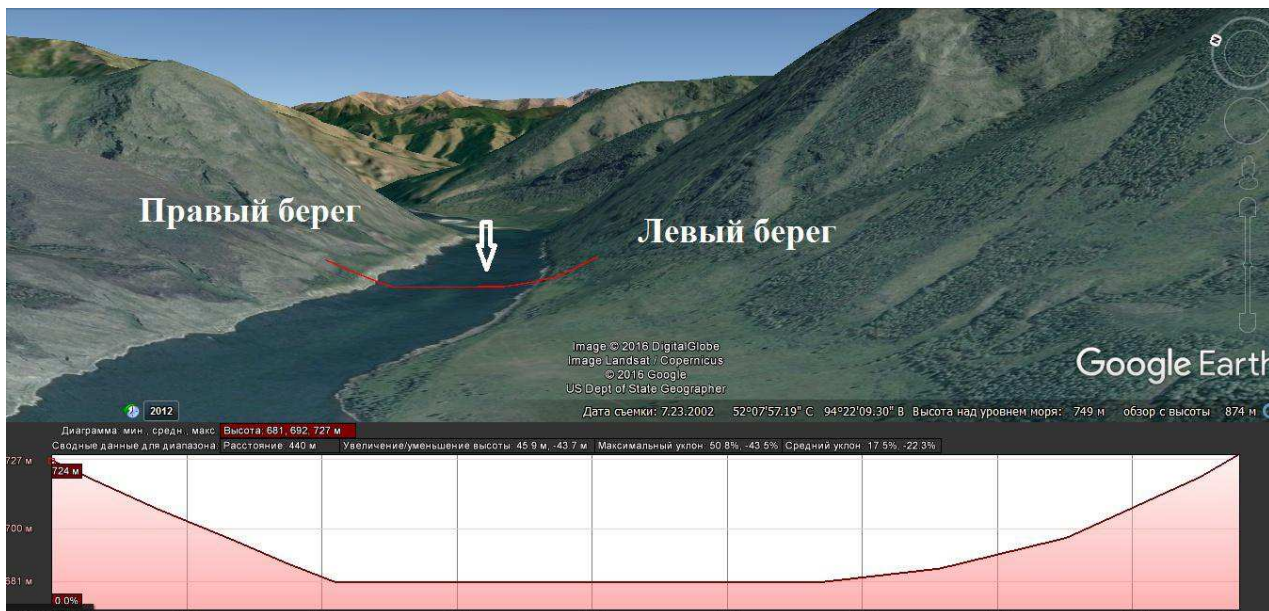
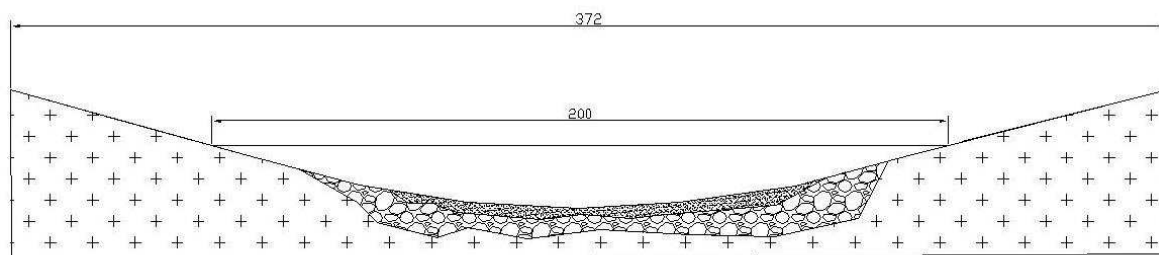


Рисунок 1.2- Разрез по створу гидроузла



- Гранит



Крупнообломочный
- камень



- Средний песок

Рисунок 1.3-Геологический разрез выбранного створа

2 Водноэнергетические расчеты

В приложении А представлен исходный гидрологический ряд за 50 лет наблюдений для реки Большой Енисей. Каждый год гидрологического ряда представлен в виде средних расходов за каждый месяц.

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

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

2.1 Выбор расчетного года

Выбор расчётного года (P=50%):

1936:

$$K_M = \frac{Q_{M1940}}{Q_{M1936}} = \frac{276}{281} = 0,98 \quad (2.1)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{II1937}}{Q_{II1936}} = \frac{950}{932} = 1,01 \quad (2.2)$$

1931:

$$K_M = \frac{Q_{M1949}}{Q_{M1931}} = \frac{276}{247} = 1,11 \quad (2.3)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{II1936}}{Q_{II1931}} = \frac{932}{967} = 0,96 \quad (2.4)$$

В качестве расчётного средневодного года принимается 1936 г.

Выбор расчётного года (P=90%):

1958:

$$K_M = \frac{Q_{M1932}}{Q_{M1958}} = \frac{230}{242} = 0,95 \quad (2.5)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{II1946}}{Q_{II1958}} = \frac{810}{862} = 0,93 \quad (2.6)$$

1948:

$$K_M = \frac{Q_{M1965}}{Q_{M1948}} = \frac{229}{233} = 0,98 \quad (2.7)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{II1926}}{Q_{II1948}} = \frac{808}{800} = 1,01 \quad (2.8)$$

В качестве расчетного маловодного года принимается 1948 г.

Выбрав окончательно расчётные гидрографы, уточняем годовой сток, умножив среднемесячные расходы на вычисленные коэффициенты приведения.

Расчетные маловодный и средневодный года представлены в таблицах 2.1 – 2.4.

Таблица 2.1– Расчетный маловодный (1948) год (P=90%) без приведения и с приведением.

Месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Ср. знач.
$Q_i^{90\%}, \text{м}^3/\text{с}$	852	982	843	785	664	184	173	183	189	177	173	706	493
$Q_i^{\text{пр}90\%}, \text{м}^3/\text{с}$	861	992	851	793	671	180	170	179	185	173	170	692	493

Таблица 2.2– Расчетный средневодный (1936) год (P=50%) без приведения и с приведением.

Месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Ср. знач.
$Q_i^{50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	553	1380	1075	896	755	510	398	385	164	156	148	203	552
$Q_i^{\text{пр}50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	558	1394	1086	905	763	500	390	377	161	153	145	199	552

Таблица 2.3– Расчетный средневодный (1936) год (P=50%) без корректировки и с корректировкой.

Месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Сток
$Q_i^{\text{пр}50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	558	1394	1086	905	763	500	390	377	161	153	145	199	6630
$Q_i^{\text{кор}50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	900	1100	890	805	695	359	273	253	210	200	205	740	6630

Таблица 2.4– Гидрографы маловодного (1948) и средневодного (1936) года

Годы	Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср. знач.
1948	$Q_i^{\text{пр}90\%}, \text{м}^3/\text{с}$	185	173	170	692	861	992	851	793	671	180	170	179	493
1936	$Q_i^{\text{кор}50\%}, \text{м}^3/\text{с}$	210	200	205	740	900	1100	890	805	695	359	273	253	552

2.2 Кривые связи

2.2.1 Верхний бьеф

Для построения кривой связи в верхнем бьефе необходимо определить объёмы водохранилища и отметки в створе. Отметки $Z_{вб}$ взяты с топографической карты. НПУ = 740 м (рисунок 2.1). Отметки нижнего бьефа были проверены с помощью excel, отклонения равны 0. Данные для построения представлены в таблице 2.5

Таблица 2.5– Данные для построения $Z_{вб}(V)$

V	$Z_{вб}$	$Z_{расч}$	del
0	706	706,00	0,00
3	716,6	716,60	0,00
6	724,8	724,80	0,00
9	731,2	731,20	0,00
12	736,2	736,20	0,00
15	740	740,00	0,00
17	742	742,00	0,00
20	744	744,00	0,00

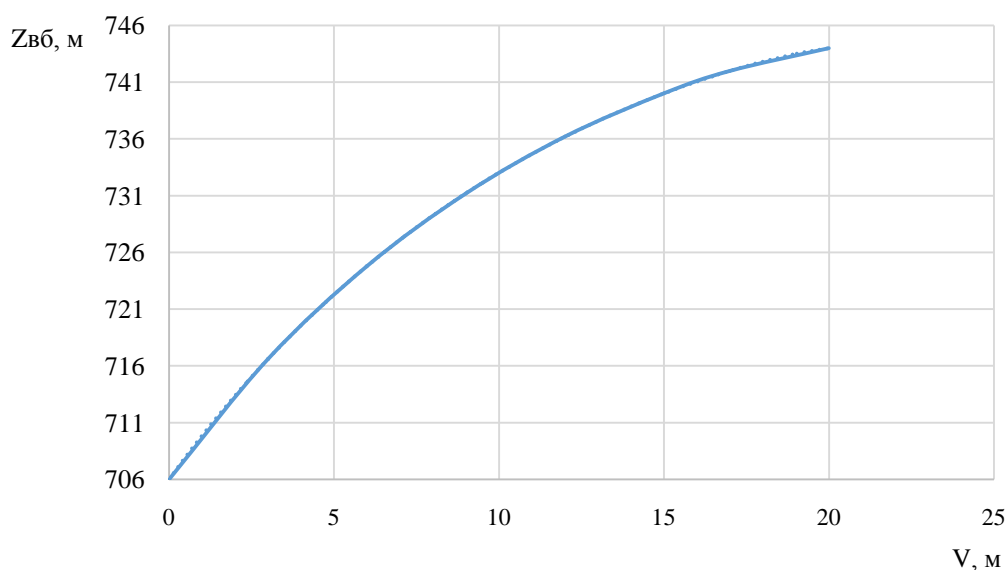


Рисунок 2.1– Кривая зависимости отметок от объема в верхнем бьефе

2.2.2 Нижний бьеф

Для построения кривой в нижнем бьефе необходимо определить расходы реки, зная скорость и сечения створа (рисунок 2.2). Кривая зависимости строится с помощью расходов и отметок нижнего бьефа в створе.

Максимальное отклонение отметки нижнего бьефа 0 см. Данные представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6– Данные для построения $Z_{нб}(Q)$

$Q_{лет}$	$Z_{нб}$	$Q_{зим}$	$Z_{нб}$	$Z_{рас лет}$	$del лет$	$Z_{рас зим}$	$del_{зим}$
0	706	0	706	706,00	0,00	706,00	0,00
1800	715	1440	715	715,00	0,00	715,00	0,00
4200	722,2	3360	722,2	722,20	0,00	722,20	0,00
6800	727,6	5440	727,6	727,60	0,00	727,60	0,00
9100	731,8	7280	731,8	731,80	0,00	731,80	0,00
11200	735,1	8960	735,1	735,10	0,00	735,10	0,00
13000	737,5	10400	737,5	737,50	0,00	737,50	0,00
15000	739,8	12000	739,8	739,80	0,00	739,80	0,00
15200	740	12160	740	740,00	0,00	740,00	0,00

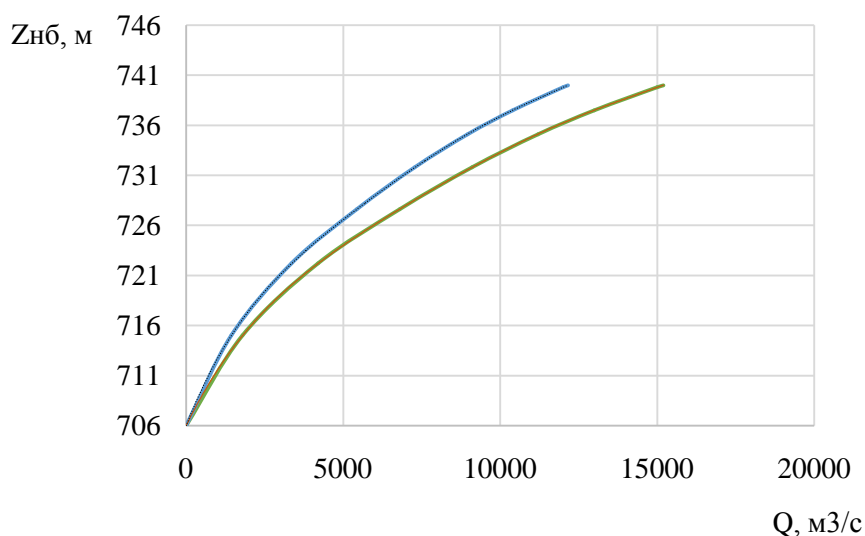


Рисунок 2.2– Кривая зависимости отметок от расхода нижнего бьефа

2.3 Графики нагрузки

2.3.1 Суточные графики нагрузки

Так как Тывинская РДУ является закрытой, на сайте системного оператора отсутствует план генерации и потребления. Для построения летних и зимних суточных графиков нагрузки использовалось учебно-методическое пособие «Выбор параметров ГЭС» [стр. 120], широта Центра.

С помощью приложения Б и коэффициентов $\beta_{сут.лет} = 0,785$ и $\beta_{сут.зим} = 0,747$, взятых с показателей из учебно-методического пособия «Выбор параметров ГЭС» [стр. 123], были найдены значение среднесуточных мощностей для лета и зимы, которые представлены в приложении В.

По данным таблицы построены зимние и летние суточные графики нагрузки [Приложение В].

2.3.2 Годовые графики нагрузки

Для построения годовых графиков нагрузки необходимо рассчитать среднюю и максимальную мощность за каждый месяц.

Максимальная нагрузка энергосистемы носит синусоидальный характер и для рабочего дня каждого месяца определяется по формуле:

$$P = a + b \cdot \cos\alpha, \quad (2.9)$$

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

$$a = \frac{\bar{P}_3 + \bar{P}_д}{2} = 7397; \quad (2.10)$$

$$b = \frac{\bar{P}_3 - \bar{P}_д}{2} = 1290, \quad (2.11)$$

где \bar{P}_3 и $\bar{P}_д$ взяты из максимальных значений таблицы Г.

В результате расчётов были получены данные (таблица 2.7) и графики 2.3-2.4 для построения максимальной годовой нагрузки.

Таблица 2.7 – Данные для построения годового графика нагрузки

a	b	a	b
363,4	96,6	273,7	67,8
t	Pmax	t	Pcp
1	455	1	339
2	432	2	322
3	401	3	291
4	338	4	256
5	295	5	226
6	270	6	208
7	270	7	208
8	295	8	226
9	338	9	256
10	401	10	291
11	432	11	322
12	455	12	339

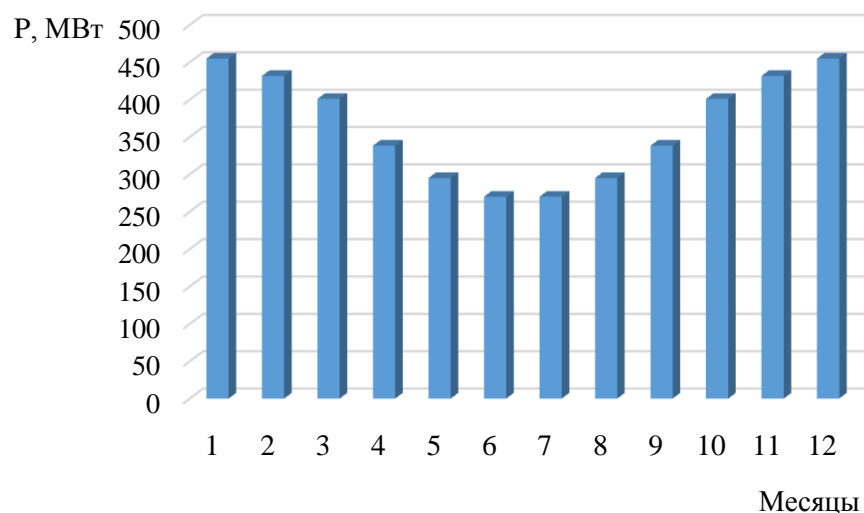


Рисунок 2.3 – Годовой график максимальной нагрузки

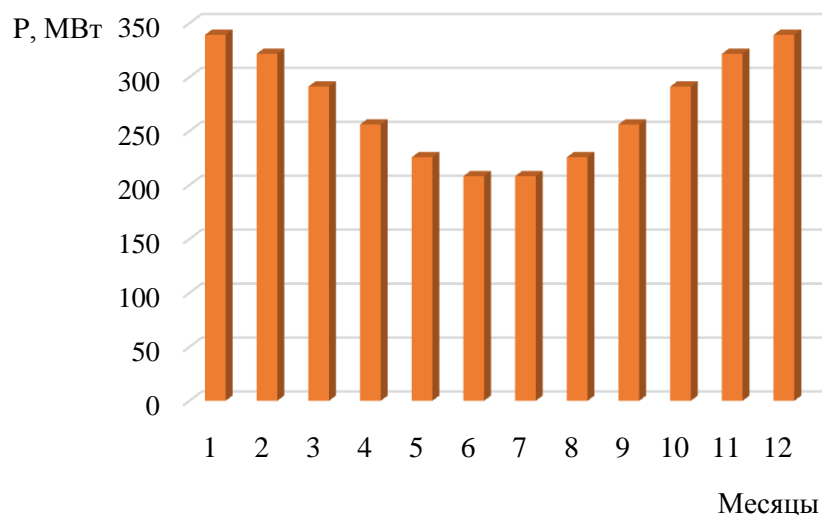


Рисунок 2.4– Годовой график средней нагрузки

2.4 Расчет режимов работы ГЭС с учетом требований ВХК

Чтобы осуществить расчет режимов работы проектируемой ГЭС необходимо определить потери расхода и расходы ВХК. В таблицах 2.8-2.10 представлены потери расхода на ВХК, фильтрационные потери, потери связанные с испарением и образованием льда.

Таблица 2.8– Потери расхода

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q90	185	173	170	692	861	992	851	793	671	180	170	179
Qвхк	208	208	208	416	416	416	416	416	416	208	208	208
Qисп				0,45	0,9	0,45	0,45	0,45				
Qфильтр	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Продолжение таблицы 2.8

Qлѐд	13	5	2	-31	-35						2	7
Σ потери	15	7	4	-33	-37	2	2	2	2	2	4	9

Таблица 2.9– Расчет режима работы по водотоку

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Qпол. быт, м ³ /с	170	166	165	725	898	990	849	791	669	178	166	170
Zвб, м	740	740	740	740	740	740	740	740	740	740	740	740
Zнб, м	707	707	707	710	711	711	710	710	710	707	707	707
H, м	32	32	32	29	29	28	29	29	30	32	32	32
Nпол. быт, МВт	50	48	48	192	230	250	219	206	178	52	48	50

Таблица 2.10– Расчет режима работы по ВХК

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Qвхк, м ³ /с	208	208	208	416	416	416	416	416	416	208	208	208
Zвб, м	740	740	740	740	740	740	740	740	740	740	740	740
Zнб, м	708	708	708	708	708	708	708	708	708	708	708	708
H, м	32	32	32	31	31	31	31	31	31	32	32	32
Nвхк, МВт	60	60	60	117	116	116	116	116	116	60	60	60
del N, МВт	-10	-12	-12	75	114	134	103	90	62	-8	-12	-10
										Сумма		516

Гарантированную линию (выделена чёрным) провел так, чтобы общая сумма чисел между нижней частью ВХК и гарантированной линией была равна сумме потерь 516 МВт. В итоге я получил, что гарантированную мощность я буду выдавать в 6-и месяцах(1,2,3,10,11,12), так же получил значения гарантированных мощностей- 170 МВт, 150 МВт и 120 МВт соответственно.

2.5 Баланс энергий

По значениям мощностей средней годовой нагрузки и по данным таблицы 2.10 - «сравнение режимов работы по $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{вхк}}$ » строю график баланса энергии (рисунок 2.5).

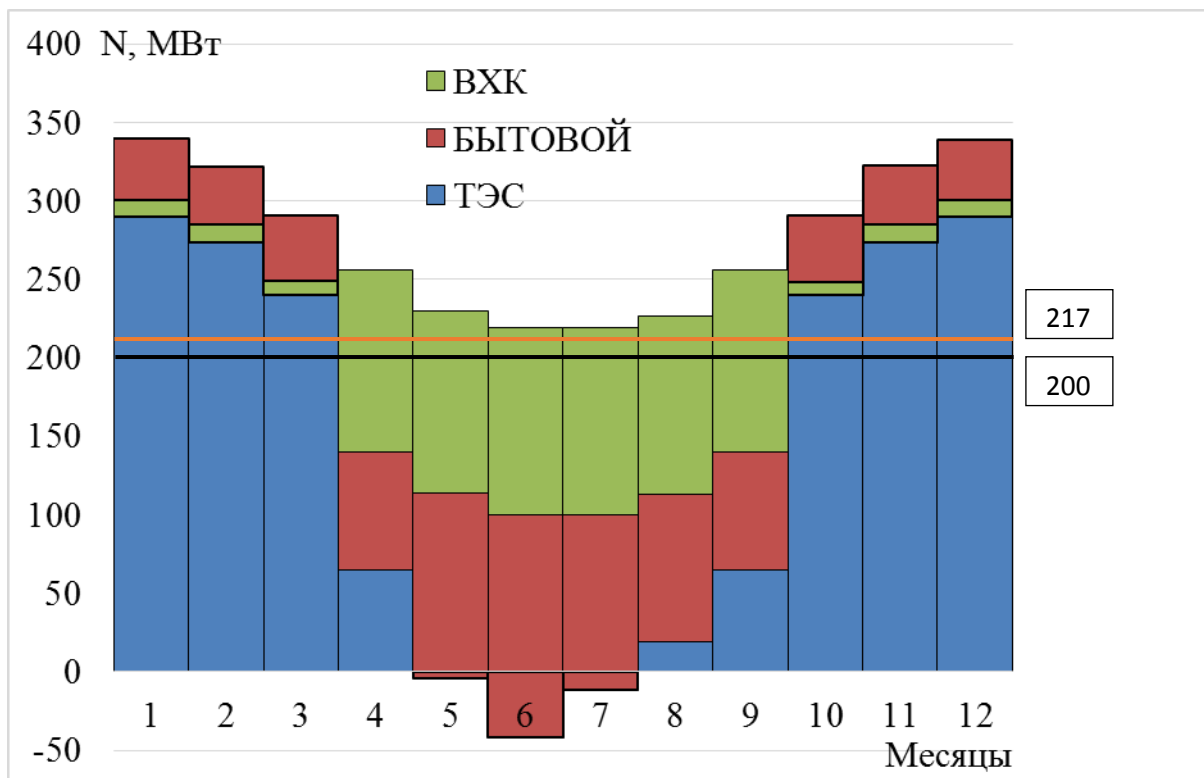


Рисунок 2.5— Баланс энергии

2.6 Интегральные кривые нагрузки

Интегральная кривая нагрузки (зима) представлена на рисунке 2.6.

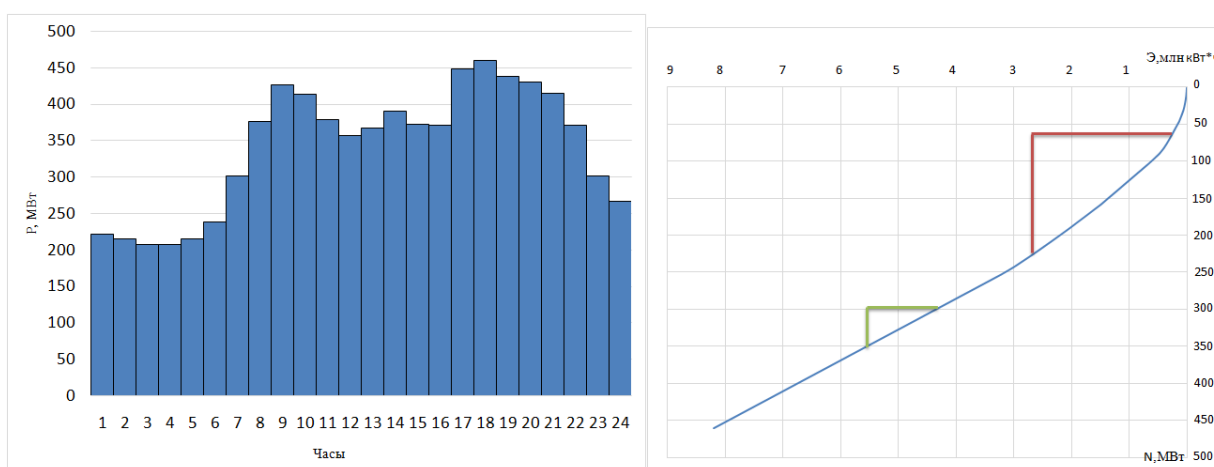


Рисунок 2.6 – Интегральная кривая нагрузки (зима)

Оба треугольника представляют Бий-Хемскую ГЭС с установленной зимней мощностью 207 МВт и выработкой 3672 МВт·ч.

-Треугольник, выделенный красным цветом: рабочая мощность 152 МВт, выработка 2448 МВт·ч.

-Треугольник, выделенный зелёным цветом: рабочая мощность 51 МВт, выработка 1224 МВт·ч.

Нагрузочный резерв: $203\text{МВт}\cdot 0,02 = 4\text{ МВт}$.

Интегральная кривая нагрузки (лето) представлена на рисунке 2.7.

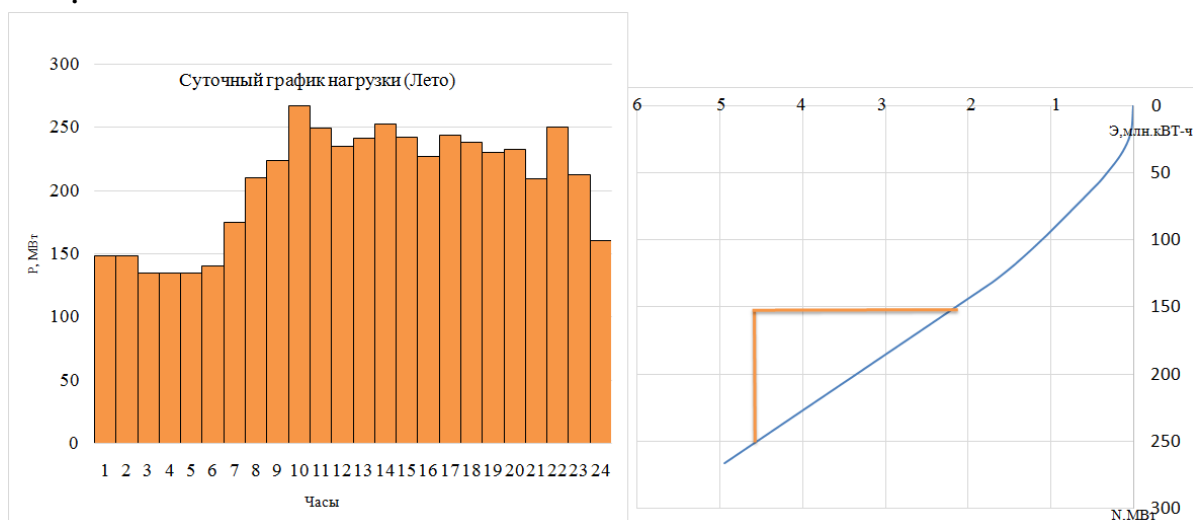


Рисунок 2.7— Интегральная кривая нагрузки (лето)

Треугольник представлет Бий-Хемскую ГЭС с установленной летней мощностью 108 МВт и выработкой 2544 МВт·ч .

-Треугольник, выделенный оранжевым цветом: рабочая мощность 106 МВт, выработка 2544 МВт·ч.

Нагрузочный резерв: $106\text{ МВт}\cdot 0,02 = 2\text{ МВт}$.

2.7 Водно-энергетический расчет

В результате водно-энергетического расчета по маловодному и средневодному годов [Приложение Г]. В маловодном году в X, III месяцах гарантированная мощность равна 103 МВт. В XI, II месяцах гарантированная мощность равна 133 МВт. В XII, I месяцах гарантированная мощность равна 153 МВт. Остальные месяцы работа производится по ВХК. Среднегодулетняя выработка средневодного года равна 1,0 млрд. кВт · ч.

2.8 Режимное поле

Режимное поле строится для определения допустимой работы проектируемой ГЭС с указанием линий ограничения различных режимов работы. Результаты расчетов представлены в приложении Д.

По полученным значениям построено режимное поле с учетом ограничений по мощности и пропускной способности. Режимное поле представлено в приложении Е.

По режимному полю определились следующие параметры:

- расчетный напор $H_p = 24$ м;
- минимальный напор $H_{\min} = 21$ м;
- максимальный напор $H_{\max} = 32,9$ м;

2.9 Баланс мощностей

При составлении баланса мощности энергосистемы учитываем, что нагрузочный резерв системы равен $2\% P_t^{\max}$, аварийный резерв составляет 10% от P_t^{\max} . Расчеты баланса мощностей представлены в приложении И. По результатам таблицы ... строиться баланс мощностей в энергосистеме в маловодном году [Приложение И].

3 Основное и вспомогательное оборудование

3.1 Выбор гидротурбины

Выбирается система и тип турбины, номинальный диаметр РК D_1 , частота вращения, чтобы при наименьших размерах турбины и генератора и наибольшем КПД обеспечить получение заданной номинальной мощности.

Исходные данные:

- Установленная мощность ГЭС: $N_{уст} = 212000$ кВт;
- Максимальный напор: $H_{max} = 32,9$ м;
- Расчетный напор: $H_p = 24$ м;
- Минимальный напор: $H_{min} = 21$ м.

Выбор типа турбины зависит от значения H_{max} , оно должно быть близко к $H_{пред}$. В соответствии с этим условием подходит реактивная турбина ПЛ40а-В и ПЛ40б-В (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Основные параметры турбины

ПЛ40а-В		ПЛ40б-В	
n'opt	125	n'opt	123
кпд	0,883	кпд	0,894
Q'	1,7	Q'	1,62
D1'	0,46	D1	0,46
H	4	H	4
v при 10°	1,3	v при 20°	1,01

Исходя из типа турбины по методическому пособию [2, стр. 141] берутся ряд диаметров D_1 для ПЛ 40:

Значения приводятся из расчета ПЛ40б-В, $D_1 = 5,6$ м. (для ПЛ40а-В расчет выполняется аналогично).

1.КПД для турбины каждого диаметра:

$$\eta_T = 1 - (1 - \eta_M) \cdot ((1 - 0,75) + 0,75 \cdot \left(D_{1m} \cdot \frac{1,3}{D_1} \cdot v\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{H_{мод}}{H_p}\right)^{0,1}, \quad (3.1)$$

где v - коэффициент кинематической вязкости воды от температуры [1, стр. 145], для ПЛ40а, $t_{мод}=10$ ° $v=1,3$ м²/с, для ПЛ40б, $t_{мод}=20$ ° $v=1,01$ м²/с.

$$\eta_T = 1 - (1 - 0,894) \cdot ((1 - 0,75) + 0,75 \cdot \left(0,46 \cdot \frac{1,3}{5,6} \cdot 1,01\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{4}{24}\right)^{0,1} = 0,93.$$

Мощность агрегата:

$$N^* = 9,81 \cdot Q' \cdot (D_1)^2 \cdot H_p \cdot (H_p)^{0,5} \cdot \eta_T \cdot 0,97; \quad (3.2)$$

$$N^* = 9,81 \cdot 1,62 \cdot (5,6)^2 \cdot 24 \cdot (24)^{0,5} \cdot 0,93 \cdot 0,97 = 52811 \text{ кВт}$$

Количество агрегатов:

$$Z = \frac{N_{уст}}{N^*}; \quad (3.3)$$

$$Z = \frac{212000}{52811} = 4,01 \approx 4$$

Мощность на каждом агрегате:

$$N = \frac{N_{уст}}{Z}; \quad (3.4)$$

$$N = \frac{212000}{4} = 53000 \text{ МВт}$$

Поправка КПД:

$$m = \frac{\eta_T}{\eta_M}; \quad (3.5)$$

$$m = \frac{0,93}{0,894} \approx 1,039$$

Частота вращения турбины:

$$n_{c1'} = \frac{n' \cdot (m \cdot H_p)^{0,5}}{D_1}; \quad (3.6)$$

$$n_{c1'} = \frac{123 \cdot (1,039 \cdot 24)^{0,5}}{5,6} \approx 109,7,$$

где $n' = n'_{opt}$

Полученное значение округляется до ближайшего значения синхронной частоты вращения, $n_{c1} = 115,4$.

Рассчитывается для каждого значения напора, чтобы получить рабочую зону на ГУХ. .

$$n'_{\min} = \frac{n_{\text{синх}} \cdot D_1}{(m \cdot H_{\max})^{0,5}} = \frac{115,4 \cdot 5,6}{(1,039 \cdot 32,9)^{0,5}} = 110,5 \quad (3.7)$$

$$n'_p = \frac{n_{\text{синх}} \cdot D_1}{(m \cdot H_p)^{0,5}} = \frac{115,4 \cdot 5,6}{(1,039 \cdot 24)^{0,5}} = 129,4 \quad (3.8)$$

$$n'_{\max} = \frac{n_{\text{синх}} \cdot D_1}{(m \cdot H_{\min})^{0,5}} = \frac{115,4 \cdot 5,6}{(1,039 \cdot 21)^{0,5}} = 138,3 \quad (3.9)$$

Определение расчетной точки турбины на ГУХ:

$$Q_p = \frac{N}{9,81 \cdot (D_1)^2 \cdot H_p \cdot \sqrt{H_p} \cdot 0,97} = \frac{53000}{9,81 \cdot (5,6)^2 \cdot 24 \cdot \sqrt{24} \cdot 0,97} = 1,51 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.10)$$

Далее определяется в какой точке ГУХ, расположенной на линии n'_p , произведение Q'_I и КПД модели отвечает условию $Q_p = 1,51 \text{ м}^3/\text{с}$.

$$Q'_I = 1,699 \text{ м}^3/\text{с} * \eta_M = 0,889 \approx 1,5104 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.11)$$

$$Q_{\min} = \frac{N}{9,81 \cdot (D_1)^2 \cdot H_{\max} \cdot \sqrt{H_{\max}} \cdot 0,97} = \frac{53000}{9,81 \cdot (5,6)^2 \cdot 32,9 \cdot \sqrt{32,9} \cdot 0,97} = 0,941 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.12)$$

На линии n'_{\min} отмечаем точку равную значению Q'_{\min} . Далее параллельно от ближайшей линии коэффициента кавитации σ соединяем n'_p и n'_{\max} и находим Q'_{\max}

$$Q_{\max} = 1,662 \text{ м}^3/\text{с}$$

Линия ограничения по ВХК.

$$Q'_{\min} = \frac{Q_{\text{ВХК}}}{Z_a \cdot (D_1)^2 \cdot \sqrt{H_{\min}} \cdot m} = \frac{208}{2 \cdot (5,6)^2 \cdot \sqrt{21} \cdot 1,039} = 0,710 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.13)$$

где $Z_a=2$ - число агрегатов участвующих в пропуске $Q_{\text{ВХК}}$;

$Q_{\text{ВХК}}=208 \text{ м}^3/\text{с}$ - расход ВХК.

$$Q'_{\max} = \frac{Q_{\text{ВХК}}}{Z_a \cdot (D_1)^2 \cdot \sqrt{H_{\max}} \cdot m} = \frac{208}{2 \cdot (5,6)^2 \cdot \sqrt{32,9} \cdot 1,039} = 0,567 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.14)$$

Все расчеты проведены в Microsoft Excel и приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Подбор турбины

$D_1, \text{м}$	5	5,6	6	6,3
КПД турбины	0,960	0,960	0,961	0,961
$N^*, \text{МВт}$	118,9	149,3	171,4	189,0
Z^*	5,24	4,18	3,64	3,30
Z	6	4	4	4
$N, \text{кВт}$	103950,0	155925,0	155925,0	155925,0
m_1	1,044	1,044	1,044	1,045
n_{c1}'	129,5	115,6	107,9	102,8
n_{c1}	136,4	125,0	115,4	107,1
n'_{\max}	77,8	79,9	79,0	77,0
n'_p	87,4	89,7	88,7	86,5
n'_{\min}	92,8	95,2	94,1	91,7
Q'_p	0,982	1,174	1,044	0,927
Q'_{\max}	0,692	0,828	0,721	0,654
Q'_{\min}	1,172	1,402	1,221	1,107

На данном этапе самым лучше вариантом является турбины ПЛ40б-В-560 и ПЛ40а-В-560, исходя из того, что её рабочая зона находится в оптимальной зоне.

Высота отсасывания для ПЛ40б-В-560:

Расчетный расход:

$$Q_1 = Q_{\min} \cdot Z_a \cdot (D_1)^2 \cdot \sqrt{H_{\max} \cdot m} = 0,94 \cdot 2 \cdot (5,6)^2 \cdot \sqrt{32,9 \cdot 1,039} = 345,2 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (3.15)$$

$$Q_2 = Q'_I \cdot Z_a \cdot (D_1)^2 \cdot \sqrt{H_p \cdot m} = 1,699 \cdot 2 \cdot (5,6)^2 \cdot \sqrt{24 \cdot 1,039} = 529,4 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (3.16)$$

$$Q_3 = Q_{\max} \cdot Z_a \cdot (D_1)^2 \cdot \sqrt{H_{\min} \cdot m} = 1,66 \cdot 2 \cdot (5,6)^2 \cdot \sqrt{21 \cdot 1,039} = 486,4 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.17)$$

Высота отсасывания $H_s^{\text{доп}}$ для турбины ПЛ40б-В-560:

$$H_s^{\text{доп}} = 10,3 - \frac{\nabla}{900} - \sigma \cdot H - \Delta H_s, \quad (3.18)$$

где ∇ – отметка расположения рабочего колеса;

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

$$H_{s1}^{\text{доп}} = 10,3 - \frac{708,52}{900} - 0,21 \cdot 32,9 - 1,5 = 1,10\text{м};$$

$$H_{s2}^{\text{доп}} = 10,3 - \frac{709,71}{900} - 0,6 \cdot 24 - 1,5 = -6,39\text{м};$$

$$H_{s3}^{\text{доп}} = 10,3 - \frac{708,83}{900} - 0,575 \cdot 21 - 1,5 = -5,79\text{м}.$$

Рассчитанные высоты отсасывания и расчетные расходы заносятся в таблицу 3.3:

Таблица 3.3-Высота отсасывания

ПЛ40б-В			
D1=5,6	1	2	3
Q	345,2	529,4	486,4
H _s	1,1	-6,39	-5,79
ПЛ40а-В			
D1=5,6	1	2	3
Q	346,2	534	487,8
H _s	-0,21	-8,07	-6,06

Высоты отсасывания для ПЛ40а-В-560 рассчитываются аналогично.

Турбина ПЛ40б-В-560 удовлетворяет следующим требованиям:

- значение КПД в расчетной точке достаточно велико;
- рабочая зона на ГУХ расположена так, что расчетная точка находится между линиями n'_p и n'_{\min} , и не пересекает линию ограничения;
- высота отсасывания соответствует допустимой (6-8м).

Для дальнейшего расчета принимается турбина ПЛ40б-В-560

3.2 Выбор отметки установки рабочего колеса

Отметка установки РК:

$$\nabla Z_{p,k} = Z_{\text{НБ}} + H_s = 709,81 - 6,39 = 703,42 \text{ м} \quad (3.19)$$

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

3.3 Расчет и построение бетонной спиральной камеры

Исходные данные:

- Максимальный напор: $H_{\text{max}} = 32,9$ м;
- Расчетный напор: $H_p = 24$ м;
- Минимальный напор: $H_{\text{min}} = 21$ м;

- Максимальная мощность $N_{\max}=53000$ кВт;
- $D_1 = 5,6$ м;
- $Q'_{I\max}= 1510$ м³/с;
- $\eta= 0,93$;

Для турбины ПЛ406-В-560, принимается бетонная спиральная с углом охвата $\varphi=225^\circ$.

Полный расход через турбину при расчетных значениях H_p и мощности:

$$Q_0 = \frac{N_{\max}}{9,81 \cdot \eta \cdot H_p} = \frac{5300}{9,81 \cdot 0,93 \cdot 24} = 242 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.20)$$

Расход через входное сечение:

$$Q_{\text{вх}} = \frac{Q_0 \cdot 225}{36} = \frac{242 \cdot 225}{36} = 151 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.21)$$

Средняя скорость во входном сечении для ПЛ(рисунок 3.1) равна 4,7м/с, при этом скоростной коэффициент:

$$k_c = \frac{V_{\text{ср}}}{\sqrt{H_p}} = \frac{4,7}{24} = 0,96 \quad (3.22)$$

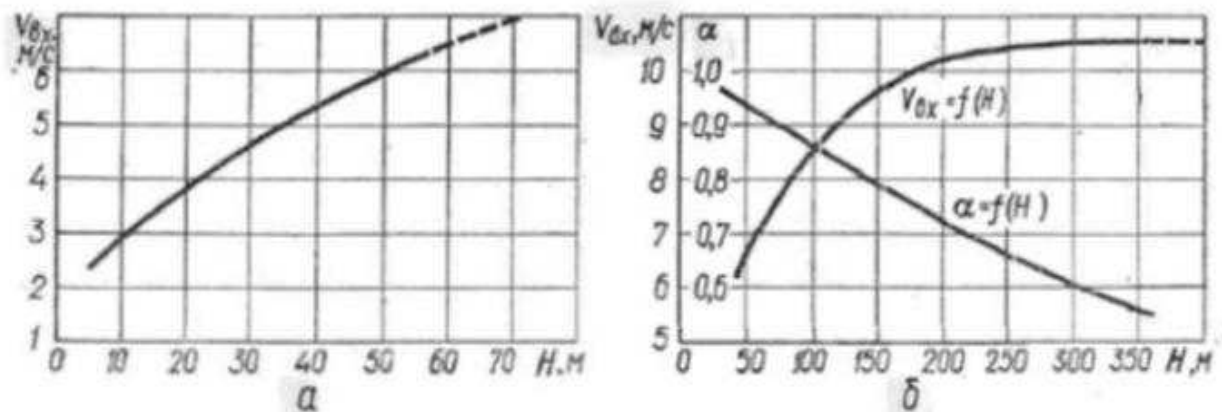


Рисунок 3.1 Рекомендуемые значения скорости и скоростного коэффициента во входном сечении спиральной камеры:
а – осевые турбины, б – РО турбины

Площадь входного сечения СК:

$$F_{\text{вх}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{V_{\text{ср}}} = \frac{151}{4,7} = 32,2 \text{ м}^2 \quad (3.23)$$

Наружный радиус входного сечения определяется по ГУХ:

$$r_{\text{вх}} = 1,578 \cdot D_1 = 1,57 \cdot 5,6 = 8,8 \text{ м} \quad (3.24)$$

Размеры статора:

$$r_a = 4,56\text{м}$$

$$r_b = 3,86\text{м}$$

$$D_0 = 6,5\text{м}$$

$$\gamma = 15^\circ$$

$$a_{\text{ВХ}} = r_{\text{ВХ}} - r_a = 8,8 - 4,56 = 4,24 \text{ м} \quad (3.25)$$

Высота направляющего аппарата по эскизу [Приложение И]:

$$b_0 = 0,375 \cdot D_1 = 0,375 \cdot 5,6 = 2,1 \text{ м} \quad (3.26)$$

Высота входного сечения $b_{\text{ВХ}}$ определяется из решения квадратного уравнения:

$$F_{\text{ВХ}} = b_0(r_a - r_b) + (r_{\text{ВХ}} - r_a)b_{\text{ВХ}} - \frac{(b_{\text{ВХ}} - b_0)^2}{2} \text{tg}15^\circ = 2,1(4,56 - 3,86) + (8,8 - 4,56)b_{\text{ВХ}} - \frac{(b_{\text{ВХ}} - 2,1)^2}{2} 0,268 = 32,2; \quad (3.27)$$

$$0,134b_{\text{ВХ}}^2 - 4,6b_{\text{ВХ}} + 31,31 = 0. \quad (3.28)$$

Отбрасывая один корень получается, что $b_{\text{ВХ}} = 9,35\text{м}$, а отношение:

$$\frac{b_{\text{ВХ}}}{a_{\text{ВХ}}} = 2,21 \quad (3.29)$$

Остальной расчет спиральной камеры выполнен аналитическим методом, и сведен в таблицу 3.4:

Таблица 3.4 – Данные для построение бетонной спиральной камеры

Величина	Сечения											
	ВХ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ВЫХ
ri	8,80	8,35	7,90	7,45	7,00	6,56	6,11	5,66	5,21	4,76	4,31	3,86
bi	9,35	7,90	6,60	5,48	4,51	3,71	3,06	2,59	2,27	2,12	2,13	2,30
ai	4,24	3,79	3,34	2,89	2,44	2,00	1,55	1,10	0,65	0,20	-0,25	-0,70
rk	6,50	6,11	5,77	5,46	5,21	4,99	4,82	4,69	4,61	4,56	4,57	4,61
rk/ra	1,43	1,34	1,26	1,20	1,14	1,09	1,06	1,03	1,01	1,00	1,00	1,01
ln (rk/ra)	0,35	0,29	0,23	0,18	0,13	0,09	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
ri/ra	1,93	1,83	1,73	1,63	1,54	1,44	1,34	1,24	1,14	1,04	0,95	0,85
ln (ri/ra)	0,66	0,61	0,55	0,49	0,43	0,36	0,29	0,22	0,13	0,04	-0,06	-0,17
b*ln (ri/ra)	6,15	4,78	3,63	2,69	1,94	1,34	0,89	0,56	0,30	0,09	-0,12	-0,38
rk*ctgy	24,3	22,80	21,51	20,38	19,4	18,6	17,9	17,4	17,1	17,0	17,0	17,21
rk*ctgy*ln(rk/ra)	8,61	6,68	5,05	3,69	2,57	1,68	0,99	0,49	0,17	0,02	0,03	0,20
mi	7,25	5,80	4,50	3,38	2,41	1,61	0,96	0,49	0,17	0,02	0,03	0,20
Ji	5,14	4,24	3,43	2,73	2,12	1,62	1,22	0,90	0,65	0,44	0,23	-0,03

Продолжение таблицы 3.4

φ_i	225,0	185,6	150,3	119,4	92,9	71,0	53,3	39,4	28,5	19,2	10,0	-1,46
Q_i	151	125	101	80	63	48	36	27	19	13	7	-1

На рисунке 3.2, исходя из полученных значений строится зависимость $\varphi_i = f(r_i)$.

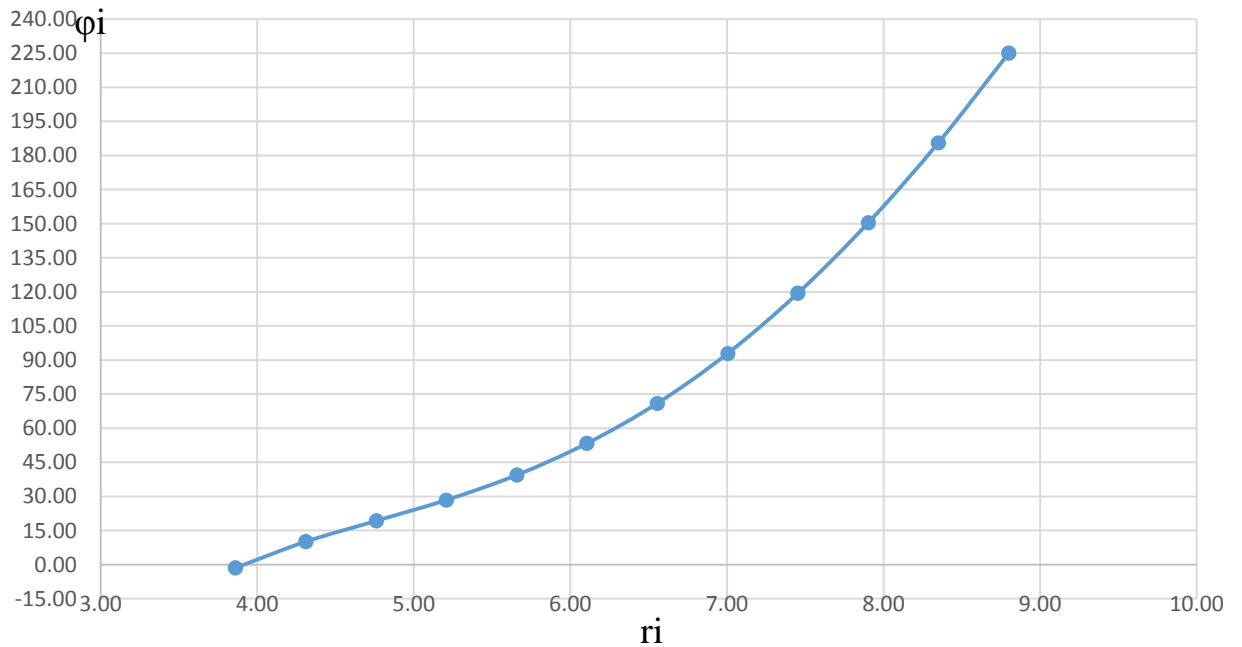


Рисунок 3.2 Зависимость $\varphi_i = f(r_i)$

В завершении расчета выполняется чертеж бетонной спиральной камеры (рисунок 3.3).

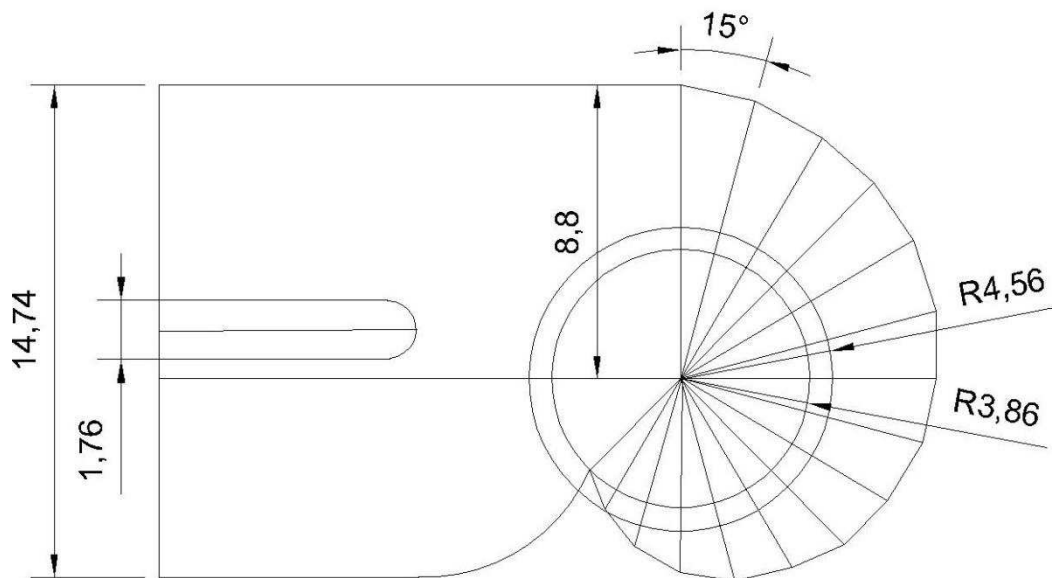


Рисунок 3.3 Чертеж бетонной спиральной камеры

3.4 Расчет отсасывающей трубы

Входное сечение конуса:

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

где $D_r = 0,957 \cdot D_1 = 5,4$ м.

$$F_{1-1} = \frac{3,14 \cdot 5,4^2}{4} = 22,5 \text{ м}^2$$

Входное сечение колена:

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

где $D_{\text{вх.к}} = 1,25 \cdot D_1 = 7,0$ м

$$F_{2-2} = \frac{3,14 \cdot 7,0^2}{4} = 38,5 \text{ м}^2.$$

Выходное сечение колена:

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

где $h_3 = 0,645 \cdot D_1 = 3,6$ м; $B = 2,885 \cdot D_1 = 16,2$ м.

$$F_{3-3} = 3,6 \cdot 16,2 = 58,4 \text{ м}^2.$$

Выходное сечение диффузора:

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

где $h_4 = 1,339 \cdot D_1 = 7,5$ м. (3.34)

$$F_{4-4} = 2 \cdot 7,5 \cdot \frac{16,2}{2} = 110,4 \text{ м}^2.$$

Рассчитываются средние меридианные скорости $V_{\text{опт}}$, V_{max} и средние кинетические энергии потока $E_{\text{опт}}$ и E_{max} для режима при H_p и режима максимального расхода для всех сечений отсасывающей трубы:

$$V_{i-i \text{ опт}} = \frac{Q_k}{F_i} = \frac{242}{22,5} = 10,7 \text{ м/с}, \quad (3.35)$$

где

$$Q_k = \frac{N}{9,81 \cdot \eta \cdot H_p} = \frac{5300}{9,81 \cdot 0,93 \cdot 24} = 242 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.36)$$

$$V_{i-i \max} = \frac{Q_{\max}}{F_i} = \frac{251,8}{22,5} = 11,2 \text{ м/с}; \quad (3.37)$$

где

$$Q_{\max} = \frac{N}{9,81 \cdot \eta_M \cdot H_p} = \frac{5300}{9,81 \cdot 0,894 \cdot 24} = 251,8 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.38)$$

$$E_{i-i \text{ опт}} = \frac{100 \cdot V_{\text{опт}}^2}{2 \cdot g \cdot H_p} = \frac{100 \cdot 10,7^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 24} = 24,5; \quad (3.39)$$

$$E_{i-i \max} = \frac{100 \cdot V_{\max}^2}{2 \cdot g \cdot H_p} = \frac{100 \cdot 11,2^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 24} = 26,5 \quad (3.40)$$

Рассчитанные данные заносятся в таблицу в таблицу 3.5.

Таблица 3.5- Средние меридианные скорости и кинетические энергии

Сечения	Fi-i	V опт	Vi max	E опт	E max	li
1-1	22,5	10,7	11,2	24,5	26,5	0
2-2	38,5	6,3	6,5	8,4	9,1	6,7
3-3	58,4	4,1	4,3	3,7	4	14,9
4-4	110,4	2,2	2,3	1	1,1	40,4

По полученным данным строятся графики изменения средней меридианной скорости и средней кинетической энергии потока для режима при H_p и режима максимального расхода (рисунки 3.4 и 3.5):

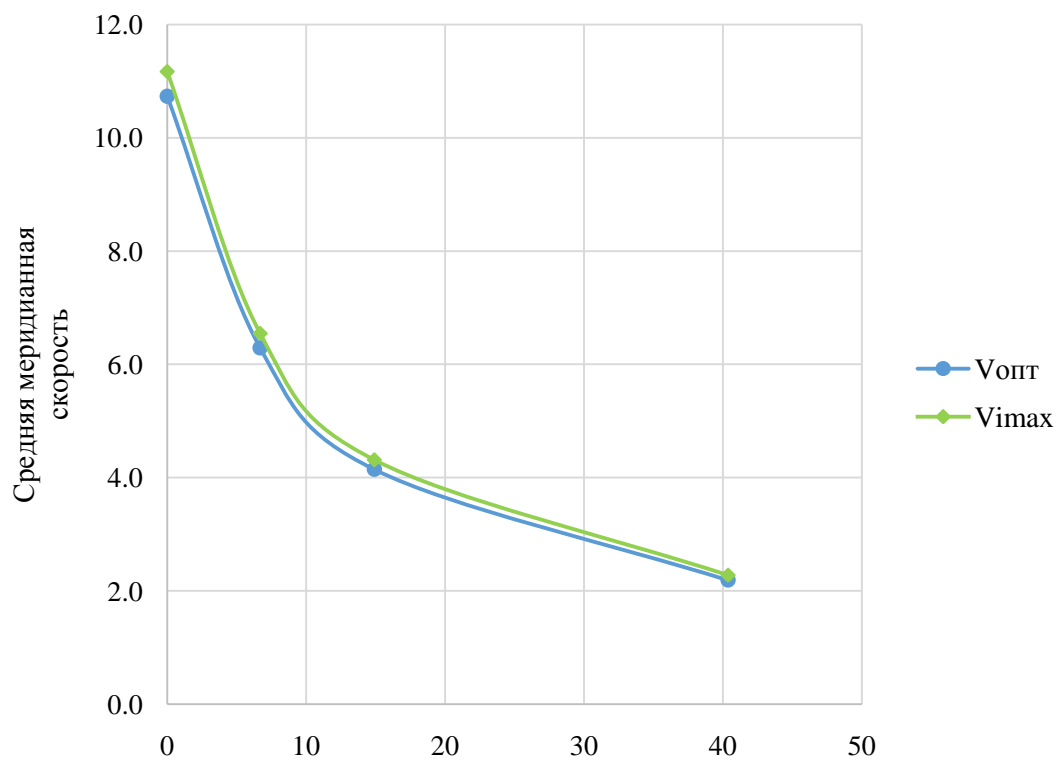


Рисунок 3.4- Изменение средней меридианной скорости

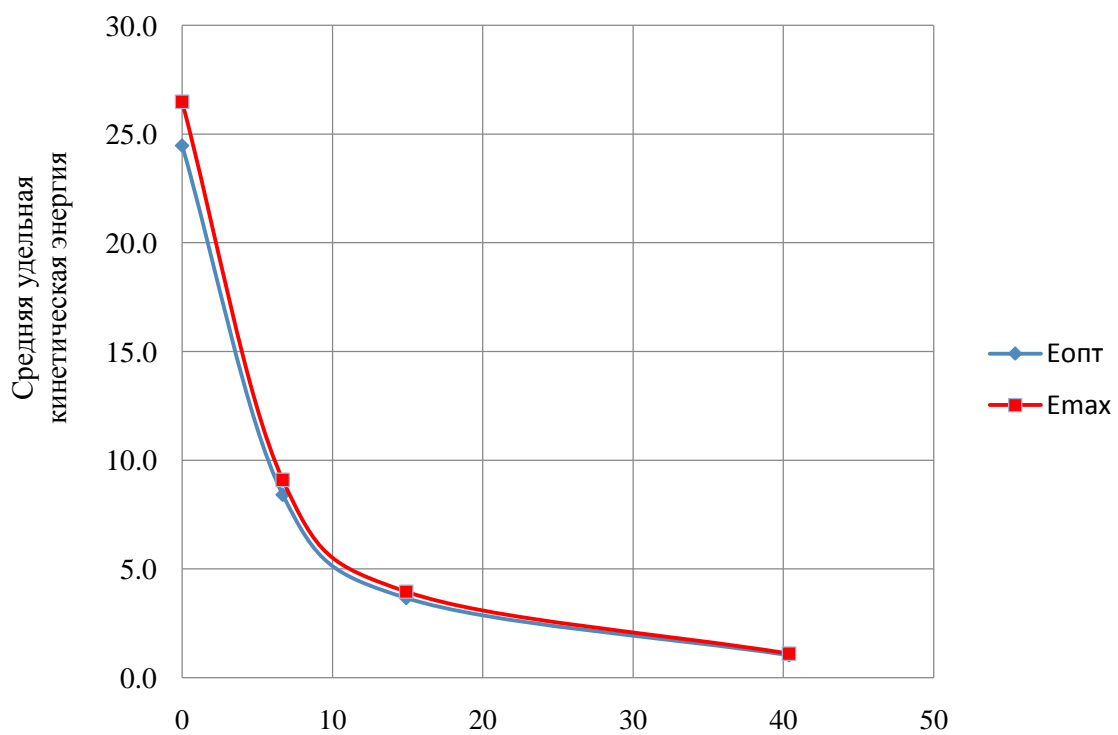


Рисунок 3.5- Изменение средней кинетической энергии потока

3.5 Требования к гидрогенератору

Номинальная мощность гидрогенератора:

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{N}{\cos \varphi} = \frac{53000}{0,9} = 58889 \text{ кВт}, \quad (3.41)$$

где $\cos \varphi = 0,9$.

Число полюсов гидрогенератора:

$$p = \frac{2 \cdot f \cdot 60}{n_c} \quad (3.42)$$

где n_c – синхронная частота гидрогенератора.

Номинальная кажущаяся мощность:

$$S_{\text{Н}} = \frac{N_{\text{ген}}}{\cos \varphi} = \frac{51,94}{0,9} = 57,71 \text{ МВ}. \quad (3.43)$$

Расчетная мощность:

$$S_p = k S_{\text{Н}} = 1,06 \cdot 57,71 = 61 \text{ МВ} \cdot \text{А}, \quad (3.44)$$

где k – коэффициент, зависящий от $\cos \varphi$.

Число полюсов:

$$2p = \frac{2 \cdot f \cdot 60}{n_c} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 60}{115,4} = 52; \quad (3.45)$$

Удельная нагрузка:

$$S^* = \frac{S_{\text{Н}}}{2p} = \frac{57,71}{52} = 1,1 \text{ МВ} \cdot \text{А}. \quad (3.46)$$

Полюсное деление зависит от удельной нагрузки и способа охлаждения:

$$\tau^* = AS^{*\alpha} = 0,451 \cdot 1,1^{0,239} = 0,46 \text{ м}, \quad (3.47)$$

где A и α – эмпирические коэффициенты ($A = 0,451$; $\alpha = 0,239$).

Диаметр ротора:

$$D_i = \frac{\tau^* \cdot 2p}{\pi} = \frac{0,46 \cdot 52}{3,14} = 7,65 \text{ м.} \quad (3.48)$$

Предельная окружная скорость:

$$u_{\text{пр}} = \frac{\pi D_i k_{\text{разг}} n_c}{60} = \frac{3,14 \cdot 7,65 \cdot 2,3 \cdot 115,4}{60} = 106,34 \text{ м/с,} \quad (3.49)$$

где $k_{\text{разг}}$ – коэффициент разгона определяется по форму.

$$k_{\text{разг}} = \frac{n_{\text{Iразг}}}{n_{\text{I0}}} = \frac{265,42}{115,4} = 2,3. \quad (3.50)$$

При $D_i = 7,65$ м предельная окружная скорость ротора в разгонном режиме не превышает допустимых значений (160м/с).

Диаметр шахты ориентировочно принимаем равным внутреннему диаметру кромок статора турбины, $D_{\text{ш}}=7,34$ м.

Для определения высоты активной стали необходимо найти «условный объем машины»:

$$W_S = D_i^2 l_a = \frac{30 C_a S_p}{\pi n_0}, \quad (3.51)$$

где C_a – коэффициент машины, зависящий от удельной нагрузки на полюс S^* и способ охлаждения, определяется по формуле:

$$C_a = \frac{R}{S^{*y}} = \frac{8,9}{1,1^{0,105}} = 8,8 \quad (3.52)$$

Высота активной стали:

$$l_a = \frac{W_S}{D_i^2} = \frac{30 C_a S_p}{\pi n_0 D_i^2} = \frac{30 \cdot 8,8 \cdot 61}{3,14 \cdot 115,4 \cdot 7,65^2} = 0,8 \text{ м.} \quad (3.53)$$

После определения D_i и l_a выясняется конструктивное исполнение генератора: при $\frac{D_i}{l_a} > 5$ и $n_c < 150 \text{ мин}^{-1}$ рекомендуется принимать зонтичное исполнение.

Генератор выбирается исходя из синхронной частоты вращения 115,4 об/мин, высоты активной стали $l_a = 0,8$, числа пар полюсов 26 и диаметра ротора $D_i = 7,65$ м: СВ 765/80-26.

3.6 Расчет вала на прочность

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

Рассчитывается наружный диаметр вала:

$$D_B^* \geq \left(5,1 \cdot \frac{M_{кр}}{[\tau_{доп}]}\right)^{0,33}, \quad (3.54)$$

где $\tau_{доп} = 30 - 35$ мПа, а крутящий момент определяется:

$$M_{кр} = 0,00974 \cdot \frac{N}{n_{синх}} = 0,00974 \cdot \frac{53000}{115,4} = 4,47 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (3.55)$$

$$D_B^* = \left(5,1 \cdot \frac{13,16}{[30]}\right)^{0,33} = 0,913 \text{ м.}$$

Полученное значение округляется до 0,915 м. (при $D_B^* \leq 1000$, кратное 50 мм)

3.7 Выбор МНУ и ЭГР

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

Маслonaпорная установка выбирается по учебнику Д.С. Щавелева [1, с. 144 по рисунку 10.9]. Выбор производится исходя из N_{max} и D_1 . В результате получается МНУ 8/1-40-8-2.

Электрогидравлический регулятор (ЭГР) выбирается по таблице 9.2. [1, стр.

4 Компонировка и сооружения гидроузла

4.1 Состав и компоновка сооружений гидроузла

Проектируемый гидроузел энергетического назначения. Соотношение длины гребня на отметки НПУ и высоты проектируемого гидроузла ($\frac{l_{\text{НПУ}}}{h} = \frac{372}{34} = 10,9 > 10$), позволяет возводить в выбранном створе гравитационные или контрфорсные плотины. С учетом того, что гравитационные плотины являются наиболее экономичными, будет проектироваться в составе напорного фронта, кроме здания ГЭС, бетонная гравитационная плотина. Пропуск строительных расходов будет производиться через гребенку.

4.1.1 Проектирование сооружений напорного фронта

Определение отметки гребня плотины

Отметка гребня бетонной плотины с вертикальной напорной гранью:

$$\nabla_{\text{ГБП}} = \nabla_{\text{НПУ}} + h_{1\%} + a = 740 + 0,66 + 0,4 = 741,06 \text{ м}; \quad (4.1)$$

$$\nabla_{\text{ГБП}} = \nabla_{\text{ФПУ}} + h_{1\%} + a = 743 + 0,46 + 0,4 = 743,86 \text{ м}; \quad (4.2)$$

$$\nabla_{\text{ГБП}} = \nabla_{\text{ГВ}} + 1,6 \cdot H_{\text{ст}} = 728 + 1,6 \cdot 12 = 747,2 \text{ м}, \quad (4.3)$$

где a - величина запаса (для III класса сооружения $a = 0,4 \text{ м}$).

После проведения гидравлических расчетов и определения отметки гребня быка , устанавливается проектная отметка плотины, выбирается наибольшая из вычисленных $\nabla_{\text{ГБП}}$.

Основное сочетание нагрузок:

$V_w = 20 \text{ м/с}$ – расчётная скорость на высоте 10 м над уровнем воды, с вероятности превышения 2 % (для сооружения III класса).

L – длина разгона волны; $L = 700 \text{ м}$. (определяется при помощи программы GoogleEarth для Бий-Хемской области);

Условная расчётная глубина воды в водохранилище:

$$d = \frac{\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дна}}}{2} = \frac{740 - 706}{2} = 17 \text{ м}. \quad (4.4)$$

Высота волны 1% обеспеченности для основного и поверочного случаев:

Вычисляются безразмерные параметры $\frac{g \cdot d}{V_w}$, $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$ и, где t – период развития волн на водохранилище, $t=6 \text{ ч} = 21600 \text{ с}$.

$$\frac{g \cdot L}{V_w^2} = \frac{9,81 \cdot 700}{20^2} = 17,2 ; \quad (4.5)$$

$$\frac{g \cdot t}{V_w} = \frac{9,81 \cdot 21600}{20} = 10594,8. \quad (4.6)$$

По графику ([6], рисунок 1) по верхней огибающей кривой (для глубокой воды) и безразмерным комплексам $\frac{g \cdot t}{V_w}$, $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$, определяются параметры $\frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2}$ и $\frac{g \cdot \bar{T}}{V_w}$:

$$\text{При } \frac{g \cdot L}{V_w^2} = 17,2 \quad \frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2} = 0,008 \text{ и } \frac{g \cdot \bar{T}}{V_w} = 0,95 \quad (4.7)$$

$$\text{При } \frac{g \cdot t}{V_w} = 10594,8 \quad \frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2} = 0,08 \text{ и } \frac{g \cdot \bar{T}}{V_w} = 4 \quad (4.8)$$

Используя меньшие из полученных значений $\frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2}$ и $\frac{g \cdot \bar{T}}{V_w}$, вычисляется период волны \bar{T} и средняя высота волны \bar{h} :

$$\bar{h} = \frac{0,0158 \cdot v^2}{g} = \frac{0,008 \cdot 20^2}{9,81} = 0,33 \text{ м}; \quad (4.9)$$

$$\bar{T} = \frac{0,95 \cdot v}{g} = \frac{0,95 \cdot 20}{9,81} = 1,94 \text{ с}. \quad (4.10)$$

Средняя длина волны:

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2 \cdot \pi} = \frac{9,81 \cdot 1,94^2}{2 \cdot 3,14} = 5,86 \text{ м}. \quad (4.11)$$

Проверяется условие для глубоководной зоны водохранилища :

$$d > 0,5 \cdot \bar{\lambda}_d , \quad (4.12)$$

$17 \text{ м} > 0,5 \cdot 5,86 = 2,93 \text{ м}$, условие выполнено.

Высота волны 1 % обеспеченности:

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot K_i = 0,33 \cdot 2,0 = 0,66 \text{ м}, \quad (4.13)$$

где $K_i = 2,0$ – коэффициент, принимаемый ([6] рисунок 2) в зависимости от значения $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$.

Особое сочетание нагрузок:

Где $V_w = 15$ м/с – расчётная скорость ветра на высоте 10 м над уровнем воды для 30% обеспеченности, м/с; $L = 643$ м. (определяется при помощи программы GoogleEarth для Бий-Хемской области), м(При ФПУ) ;

Условная расчётная глубина воды в водохранилище:

$$d = \frac{V_{\text{ФПУ}} - V_{\text{дна}}}{2} = \frac{743 - 706}{2} = 18,5 \text{ м.} \quad (4.14)$$

Вычисляются безразмерные параметры $\frac{g \cdot d}{V_w^2}$, $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$,

$$\frac{g \cdot L}{V_w^2} = \frac{9,81 \cdot 643}{15^2} = 28,03 ; \quad (4.15)$$

$$\frac{g \cdot t}{V_w} = \frac{9,81 \cdot 21600}{15} = 14126,4. \quad (4.16)$$

По графику по верхней огибающей кривой (для глубокой воды), используя значения $\frac{g \cdot t}{V_w}$, $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$ определяются параметры $\frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2}$ и $\frac{g \cdot \bar{T}}{V_w}$.

$$\text{При } \frac{g \cdot L}{V_w^2} = 28,03 \quad \frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2} = 0,01 \text{ и } \frac{g \cdot \bar{T}}{V_w} = 1,1 \quad (4.17)$$

$$\text{При } \frac{g \cdot t}{V_w} = 14126,4 \quad \frac{g \cdot \bar{h}}{V_w^2} = 0,9 \text{ и } \frac{g \cdot \bar{T}}{V_w} = 4,3 \quad (4.18)$$

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

$$\bar{h} = \frac{0,01 \cdot v^2}{g} = \frac{0,01 \cdot 15^2}{9,81} = 0,23 \text{ м,} \quad (4.19)$$

$$\bar{T} = \frac{1,1 \cdot v}{g} = \frac{1,1 \cdot 15}{9,81} = 1,68 \text{ с,} \quad (4.20)$$

Средняя длина волны:

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2 \cdot \pi} = \frac{9,81 \cdot 1,68^2}{2 \cdot 3,14} = 4,42 \text{ м.} \quad (4.21)$$

Проверяется условие для глубоководной зоны водохранилища :

$$d > 0,5 \cdot \bar{\lambda}_d, \quad (4.22)$$

18,5 м > 0,5 · 4,42 = 2,21 м, условие выполнено.

Высота волны 1 % обеспеченности:

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot K_i = 0,23 \cdot 2,0 = 0,46 \text{ м,} \quad (4.23)$$

где $K_i = 2,0$ – коэффициент, принимаемый ([6] рисунок 2) в зависимости от значения $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$.

4.2 Гидравлические расчеты

4.2.1 Определение ширины водосливного фронта

Расчетный расход через водосливную плотину:

$$Q_p = Q_{\max}^{P=0,1\%} - Q_{\text{ГЭС}} \quad (4.24)$$

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

$$Q_{\text{ГЭС}} = (n_{\text{га}} - 1) \cdot Q_{\text{га}} = (4 - 1) \cdot 246,5 = 793,5 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.25)$$

$$Q_p = 3707 - 793,5 = 2913,5 \text{ м}^3/\text{с}$$

Ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{Q_p}{q_B} \quad (4.26)$$

Отметка уровня нижнего бьефа при расходе основного расчетного случая (3707 м³/с), равна $\nabla \text{УНБ} = 721 \text{ м}$.

Глубина воды в нижнем бьефе:

$$h_{нб} = \nabla \text{УНБ} - \nabla_{\text{дно}} = 721 - 706 = 15 \text{ м} \quad (4.27)$$

Удельный расход на рисберме:

$$q_p = V_h \cdot h_{нб} = 5 \cdot 15 = 75 \text{ м}^2/\text{с}, \quad (4.28)$$

где $V_h = 5 \text{ м/с}$ – допустимая скорость на скальном основании.

Удельный расход на водосливе:

$$q_b = 1,25 \cdot q_p = 1,25 \cdot 75 = 93,75 \text{ м}^2/\text{с} \quad (4.29)$$

Ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{Q_p}{q_b} = \frac{2913,5}{93,75} = 31,08 \text{ м}. \quad (4.30)$$

Ширина водосливного фронта должна быть целым числом, округляем до 32 м.

$$B = b \cdot n, \quad (4.31)$$

где n – количество пролетов;

b – стандартная ширина пролета, принимаемая в соответствии с техническим регламентом, $b = 12 \text{ м}$.

Тогда количество водосливных пролетов:

$$n = \frac{B}{b} = \frac{32}{12} = 2,7 \approx 3 \text{ пролета} \quad (4.32)$$

Ширина водосливного фронта:

$$B = 12 \cdot 3 = 36 \text{ м}.$$

4.2.2 Определение отметки гребня водослива

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

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

$$H_{01} = \left(\frac{Q_p}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{2913,5}{0,49 \cdot 36 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 11,16 \text{ м} \quad (4.33)$$

$$H_{02} = \left(\frac{Q_p}{m \cdot B \cdot \varepsilon \cdot \sigma_{\Pi} \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{2913,5}{0,49 \cdot 36 \cdot 0,90 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 11,93 \text{ м}, \quad (4.34)$$

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

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{\xi \cdot (n - 1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b} = 1 - 0,2 \cdot \frac{0,7 \cdot (3 - 1) \cdot 0,45}{3} \cdot \frac{11,16}{12} = 0,90, \quad (4.35)$$

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

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

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

Площадь живого сечения для прямоугольного русла:

$$\omega = (\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дно}}) \cdot [B + (n - 1) \cdot \delta_6] = (740 - 706) \cdot [36 + (3 - 1) \cdot 3,5] = 1462 \text{ м}^2 \quad (4.36)$$

Толщина разрезного быка согласно рекомендации А.Р. Березинского:

$$\delta_6 = 0,25 \cdot b + 1 = 0,25 \cdot 12 + 0,5 = 3,5 \text{ м} \quad (4.37)$$

$$4ВН_{02} = 4 \cdot [36 + (3 - 1) \cdot 3,5] \cdot 11,93 = 2052 \text{ м}^2 \quad (4.38)$$

$\omega > 4ВН$ условие выполняется, следовательно, $H = H_{02} = 11,93 \text{ м}$.

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

Отметка гребня водослива:

$$\nabla_{\text{ГВ}} = \nabla_{\text{НПУ}} - H_{\text{ст}} = 740 - 12 = 728 \text{ м} \quad (4.39)$$

4.2.3 Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае

Максимальный расход для поверочного расчетного случая обеспеченностью $P = 0,5 \%$ определен по результатам гидрологических расчетов.

Расход через водослив при поверочном расчетном случае:

$$Q_{\text{пов.}} = Q_{\text{пов.макс}} - Q_{\text{га}} \cdot (n_{\text{га}} - 1) = 5075 - 264,5 \cdot (4 - 1) = 4281,5 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.40)$$

Напор на водосливе для поверочного расчетного случая определяется методом приближений.

Полный напор без учета сжатия и подтопления:

$$H_{01 \text{ пов}} = \left(\frac{Q_{\text{пов}}}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{4281,5}{0,49 \cdot 36 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 14,43 \text{ м} \quad (4.41)$$

Полный напор с учетом сжатия и подтопления:

$$H_{02 \text{ пов}} = \left(\frac{Q_{\text{пов}}}{m \cdot B \cdot \varepsilon \cdot \sigma_{\text{п}} \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{4281,5}{0,49 \cdot 36 \cdot 0,90 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} = 15,43 \text{ м} \quad (4.42)$$

Коэффициент бокового сжатия:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{\xi \cdot (n - 1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01 \text{ пов}}}{b} = 1 - 0,2 \cdot \frac{0,7 \cdot (3 - 1) \cdot 0,45}{3} \cdot \frac{14,43}{12} = 0,90 \quad (4.43)$$

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

Геометрический напор на гребне водослива (без учета скорости подхода) при пропуске поверочного расхода:

$$H_{\text{пов}} = H_{02 \text{ пов}} - \frac{\alpha \cdot V_{\text{пов}}^2}{2g} = 15,43 - \frac{1,1 \cdot 2,77^2}{2 \cdot 9,81} = 15,00 \text{ м.} \quad (4.44)$$

Определяем расчетную отметку ФПУ:

$$\nabla \text{ФПУ} = \nabla \text{ГВ} + H_{\text{пов}} = 728 + 15,00 = 743 \text{ м} \quad (4.45)$$

Расчетная отметка ФПУ больше заданной отметки ФПУ=742 м, поэтому заданная отметка корректируется до ФПУ_р = 743,00 м.

4.2.4 Построение профиля водосливной плотины

Оголовок безвакуумного водослива практического профиля

Оголовок безвакуумного водослива практического профиля типа А (рисунок 4.1) строится по координатам Кригера – Офицерова .

Для получения координат x,y оголовка проектируемой плотины необходимо приведенные в таблице приложение координаты умножить на величину напора на водосливе $H_{ст}=12$ м. Расчетные координаты оголовка безвакуумного водослива типа А приведены в приложении К.

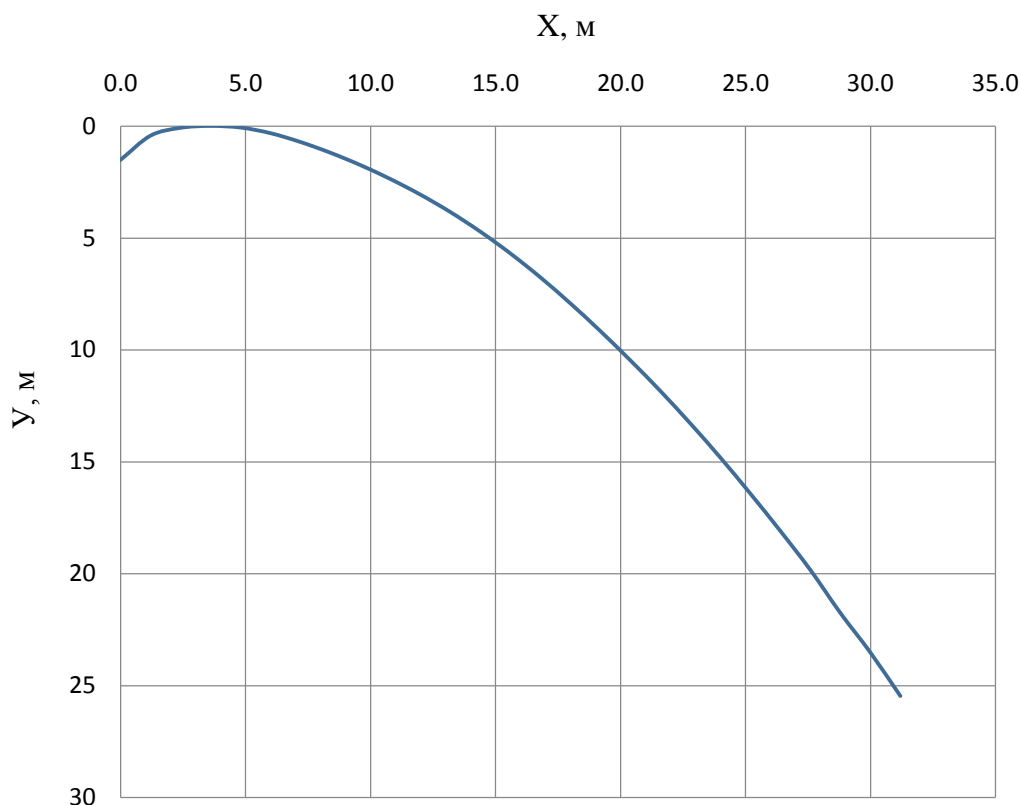


Рисунок 4.1 – Оголовок безвакуумного водослива практического профиля типа А, при $H_{ст} = 12$ м

Радиус сопряжения плотины с водобоем :

$$R = (0,2 \div 0,5) \cdot (C_n + H_{ст}) = 0,5 \cdot (22 + 12) = 17 \text{ м}, \quad (4.46)$$

где $C_n = \nabla_{ГВ} + \nabla_{дно} = 728 - 706 = 22$ м; (4.47)

4.2.5 Расчет сопряжения бьефов

Полная удельная энергия воды перед сооружением:

$$E_0 = C_H + H_0 = (\nabla_{ГВ} - \nabla_{дно}) + H_{ст} = (728 - 706) + 12 = 34 \text{ м} \quad (4.48)$$

$$H_0 = H_{ст} = 12 \text{ м}$$

Определяем критическую глубину:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q_p^2}{B^2 \cdot g}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 2913,5^2}{43^2 \cdot 9,81}} = 8,01 \text{ м} \quad (4.49)$$

Относительная полная удельная энергия:

$$\xi_0 = \frac{E_0}{h_{кр}} = \frac{34}{8,01} = 4,27 \quad (4.50)$$

По графику Чертоусова М.Д. [2] в зависимости от ξ_0 и коэффициента скорости φ , определяются относительная глубина в сжатом сечении (ξ_c') и относительная вторая сопряженная глубина (ξ_c''). Коэффициент скорости в сжатом сечении принимается равным $\varphi=0,95$ (при средней длине водосливной грани).

Относительные удельные энергии ξ_c' и ξ_c'' :

$$\xi_c' = 0,379; \xi_c'' = 2,10 \quad (4.51)$$

Глубина в сжатом сечении:

$$h_c' = \xi_c' \cdot h_{кр} = 0,379 \cdot 8,01 = 3,04 \text{ м} \quad (4.52)$$

Вторая сопряженная глубина:

$$h_c'' = \xi_c'' \cdot h_{кр} = 2,10 \cdot 8,01 = 16,83 \text{ м} \quad (4.53)$$

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

4.2.6 Расчет водобойного колодца

Первоначально глубина колодца определяется:

$$d = \sigma h_c'' - (h_{нб} + Z'), \quad (4.54)$$

где Z' - перепад, образующийся при выходе потока из водобойного колодца

$$Z' = Z'_0 - \frac{\alpha (v'_0)^2}{2g}, \quad (4.55)$$

где Z'_0 - перепад на водобойном уступе с учетом скорости подхода:

$$Z'_0 = \frac{q^2}{\phi_0^2 h_{нб}^2 2g}, \quad (4.56)$$

где ϕ_c - коэффициент скорости для водослива с широким порогом, $\phi_c=0,92$ [2].

Удельный расход:

$$q = \frac{Q_p}{B + (n-1) * 3.5} = \frac{2913,5}{36 + (3-1) * 3.5} = 67,76 \text{ м}^2 / \text{с}; \quad (4.57)$$

$$Z' = \frac{q^2}{2g} * \left(\frac{1}{\phi_b^2 h_{нб}^2} - \frac{\alpha}{\sigma^2 h_c''^2} \right) = \frac{67,76^2}{2 * 9,81} * \left(\frac{1}{0,92^2 * 15^2} - \frac{1,1}{1,1^2 * 16,83^2} \right) = 0,48 \text{ м}; \quad (4.58)$$

где σ - коэффициент запаса равный 1,1.

$$d = \sigma h_c'' - (h_{нб} + Z') = 1,1 * 16,83 - (15 + 0,48) = 3,04 \text{ м} \quad (4.59)$$

Во втором приближении определяется изменившаяся полная удельная энергия (E'_0) из-за устройства колодца:

$$E'_0 = H_0 + C_H + d = 12,22 + 22 + 3,04 = 37,26 \text{ м}. \quad (4.60)$$

Относительная полная удельная энергия:

$$\xi_0 = \frac{E'_0}{h_k} = \frac{37,26}{8,01} = 4,65 \quad (4.61)$$

По графику Чертоусова М.Д. [2] в зависимости от $\xi_0 = 4,65$ и $\phi_c = 0,92$, определяется относительная глубина в сжатом сечении ξ_c и относительная вторая сопряженная глубина ξ_c'' :

Относительные глубины ξ_c' и ξ_c'' :

$$\xi_c' = 0,371;$$

$$\xi_c'' = 2,14.$$

Глубина в сжатом сечении:

$$h_c' = \xi_c' \cdot h_k = 0,371 \cdot 8,01 = 2,97 \text{ м.} \quad (4.62)$$

Глубина, сопряженная с глубиной в сжатом сечении :

$$h_c'' = \xi_c'' \cdot h_k = 2,14 \cdot 8,01 = 17,14 \text{ м.} \quad (4.63)$$

$$Z' = \frac{q^2}{2g} \cdot \left(\frac{1}{\phi_s^2 h_{нб}^2} - \frac{\alpha}{\sigma^2 h_c'^2} \right) = \frac{67,76^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{1}{0,92^2 \cdot 15^2} - \frac{1,1}{1,1^2 \cdot 17,14^2} \right) = 0,50 \text{ м;} \quad (4.64)$$

Глубина колодца в втором приближении:

$$d = \sigma h_c'' - (h_{нб} + Z') = 1,1 \cdot 17,14 - (15 + 0,50) = 3,35 \text{ м} \quad (4.65)$$

Поскольку разница между глубинами в первом и втором приближениях составляет 9%, глубина водобойного колодца принимается равной 3,35 м.

Отметка пола водобоя:

$$\nabla_{ПВ} = \text{дно} - d = 706 - 3,35 = 702,65 \text{ м.} \quad (4.66)$$

Длина водобоя при наличии гасителей на нем:

$$l_B = (0,8 \div 1,0) l_{пр}, \quad (4.67)$$

где $l_{пр}$ - длина гидравлического прыжка:

$$l_{пр} = 2,5(1,9h_c'' - h_c') = 2,5(1,9 \cdot 17,14 - 2,97) = 74,0 \text{ м.} \quad (4.68)$$

$$l_B = 1,0 l_{пр} = 1 \cdot 74,0 = 74,0 \text{ м.} \quad (4.69)$$

4.3 Конструирование плотины

4.3.1 Определение ширины подошвы плотины

Гравитационные бетонные плотины на скальном основании конструируют, как правило, с вертикальной напорной гранью и без фундаментной плиты, т.к. несущая способность скального основания достаточно высокая. По этим причинам оптимальный теоретический профиль такой плотины - прямоугольный треугольник с вершиной на отметке НПУ.

Заложение низовой грани на первом этапе можно принять равным $0,67 \div 0,7$. Ширина плотины определяется из соотношения $\frac{B_{пл}}{h} = 0,7$.

Ширина подошвы плотины:

$$B = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 46,25 = 32,38 \text{ м}, \quad (4.70)$$

где $h = \nabla_{НПУ} - \nabla_{под} = 740 - 693,75 = 46,25 \text{ м} \quad (4.71)$

$$\nabla_{под} = \nabla_{дна} - d - t - (2-3) \text{ м} = 706 - 3,35 - 5,90 - 3 = 693,75 \text{ м}, \quad (4.72)$$

Принимаем ширину подошвы равную $B = 33 \text{ м}$.

4.3.2 Разрезка плотины швами

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

Ширина секции составляет:

$$b + \delta_6 = 12 + 3,5 = 15,5 \text{ м}. \quad (4.73)$$

Ширина столба:

$$B : 3 = 33 : 2 = 16,5 \text{ м} \quad (4.74)$$

Столбчатая разрезка имеет следующие преимущества:

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

Межсекционные и межстолбчатые швы для обеспечения монолитного состояния плотины цементируются.

4.3.3 Быки

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

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

4.3.4 Устои

Устои плотин предназначены для защиты примыкающих к водосливной части сооружений и берегов от размыва водой; для обеспечения плавного сооружения схода воды с водосливной грани в нижний бьеф; также служат опорами для затворов.

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

4.3.5 Дренаж тела бетонных плотин

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

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

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

4.3.6 Галереи в теле плотины

В теле плотины необходимо предусматривать галереи. При проектировании приняли 2 смотровых галереи на отметках $\nabla 694,79$ м; $\nabla 722,15$ м.

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

$$\delta \geq \frac{H_d \cdot \gamma_n}{J_{cr}}, \quad (4.75)$$

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

H_d - максимальный напор над полом галереи.

$$\text{Галерея на } \nabla 694,79 \text{ м} = \frac{(\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla 694,79) * 1,15}{25} = 2,08 \text{ м.}$$

$$\text{Галерея на } \nabla 716,40 \text{ м} = \frac{(\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla 716,40) * 1,15}{25} = 1,67 \text{ м, принимается } 2 \text{ м.}$$

4.4 Назначение размеров основных элементов плотины

4.4.1 Определение ширины подошвы плотины

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

$$\text{Ширина плотины определяется из соотношения } \frac{B_{\text{пл}}}{h} = 0,7 \quad (4.76)$$

Ширина подошвы плотины высотой h будет равна :

$$B = 0,7 * h = 0,7 * 46,25 = 32,38 \text{ м.} \quad (4.77)$$

$$h = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 740 - 693,75 = 46,25 \text{ м,} \quad (4.78)$$

$$\text{где, } \nabla_{\text{под}} = \nabla_{\text{дна-d-t-(2-3м)}} = 706-3,35- 5,90-3 = 693,75 \text{ м,} \quad (4.79)$$

где, d – глубина водобойного колодца;
 t - толщина водобойной плиты, $t = 5,90$ м. (пункт 5.1)

Ширина подошвы принимается равной: $B = 33$ м.

4.4.2 Разрезка плотины швами.

В бетонных плотинах предусматривается устройство межсекционных и столбчатых деформационных швов. Швы устраивают для обеспечения монолитности плотины при неравномерной ее осадке и неравномерном распределении температуры по сечению бетонных массивов.

В плотине возводимой, на скальном основании, разрезка швами на секции производится по осям бычков . Ширина секции составляет :

$$b + \delta_6 = 12 + 3,5 = 15,5 \text{ м.} \quad (4.80)$$

Столбчатая разрезка плотины позволяет достичь большей скорости возведения плотины по высоте. Помимо более высоких темпов кладки при этом способе разрезки получается большая поверхность охлаждения блоков и более интенсивное удаление тепла экзотермии. Кроме того, разрезка столбчатыми блоками позволяет принимать частичный напор водохранилища на незаконченную строительством плотину, придавая низовой грани последней форму уступов, что весьма экономично.

При ширине основания $B= 33$ м. принимается 2столба, шириною 16,5 м. Омоноличивание профиля плотины обеспечивается бетонированием отдельных швов, шириной 1,5 м.

4.4.3 Быки.

Быки служат опорами для затворов, перекрывающих отверстия плотины и на них располагаются стационарные подъемные механизмы затворов. В проекте быки выполнены разрезными (рисунок 4.2). Ширина быка принята равной 3,5 м.

Проектируемый плоский затвор представляет собой металлическую несущую конструкцию, покрытую с верхней стороны водонепроницаемой обшивкой, выполненной из листов стали. Несущая конструкция представляет собой балочную клетку, состоящую из ригелей и стоек. Высота затвора 15,5 м.

Ширина паза рабочего затвора (n) и его длина (m) принимаются:

$$n = m/2 = 1,7/2 = 0,9 \text{ м;} \quad (4.81)$$

$$m=(1/7 - 1/10)b = 1/7 * 12 = 1,7 \text{ м,} \quad (4.82)$$

где b – ширина водосливного отверстия в свету;
 m – длина паза рабочего затвора

Ширина затвора 13,8 м.

Ширину и длину паза ремонтного затвора принимается равной 0,5 м.

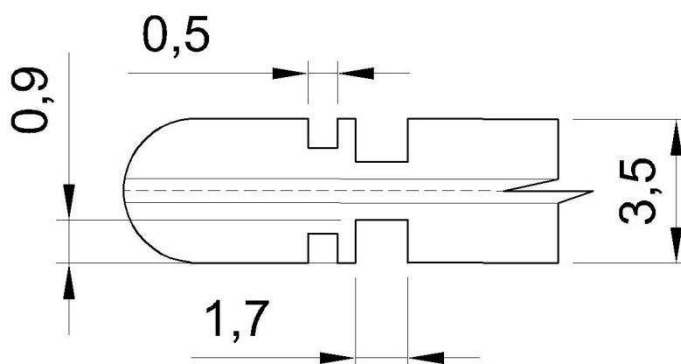


Рисунок 4.2 - План разрезного быка

4.4.4 Дренаж в теле бетонной плотины.

Вдоль напорной грани плотины предусмотрен дренаж, в виде вертикальных скважин, имеющие выходы в продольные галереи.

Диаметр вертикальной дренажной скважины принят 20 см.

4.4.5 Галереи в теле бетонной плотины.

В теле плотины предусмотрены 2 продольные и 2 поперечные галереи. По высоте плотины галереи следует располагать через 15 - 40 м.

При проектировании принято 2 продольных галереи на отметках $\nabla 694,79$ м и $\nabla 722,15$ м ;

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

$$\delta \geq \frac{H_{\max} \cdot \gamma_n}{J_{cr}}, \quad (4.83)$$

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

H_{\max} - максимальный напор над полом галереи.

$$\text{Галерея на } \nabla 694,79 \text{ м} = \frac{(\nabla \text{НПУ} - \nabla 694,79) \cdot 1,15}{25} = 2,08 \text{ м}; \quad (4.84)$$

$$\text{Галерея на } \nabla 716,40 \text{ м} = \frac{(\nabla \text{НПУ} - \nabla 716,40) \cdot 1,15}{25} = 1,67 \text{ м, принимается } 2 \text{ м.} \quad (4.85)$$

4.5 Конструирование отдельных элементов подземного контура плотины

4.5.1 Цементационная завеса

Для снижения противодействия на подошву плотины проектируется цементационная завеса.

Толщина противодиффузионной завесы δ_3 должна уменьшаться по мере ее углубления в основание.

$$\delta_3 \geq \frac{\Delta H_3 \cdot \gamma_n}{J_{cr}}, \quad (4.86)$$

где ΔH_3 - потери напора на завесе;

γ_n - коэффициент надежности по ответственности сооружения [5];

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

$$\Delta H_3 = H_d - H_{as} = H_d - 0,3 \cdot H_d = 32 - 32 \cdot 0,3 = 22,4 \text{ м}, \quad (4.87)$$

где H_{as} - напор на цемзавесе, для гравитационных плотин III класса

$$H_{as} = 0,3 \cdot H_d; \quad (4.88)$$

$$H_d = \text{НПУ-НБ}_{\min} = 740 - 708 = 32 \text{ м}. \quad (4.89)$$

$$\delta_3 > \frac{22,4 \cdot 1,15}{15} = 1,72 \text{ м}.$$

Принимается $\delta_3 = 2 \text{ м}$.

Расстояние от напорной грани до оси цементационной завесы:

$$l_3 = (0,1 \div 0,25) \cdot B, \quad (4.90)$$

где B - ширина подошвы плотины.

$$l_3 = 0,1 \cdot 33 = 3,3 \text{ м}.$$

Глубина цементационной завесы:

$$h_{\text{зав}} = (0,5-0,8) H_{\text{max}}, \quad (4.91)$$

$$h_{\text{зав}} = 0,5 \cdot 32 = 16 \text{ м.}$$

Цементационная завеса принимается однорядной, с шагом в ряду 3 м.

4.5.2 Дренажные устройства в основании.

В скальных грунтах дренаж выполняют в виде вертикальных скважин диаметром 200 мм с шагом 3 м.

Расстояние от оси цементационной завесы до оси дренажа:

$$l = 2 \cdot l_1 = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}, \quad (4.92)$$

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

Глубина скважин равна:

$$h_{\text{др}} = 0,5 \cdot h_3 = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ м}, \quad (4.93)$$

где $h_3 = 16 \text{ м}$ - глубина цементационной завесы.

4.6 Конструктивные элементы нижнего бьефа

4.6.1 Водобой

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

Устойчивость плиты против всплытия определяется условием:

$$\frac{\sum V_{\text{уд}} \cdot \gamma_{\text{cd}}}{\sum V_{\text{всп}} \cdot \gamma_{\text{lc}}} \geq \gamma_n, \quad (4.94)$$

где $\sum V_{\text{уд}}$ - сумма сил удерживающих плиту от всплытия;

$\sum V_{\text{всп}}$ - сумма сил вызывающих всплытие;

γ_{cd} - коэффициент условия работы для первой группы предельных состояний, $\gamma_{\text{cd}} = 0,95$;

γ_{lc} - коэффициент сочетания нагрузок и воздействий для первой группы предельных состояний, $\gamma_{\text{lc}} = 1,0$. [5];

γ_n - коэффициент надежности по ответственности, при расчете предельных состояний первой группы $\gamma_n=1,15$.

Сумма сил удерживающих плиту от всплытия, $\sum V_{уд}$:

$$G_{\Pi} = (\rho_{\sigma} - \rho_{\text{в}}) \cdot g \cdot l_{\text{вод}} \cdot t \cdot \gamma_f, \quad (4.95)$$

где γ_f - коэффициент надежности по нагрузке, $\gamma_f=0,95$ [7];

$l_{\text{вод}}=l_{\text{пр}}=74$ м.- длина водобоя;

$t = 0,15 \cdot V_{\text{сж}} \cdot \sqrt{h'_c}$ - предварительная толщина водобойной плиты, определяется по формуле Домбровского [7].

Скорость потока в сжатом сечении:

$$V_{\text{сж}} = \frac{q}{h'_c} = \frac{67,76}{2,97} = 22,81 \text{ м/с}; \quad (4.96)$$

$$t = 0,15 \cdot V_{\text{сж}} \cdot \sqrt{h'_c} = 0,15 \cdot 22,81 \cdot \sqrt{2,97} = 5,90 \text{ м}; \quad (4.97)$$

$$G_{\Pi} = (2,4 - 1,0) \cdot 9,81 \cdot 74 \cdot 5,90 \cdot 0,95 = 5693,9 \text{ кН.}$$

Сумма сил вызывающих всплытие, $\sum V_{\text{всп}}$:

Дефицит давления:

$$W_{\text{д}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot l_{\text{вод}} \cdot 0,7(h''_c - h'_c) \cdot \gamma_f = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 9,81 \cdot 74 \cdot 0,7(17,14 - 2,97) \cdot 1,0 = 3600,3 \text{ кН.} \quad (4.98)$$

Фильтрационное давление:

$$W_{\text{ф}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot l_{\text{вод}} \cdot 0,05(T - h''_c) \cdot \gamma_f, \quad (4.99)$$

где T -превышение уровня верхнего бьефа над поверхностью водобоя $\nabla_{\text{ПВ}}$:

$$T = \text{НПУ} - \nabla_{\text{ПВ}} = 740 - 702,65 = 37,35 \text{ м}; \quad (4.100)$$

$$W_{\text{ф}} = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 9,81 \cdot 74 \cdot 0,05(37,35 - 17,14) \cdot 1,0 = 366,8 \text{ кН.}$$

Вертикальная пульсационная нагрузка:

$$W_{\text{w}} = \alpha \cdot \frac{V_{\text{сж}}}{2} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \omega, \quad (4.101)$$

где $\omega = t \cdot 1$ п. м. — площадь миделева сечения плиты водобоя;
 $\alpha = 0,05 - 0,07$.

$$W_w = 0,06 \cdot \frac{22,81}{2} \cdot 1,0 \cdot 5,90 = 92,1 \text{ кН.}$$

$$\frac{G_{II} \cdot \gamma_{cd}}{(W_d + W_{\phi} + W_w) \cdot \gamma_{ic}} = \frac{5693,9 \cdot 0,95}{(3600,3 + 366,8 + 92,1) \cdot 1} = 1,33 < 1,15 \quad (4.102)$$

—условие выполняется, толщина водобойной плиты принимается равной 5,90м.

4.7 Фильтрационные расчеты подземного контура

4.7.1 Построение эпюры фильтрационного давления

Расчет фильтрации производится в соответствии с СНиП 2.06.06.-85 [5].

Основное сочетание нагрузок и воздействий:

Напор на сооружении:

$$H_d = \nabla_{НПУ} - УНБ_{\min} = 740 - 708 = 32 \text{ м.} \quad (4.103)$$

Напор на цементационной завесе:

$$H_{as} = 0,3 \cdot H_d = 0,3 \cdot 32 = 9,6 \text{ м.} \quad (4.104)$$

Эпюры фильтрационного давления для основного сочетания нагрузок и воздействий представлена на рисунке 4.3.

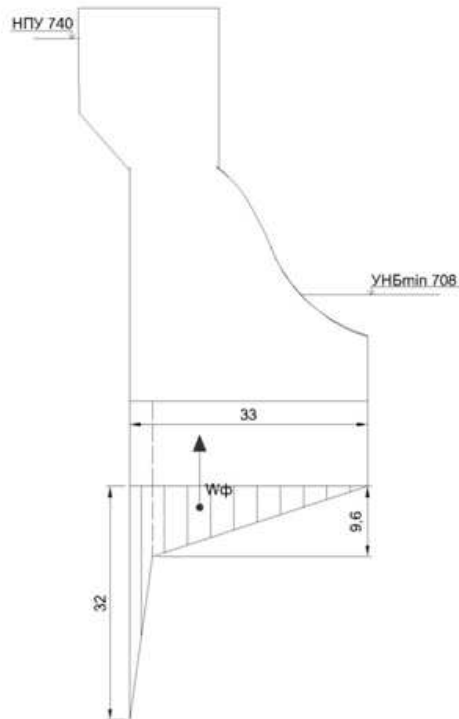


Рисунок 4.3 – Эпюра фильтрационного давления для основного сочетания нагрузок и воздействий

Особое сочетание нагрузок и воздействий:

Напор на сооружении:

$$H_d = \nabla \Phi_{\text{ПУ}} - \text{УНБ}_{\text{max}} = 743 - 724 = 19 \text{ м.} \quad (4.105)$$

Напор на цементационной завесе:

$$H_{\text{as}} = 0,3 \cdot H_d = 0,4 \cdot 19 = 5,7 \text{ м.} \quad (4.106)$$

Эпюры фильтрационного давления для основного сочетания нагрузок и воздействий представлена на рисунке 4.4.

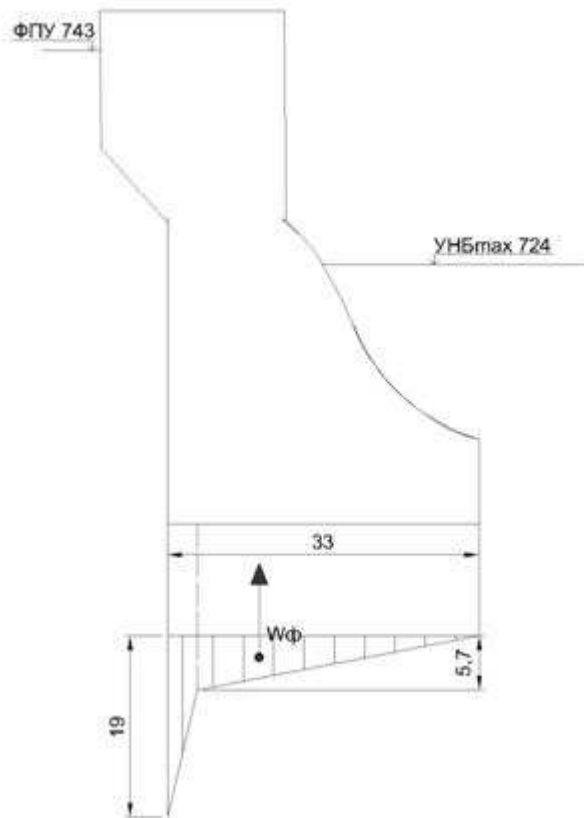


Рисунок 4.4 – Эпюра фильтрационного давления для особого сочетания нагрузок и воздействий

4.8 Обоснование надежности и безопасности бетонной плотины

4.8.1 Вес сооружения и затворов

Вес водосливной части плотины на единицу длины:

$$G_{\text{пл}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot b \cdot g \cdot \rho_{\text{б}}}{b + \delta_{\text{б}}}, \quad (4.107)$$

где $S_{\text{пл}}$ - площадь поперечного сечения плотины, $S_{\text{пл}} = 442,21 \text{ м}^2$
 $\rho_{\text{б}}$ - плотность бетона.
 $(b + \delta_{\text{б}}) = 15,5 \text{ м}$ - ширина сечения.

Схема к расчёту собственного веса плотины представлена на рисунке 4.5.

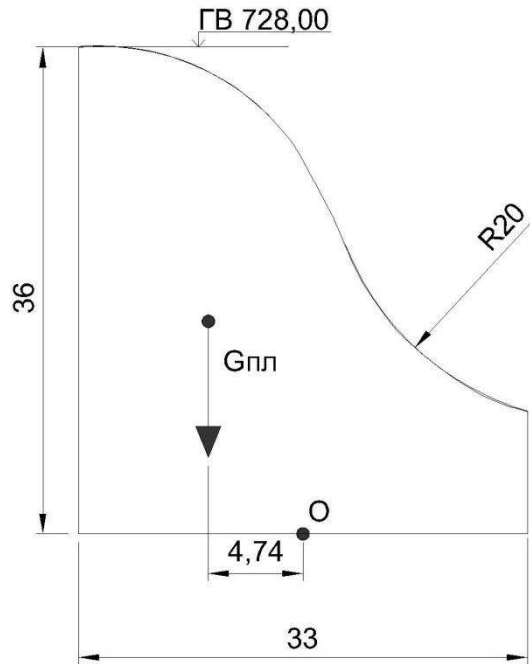


Рисунок 4.5 – Схема к расчёту собственного веса плотины и точки его приложения относительно середины контактного сечения (O)

$$G_{\text{пл}} = \frac{442,21 \cdot 12 \cdot 9,81 \cdot 2,4}{12 + 3,5} = 8060,43 \text{ кН},$$

Плечо силы веса водосливной плотины относительно центра ее подошвы 4,74 м. ($S_{\text{пл}}$ и плечо определяется в программе ACAD)

Вес быка на единицу длины:

$$G_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}} \cdot \delta_{\text{б}} \cdot g \cdot \rho_{\text{б}}}{b + \delta_{\text{б}}}, \quad (4.108)$$

где $S_{\text{б}}$ - площадь поперечного сечения быка, $S_{\text{б}} = 597,65 \text{ м}^2$.
Плечо силы веса быка относительно центра подошвы 8,93 м.

Схема к расчёту собственного веса быка представлена на рисунке 4.6.

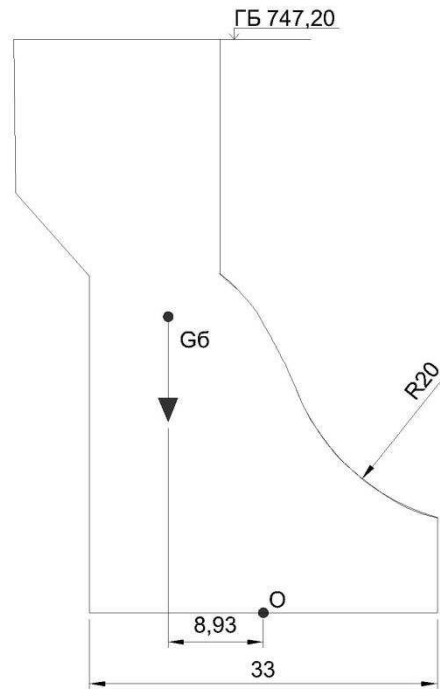


Рисунок 4.6 – Схема к расчёту собственного веса быка и точки его приложения относительно середины контактного сечения (O)

$$G_6 = \frac{597,65 \cdot 3,5 \cdot 9,81 \cdot 2,4}{12 + 3,5} = 10893,73 \text{ кН},$$

Вес плоского затвора:

$$Q_3 = 0,055 \cdot f \sqrt{f} \cdot g, \quad (4.109)$$

где f – площадь затвора.

$$f = (\Phi_{ПУ} - \Gamma В + 0,5) \cdot b = (743 - 728 + 0,5) \cdot 12 = 186 \text{ м}^2. \quad (4.110)$$

$$Q_3 = 0,055 \cdot 186 \cdot \sqrt{186} \cdot 9,81 = 1368,7 \text{ м}^2.$$

Вес плоского затвора на один погонный метр:

$$q_3 = \frac{Q_3}{b + \delta_6} = \frac{1368,7}{12 + 3,5} = 88,30 \text{ кН}. \quad (4.111)$$

Плечо силы веса затвора относительно центра подошвы 12,45 м.

4.8.2 Сила гидростатического давления воды

Сила гидростатического давления воды определяется по формулам гидравлики. Эпюры гидростатического давления на верховую и низовую грани бетонной плотины приняты по треугольнику.

С верхнего бьефа:

Для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$T_B = \frac{\rho_w g h_1^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 46,25^2}{2} = 10492,1 \text{ кН}, \quad (4.112)$$

$$\text{где } h_1 = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 740 - 693,75 = 46,25 \text{ м}. \quad (4.113)$$

$$\text{Плечо относительно контактного сечения: } H / 3 = 46,25 / 3 = 15,42 \text{ м}. \quad (4.114)$$

Для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$T'_B = \frac{\rho_w g h_1'^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 49,25^2}{2} = 11897,4 \text{ кН}, \quad (4.115)$$

$$\text{где } h_1' = \nabla_{\text{ФПУ}} - \nabla_{\text{под}} = 743 - 693,75 = 49,25 \text{ м}. \quad (4.116)$$

$$\text{Плечо относительно контактного сечения: } H / 3 = 49,6 / 3 = 16,42 \text{ м}. \quad (4.117)$$

С нижнего бьефа:

Для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$T_H = \frac{\rho_w g h_2^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 14,25^2}{2} = 996,0 \text{ кН}, \quad (4.118)$$

$$\text{где } h_2 = \nabla_{\text{УНБ}_{\text{min}}} - \nabla_{\text{под}} = 708 - 693,75 = 14,25 \text{ м}. \quad (4.119)$$

$$\text{Плечо относительно контактного сечения: } h_2 / 3 = 4,75 \text{ м}. \quad (4.120)$$

Для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$T'_H = \frac{\rho_w g h_2'^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 30,25^2}{2} = 4488,4 \text{ кН}, \quad (4.121)$$

где $h'_2 = \nabla_{\text{УНБ}_{\text{max}}} - \nabla_{\text{под}} = 724 - 693,75 = 30,25\text{ м.}$ (4.122)

Плечо относительно контактного сечения: $h'_2 / 3 = 10,08\text{ м.}$ (4.123)

Вертикальная составляющая гидростатического давления с нижнего бьефа:

Для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$W_{\text{н}} = S_{\text{эп}} \gamma_{\text{в}} = 3 \cdot 10 = 30\text{ кН,}$$
 (4.124)

где $S_{\text{эп}} = 3\text{ м}^2$ - площадь эпюры(определяется через АСАД)

Плечо вертикальной составляющей относительно центра подошвы 15,65м

Для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$W'_{\text{н}} = S'_{\text{эп}} \gamma_{\text{в}} = 120,85 \cdot 10 = 1208,5\text{ кН,}$$
 (4.125)

где $S'_{\text{эп}} = 120,85\text{ м}^2$ - площадь эпюры(определяется через АСАД)

Плечо вертикальной составляющей относительно центра подошвы 11,30м

4.8.3 Сила взвешивающего давления на подошву плотины

Основное сочетание нагрузок и воздействий:

$$W_{\text{взв}} = \rho_{\text{в}} g S_{\text{взв}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 33 \cdot 14,25 = 4613,15\text{ кН,}$$
 (4.126)

где $S_{\text{взв}}$ - площадь эпюры взвешивающего давления, при $\nabla_{\text{УНБ}_{\text{min}}} = 708\text{ м,}$
 $S_{\text{взв}} = 470,25\text{ м}^2.$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы 0 м.

Особое сочетание нагрузок и воздействий:

$$W'_{\text{взв}} = \rho_{\text{в}} g S'_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 33 \cdot 30,25 = 9792,83\text{ кН,}$$
 (4.127)

где $S'_{\text{взв}}$ - площадь эпюры взвешивающего давления, при $\nabla_{\text{УНБ}_{\text{max}}} = 724\text{ м,}$
 $S'_{\text{взв}} = 998,25\text{ м}^2.$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы 0 м.

4.8.4 Сила фильтрационного давления на подошву плотины

Основное сочетание нагрузок и воздействий:

Фильтрационное давление на подошву плотины:

$$W_{\phi} = \rho_w g S_{\text{эп}}, = 1 \cdot 209,42 \cdot 9,81 = 2054,41 \text{ кН}, \quad (4.128)$$

где W_{ϕ} - площадь эпюры фильтрационного давления, $S_{\phi} = 209,42 \text{ м}^2$.

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы 4,08 м.

Особое сочетание нагрузок и воздействий:

$$W'_{\phi} = \rho_w g S'_{\phi} = 1 \cdot 132,38 \cdot 9,81 = 1298,65 \text{ кН}, \quad (4.129)$$

где S'_{ϕ} - площадь эпюры фильтрационного давления, $S'_{\phi} = 132,38 \text{ м}^2$.

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы 4,08 м.

4.8.5 Давление грунта

Удельный вес наносов во взвешенном состоянии:

$$\gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} = \gamma_{\text{н}}^{\text{сух}} - (1 - n_0) \cdot \gamma_{\text{в}} = 18 - (1 - 0,3) \cdot 10 = 11 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}, \quad (4.130)$$

где $\gamma_{\text{н}}^{\text{сух}}$ - удельный вес среднего песка в сухом состоянии, $\gamma_{\text{н}}^{\text{сух}} = 18 \text{ кН/м}^3$ [7];

n_0 – пористость вес среднего песка, $n_0 = 0,3$ [7].

Давление наносов на вертикальную верховую грань плотины:

$$P_{\text{н}} = \gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{н}} \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\phi_{\text{н}}}{2} \right), \quad (4.131)$$

$$P_{\text{н}} = 11 \cdot 3 \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{28}{2} \right) = 33 \cdot 0,361 = 11,91 \text{ кН},$$

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

$\phi_{\text{н}}$ – угол внутреннего трения наносов во взвешенном состоянии, $\phi_{\text{н}} = 28^\circ$ [7].

Равнодействующая давления наносов на 1 п.м.:

$$E_H = \frac{1}{2} \cdot P_H \cdot h_H = \frac{1}{2} \cdot 11,91 \cdot 3 = 17,86 \text{ кН/м.} \quad (4.132)$$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы $E_H = 1 \text{ м}$.

Активное давление грунта основания со стороны верхнего бьефа определяется:

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

$$P'_{гр} = \gamma_H^{взв} \cdot h_H \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right), \quad (4.133)$$

$$P'_{гр} = 11 \cdot 3 \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{45}{2} \right) = 33 \cdot 0,172 = 5,68 \text{ кН,}$$

где $\varphi_{гр}$ – угол внутреннего трения камня, $\varphi_H = 45$.

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

$$P''_{гр} = \left(\gamma_H^{взв} \cdot h_H + \gamma_{гран}^{взв} \cdot h_{гр} \right) \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right), \quad (4.134)$$

$$P''_{гр} = (11 \cdot 3 + 17,5 \cdot 12,25) \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{45}{2} \right) = 42,30 \text{ кН,}$$

где $h_{гр}$ – толщина нижнего слоя грунта, $h_{гр} = 12,25 \text{ м}$;

$\gamma_{гран}^{взв}$ – удельный вес гранита во взвешенном состоянии:

$$\gamma_{гран}^{взв} = \gamma_{гран}^{сух} - (1 - n_0) \cdot \gamma_B = 25 - (1 - 0,25) \cdot 10 = 17,5 \text{ кН/м}^3, \quad (4.135)$$

где $\gamma_{гран}^{сух}$ – удельный вес гранита в сухом состоянии, $\gamma_{гран}^{сух} = 25 \text{ кН/м}^3$;

n_0 – пористость сухого грунта, $n_0 = 0,25$

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

$$E_{ак} = S_{ак} = 112,67 \text{ кН/м.} \quad (4.136)$$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы $E_{ак} = 4,74$ м.

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

$$P'_{пн} = \gamma_6^{взв} \cdot t \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) = 1,4 \cdot 5,9 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{45}{2} \right) = 48,16 \text{ кН}, \quad (4.137)$$

$$P''_{пн} = (\gamma_6^{взв} \cdot t + \gamma_{гран}^{взв} \cdot h_{гр}) \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) = 1,4 \cdot 5,9 + 17,5 \cdot 3) \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{45}{2} \right) = 354,23 \text{ кН}. \quad (4.138)$$

Равнодействующая пассивного давления грунта на 1 п.м длины :

$$E_{пн} = \frac{P'_{пн} + P''_{пн}}{2} \cdot h_{гр} = \frac{48,16 + 354,23}{2} \cdot 3 = 603,56 \text{ кН/м}. \quad (4.139)$$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы $E_{пн} = 2,19$ м.

4.8.6 Волновое давление

Равнодействующая волнового давления при основном и особом сочетании нагрузок и воздействий определяется по формуле А.П. Можевитинова [7].

Равнодействующая волнового давления при основном сочетании нагрузок и воздействий:

$$W_{волн} = 0,5 \rho_w g h_{1\%} \left(\frac{\bar{\lambda}}{\pi} + \frac{h_0}{2} \right); \quad (4.140)$$

$$W_{волн} = 0,5 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 0,66 \cdot \left(\frac{5,86}{3,14} + \frac{0,23}{2} \right) = 6,42 \text{ Н/м},$$

$$\text{где } h_0 = \frac{\pi h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}} = \frac{3,14 \cdot 0,66^2}{5,86} = 0,23 \text{ м}. \quad (4.141)$$

Равнодействующая волнового давления при особом сочетании нагрузок и воздействий:

$$W'_{волн} = 0,5 \rho_w g h_{1\%} \left(\frac{\bar{\lambda}}{\pi} + \frac{h_0}{2} \right) = 0,5 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 0,46 \cdot \left(\frac{4,42}{3,14} + \frac{0,15}{2} \right) = 3,35 \text{ Н/м}, \quad (4.142)$$

$$\text{где } h_0 = \frac{\pi h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}} = \frac{3,14 \cdot 0,46^2}{4,42} = 0,15 \text{ м.} \quad (4.143)$$

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

при НПУ:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} h_{1\%} = \frac{5,86}{2 \cdot 3,14} - \frac{3}{8} \cdot 0,66 = 0,69 \text{ м.} \quad (4.144)$$

Плечо относительно контактного сечения: 40,51 м.

Плечо относительно контактного сечения:

при ФПУ:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} h_{1\%} = \frac{4,42}{2 \cdot 3,14} - \frac{3}{8} \cdot 0,46 = 0,53 \text{ м.} \quad (4.145)$$

Плечо относительно контактного сечения: 40,67 м.

4.9 Оценка прочности плотины

4.9.1 Оценка прочности плотины

Расчет плотины производится на сокращённый состав нагрузок.

В расчете принимаются сжимающие напряжения, как господствующие со знаком «-», а растягивающие со знаком «+».

Все нагрузки, подсчитанные ранее, сведены в таблицу 4.1 с учетом коэффициентов надежности по нагрузке.

Для каждой силы указывается направление действия силы и плечо силы (если момент силы по часовой стрелке, то знак «плюс», если против – «минус»).

Таблица 4.1 – Нагрузки, действующие на плотину

Обозначение силы	Направление силы	γ_f	Основное сочетание			Особое сочетание		
			Сила, кН	Плечо, м	Момент, кН·м	Сила, кН	Плечо, м	Момент, кН·м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_b	→	1,0	10492.1	15.42	161788.2	11897.4	16.42	195355.3
T_n	←	1,0	996	4.75	-4731	4488.4	10.08	-45243.1
W_n	↓	1,0	30	15.65	-469.5	1208.5	11.3	-13656.1
G_b	↓	0,95	10349.04	8.93	-92417	10349.04	8.93	-92417
$G_{пл}$	↓	0,95	7657.41	4.74	-36296.1	7657.41	4.74	-36296.1
$W_{взв}$	↑	1,0	4613.15	0	0	9792.83	0	0
W_{ϕ}	↑	1,0	2054.41	4.08	8381.99	1298.65	4.08	5298.49

Продолжение таблицы 4.1

E_n	→	1,2	21.4	1	21.4	21.4	1	21.4
$E_{ак}$	→	1,2	135.20	4.74	640.85	135.20	4.74	640.85
$E_{пл}$	←	0,8	482,85	2,19	-1057,44	482,85	2,19	-1057,44
$W_{волн}$	→	1,0	6.42	40.51	260.07	3.35	40.67	136.24
q_3	↓	0,9	79.47	12.45	-989.40	79.47	12.45	-989.40
Сумма			11448.36		35132.08	8202.94		11793.25

Краевые напряжения, действующие по горизонтальным площадкам плотины для основного сочетания нагрузок и воздействий:

- для верхней грани:

Сумма всех вертикальных сил:

$$N = G_{пл} + G_6 - W_{ф} - W_{взв} + q_3, \quad (4.146)$$

$$N = 7657,41 + 10349,04 - 2054,41 - 4613,15 + 79,47 = 11448,36 \text{ кН.}$$

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_{пл}} + \frac{6 \cdot \sum M}{B_{пл}^2} = -\frac{11448,36}{33} + \frac{6 \cdot 35132,08}{33^2} = -153,35 \text{ кПа}, \quad (4.147)$$

где $B_{пл}$ – ширина подошвы плотины;

$\sum M$ – сумма моментов всех действующих сил относительно центра тяжести.

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u \cdot m_u^2 - \gamma_b \cdot H_d^u \cdot (1 - m_u^2), \quad (4.148)$$

$$\sigma_x^u = -153,35 \cdot 0^2 - 10 \cdot 46,25 \cdot (1 - 0^2) = -462,5 \text{ кПа,}$$

где m_u - заложение верхней грани на уровне расчетного сечения, $m_u = 0$;

H_d^u - напор над расчетным сечением со стороны верхнего бьефа:

$$H_d^u = \nabla_{НПУ} - \nabla_{под} = 740 - 693,75 = 46,25 \text{ м.} \quad (4.149)$$

Касательные напряжения:

$$\tau_{xy}^u = (\gamma_b \cdot H_d^u + \sigma_y^u) \cdot m_u = [10 \cdot 46,25 + (-153,35)] \cdot 0 = 0 \text{ кПа.} \quad (4.150)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u \cdot (1 + m_u^2) + \gamma_B \cdot H_d^u \cdot m_u^2, \quad (4.151)$$

$$\sigma_1^u = -153,35 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 46,25 \cdot 0^2 = -153,35 \text{ кПа.}$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_B \cdot H_d^u = -10 \cdot 46,25 = -462,5 \text{ кПа.} \quad (4.152)$$

- для низовой грани:

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B_{\text{пл}}} - \frac{6 \cdot \Sigma M}{B_{\text{пл}}^2} = -\frac{11448,36}{33} - \frac{6 \cdot 35132,08}{33^2} = -540,49 \text{ кПа.} \quad (4.153)$$

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^t = \sigma_y^t \cdot m_t^2 - \gamma_B \cdot H_d^t \cdot (1 - m_t^2), \quad (4.154)$$

где m_t - заложение низовой грани на уровне расчетного сечения, $m_t = 0$;
 H_d^t - напор над расчетным сечением со стороны нижнего бьефа:

$$H_d^t = \nabla_{\text{УНБ}_{\text{min}}} - \nabla_{\text{Под}} = 208 - 193,75 = 14,25 \text{ м.} \quad (4.155)$$

$$\sigma_x^t = -540,49 \cdot 0^2 - 10 \cdot 14,25 \cdot (1 - 0^2) = -142,5 \text{ кПа.}$$

Касательные напряжения на низовой грани:

$$\tau_{xy}^t = -(\gamma_B \cdot H_d^t + \sigma_y^t) \cdot m_t, \quad (4.156)$$

$$\tau_{xy}^t = -[10 \cdot 14,25 + (-540,74)] \cdot 0 = 0 \text{ кПа.}$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^t = \sigma_y^t \cdot (1 + m_t^2) + \gamma_B \cdot H_d^t \cdot m_t^2, \quad (4.157)$$

$$\sigma_3^t = -540,49 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 14,25 \cdot 0^2 = -540,49 \text{ кПа.}$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^t = -\gamma_B \cdot H_d^t = -10 \cdot 14,25 = -142,5 \text{ кПа.} \quad (4.158)$$

Краевые напряжения, действующие по горизонтальным площадкам плотины для особого сочетания нагрузок и воздействий:

- для верховой грани:

Сумма всех вертикальных сил:

$$N = G_{\text{плл}} + G_{\text{б}} - W_{\text{ф}} - W_{\text{взв}} + q_3, \quad (4.159)$$

$$N = 7657,41 + 10349,04 - 1298,65 - 9792,83 + 79,47 = 8202,94 \text{ кН.}$$

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_{\text{плл}}} + \frac{6 \cdot \sum M}{B_{\text{плл}}^2} = -\frac{8202,94}{33} + \frac{6 \cdot 11793,25}{33^2} = -183,60 \text{ кПа}, \quad (4.160)$$

где $\sum M$ – сумма моментов всех действующих сил относительно центра тяжести.

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u \cdot m_u^2 - \gamma_b \cdot H_d^u \cdot (1 - m_u^2), \quad (4.161)$$

$$\sigma_x^u = -183,60 \cdot 0^2 - 10 \cdot 49,59 \cdot (1 - 0^2) = -492,5 \text{ кПа},$$

где m_u - заложение верховой грани на уровне расчетного сечения, $m_u = 0$;
 H_d^u - напор над расчетным сечением со стороны верхнего бьефа:

$$H_d^u = \nabla_{\text{ФПУ}} - \nabla_{\text{Под}} = 743 - 693,75 = 49,25 \text{ м.} \quad (4.162)$$

Касательные напряжения:

$$\tau_{xy}^u = (\gamma_b \cdot H_d^u + \sigma_y^u) \cdot m_u = [10 \cdot 49,25 + (-183,34)] \cdot 0 = 0 \text{ кПа.} \quad (4.163)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u \cdot (1 + m_u^2) + \gamma_b \cdot H_d^u \cdot m_u^2, \quad (4.164)$$

$$\sigma_1^u = -183,60 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 49,25 \cdot 0^2 = -183,60 \text{ кПа.}$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_b \cdot H_d^u = -10 \cdot 49,25 = -492,5 \text{ кПа.} \quad (4.165)$$

- для низовой грани:

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B_{пл}} - \frac{6 \cdot \Sigma M}{B_{пл}^2} = -\frac{8202,94}{33} - \frac{6 \cdot 11793,25}{33^2} = -313,55 \text{ кПа.} \quad (4.166)$$

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^t = \sigma_y^t \cdot m_t^2 - \gamma_b \cdot H_d^t \cdot (1 - m_t^2), \quad (4.167)$$

где m_t - заложение низовой грани на уровне расчетного сечения, $m_t = 0$;
 H_d^t - напор над расчетным сечением со стороны нижнего бьефа:

$$H_d^t = \nabla_{УНБ_{max}} - \nabla_{под} = 724 - 693,75 = 30,25 \text{ м.} \quad (4.168)$$

$$\sigma_x^t = -313,55 \cdot 0^2 - 10 \cdot 30,25 \cdot (1 - 0^2) = -302,5 \text{ кПа.}$$

Касательные напряжения на низовой грани:

$$\tau_{xy}^t = -(\gamma_b \cdot H_d^t + \sigma_y^t) \cdot m_t, \quad (4.169)$$

$$\tau_{xy}^t = -[10 \cdot 30,25 + (-313,81)] \cdot 0 = 0 \text{ кПа.}$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^t = \sigma_y^t \cdot (1 + m_t^2) + \gamma_b \cdot H_d^t \cdot m_t^2, \quad (4.170)$$

$$\sigma_3^t = -313,55 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 30,25 \cdot 0^2 = -313,55 \text{ кПа.}$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^t = -\gamma_b \cdot H_d^t = -10 \cdot 30,25 = -302,5 \text{ кПа.} \quad (4.171)$$

Полученные напряжения сведены в таблицу 4.2 .

Таблица 4.2 – Напряжения в теле плотины при основном и особом сочетаниях нагрузок и воздействий

Напряжения, кПа	Основное сочетание нагрузок кПа		Особое сочетание нагрузок кПа	
	Верховая грань	Низовая грань	Верховая грань	Низовая грань
σ_y	-153.35	-540.49	-183.6	-313.55

Продолжение таблицы 4.2

σ_x	-462.5	-142.5	-492.5	-302.5
τ_{xy}	0	0	0	0
σ_1	-153.35	-142.5	-183.6	-302.5
σ_3	-462.5	-540.49	-492.5	-313.55

4.9.2 Критерии прочности плотины

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

Во всех точках плотины:

$$\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3| \leq \gamma_{cd} \cdot R_b, \quad (4.172)$$

где $\gamma_n = 1,15$ – коэффициент надежности по ответственности для сооружений III класса [1];

γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок ($\gamma_{lc} = 1,0$ для основного сочетания нагрузок и воздействий; $\gamma_{lc} = 0,9$ для особого сочетания нагрузок и воздействия) [1];

σ_3 – главное максимальное сжимающее напряжение;

γ_{cd} – коэффициент условия работы для сжатия ($\gamma_{cd} = 0,95$ – при основном сочетании нагрузок; $\gamma_{cd} = 1,0$ – при особом сочетании нагрузок) [6].

$R_b = 11,5$ МПа – расчетное сопротивление бетона сжатию для марки бетона В20 [8];

Основное сочетание нагрузок:

- для верхней грани:

$$1,15 \cdot 1 \cdot 462,5 \leq 0,95 \cdot 11500 \text{ кПа},$$

$$531,88 \text{ кПа} < 10925 \text{ кПа}.$$

- для нижней грани:

$$1,15 \cdot 1 \cdot 540,49 \leq 0,95 \cdot 11500 \text{ кН/м}^2,$$

$$621,56 \text{ кПа} < 10925 \text{ кПа}.$$

Особое сочетание нагрузок:

- для верхней грани:

$$1,15 \cdot 0,9 \cdot 492,5 \leq 1,0 \cdot 11500 \text{ кН/м}^2,$$

$$509,74 \text{ кПа} < 11500 \text{ кПа.}$$

- для низовой грани:

$$1,15 \cdot 0,9 \cdot 313,55 \leq 1,0 \cdot 11500 \text{ кН/м}^2,$$

$$324,52 \text{ кПа} < 11500 \text{ кПа.}$$

Анализируя полученные значения, делают вывод, что условие прочности выполняется.

На верховой грани плотины не должно быть растягивающих напряжений $\sigma_y^u < 0$:

$$\text{- для основного сочетания нагрузок: } -153,35 < 0;$$

$$\text{- для особого сочетания нагрузок: } -183,60 < 0.$$

Сжимающие силы и напряжения приняты со знаком «минус», следовательно, условие прочности выполняется.

В зоне верховой грани плотины:

$$|\sigma_y^u| \geq 0,25 \cdot \gamma_v \cdot H_d^u, \quad (4.173)$$

где H_d^u - напор над расчетным сечением со стороны верхнего бьефа (разд. 6).

-для основного сочетания нагрузок:

$$153,35 > 0,25 \cdot 10 \cdot 46,25;$$

$$153,35 \text{ кПа} > 115,63 \text{ кПа.}$$

-для особого сочетания нагрузок:

$$183,60 > 0,25 \cdot 10 \cdot 49,25;$$

$$186,60 \text{ кПа} > 123,13 \text{ кПа.}$$

Анализируя полученные значения, делают вывод, что условие прочности выполняется.

4.9.3 Расчет устойчивости плотины на сдвиг по основанию

Устойчивость бетонных плотин на скальном основании определяется несущей способностью основания, т.е. его сопротивлением сдвигу сооружения.

Плотина рассчитывается на сдвиг по первому предельному состоянию – по потере несущей способности.

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

$$\frac{R \cdot \gamma_{cd}}{F \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n, \quad (4.174)$$

где γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения ($\gamma_n = 1,15$);
 γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок ($\gamma_{lc} = 1,0$ для основного сочетания нагрузок и воздействий; $\gamma_{lc} = 0,9$ для особого сочетания нагрузок и воздействий);
 $\gamma'_c = 0,7$ – коэффициент условия работы для пассивного давления грунта
 γ_{cd} – коэффициент условия работы ($\gamma_{cd} = 0,95$).

- для основного сочетания нагрузок:

Силы удерживающие:

$$R = (G_{пл} + G_6 + q_3 + W_n - W_\phi - W_{взв}) \cdot \operatorname{tg}\varphi + E_{пн} \cdot \gamma'_c + c \cdot \omega, \quad (4.175)$$

$$R = (7657,41 + 10349,04 + 79,47 + 30 - 2054,41 - 4613,15) \cdot 0,7 + 482,85 \cdot 0,7 + 100 \cdot 33 = 11651,85 \text{ кН/м},$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ - коэффициент трения для грунта основания (скала-гранит),
 $\operatorname{tg}\varphi = 0,7$ [5];
 c - коэффициент сцепления грунта основания, $c = 100$ кПа [7];
 ω – горизонтальная проекция площади подошвы плотины, при расчете на 1 п.м:

$$\omega = B_{пл} \cdot 1 = 33 \cdot 1 = 33 \text{ м}^2, \quad (4.176)$$

где $B_{пл}$ - ширина подошвы плотины.

Сила сдвигающая:

$$F = W_B^r - W_H^r + W_{волн} + E_H + E_{ак}, \quad (4.177)$$

$$F = 10492,1 - 996 + 6,42 + 21,4 + 135,20 = 9659,12 \text{ кН}.$$

Тогда:

$$\frac{11651,85 \cdot 0,95}{9659,12 \cdot 1,0} \geq 1,15,$$

$$1,15 = 1,15.$$

Расчетный коэффициент не превышает 10% номинального значения, условие устойчивости плотины против сдвига выполняется.

- для особого сочетания нагрузок:

Силы удерживающие:

$$R = (G_{пл} + G_6 + q_3 + W_H - W_\phi - W_{взв}) \cdot \operatorname{tg}\varphi + E_{пл} \cdot \gamma'_c + c \cdot \omega, \quad (4.178)$$

$$R = (7657,41 + 10349,04 + 79,47 + 1208,5 - 1298,65 - 9792,83) \cdot 0,7 + 482,85 \cdot 0,7 + 100 \cdot 33 = 9380,05 \text{ кН/м},$$

Сила сдвигающие:

$$F = W_B^r - W_H^r + W_{волн} + E_H + E_{ак}, \quad (4.179)$$

$$F = 11897,4 - 4488,4 + 3,35 + 21,4 + 135,20 = 7568,95 \text{ кН}.$$

Тогда:

$$\frac{9380,05 \cdot 0,95}{7568,95 \cdot 0,90} \geq 1,15,$$

$$1,26 > 1,15.$$

Расчетный коэффициент не превышает 10% номинального значения, условие устойчивости плотины против сдвига выполняется.

Сооружение удовлетворяет требованиям прочности и устойчивости.

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

Высота плотины составляет 34 м, принимаем русловую компоновку. Тело плотины выполняется полностью из бетона. При ширине створа 372 м и скальное основание наиболее выгодно тело плотины выполнять полностью из бетона. При русловой компоновке все бетонные сооружения гидроузла (плотина, здание ГЭС) располагают в естественном русле реки.

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

Строительство гидроузла разбивается на 3 этапа:

1 этап – возведение сооружений, необходимых для перекрытия русла;

2 этап – возведение перекрытия русла и здания ГЭС;

3 этап наращивание сооружений и наполнение водохранилища до проектных отметок с последовательным поочередным пуском всех агрегатов.

5.1 Первый этап

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

Пропуск строительных расходов на этом этапе будет производиться по стесненному руслу реки со стороны левого берега.

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

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

Основные строительные работы 1 этапа:

возведение верховой, продольной и низовой перемычек (котлован первой очереди);

откачка воды из котлована первой очереди;

бетонирование тела водосбросной плотины до отм. 728м с организацией гребенки № 7÷9

бетонирование глухих секций № 5-6 и 20-21;

устройство глубокой цементационной завесы;

бурение дренажных скважин в основании плотины.

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

Расчетный строительный расход 3% обеспеченности составляет

$Q_{\text{стр}} = 1800 \text{ м}^3/\text{с}$, при этом глубина воды в реке равна 9 м.

Отметки гребней продольной и верховой перемычек первой очереди:

для верховой перемычки:

$$H_{\text{ВП}} = h_{\text{НБ}} + Z + a = 9 + 1 + 1,12 = 11,12 \quad (5.1)$$

для продольной перемычки:

$$H_{\text{ПП}} = h_{\text{НБ}} + Z = 9 + 0,28 = 10,12 \quad (5.2)$$

где $h_{\text{НБ}} = 9\text{м}$ – глубина воды в нижнем бьефе, соответствующая $Q_{\text{стр}} = 1800\text{м}^3/\text{с}$;

Z - значение повышения уровня воды перед верховой перемычкой;

a – конструктивный запас, принимаемый равным 1 м.

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

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{V_c^2}{2 \cdot g} - \frac{V_0^2}{2 \cdot g} = \frac{1}{0,85^2} \cdot \frac{4,6^2}{2 \cdot 9,81} - \frac{2,3^2}{2 \cdot 9,81} = 1,12 \quad (5.3)$$

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

V_0 – бытовая скорость воды в реке;

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

Бытовую скорость воды в реке можно определить по формуле:

$$V_0 = \frac{Q_{\text{стр}}}{w_0} = \frac{1800}{782,6} = 2,3, \quad (5.4)$$

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

$$V_c = \frac{Q_{\text{стр}}}{w_c} = \frac{1800}{391,3} = 4,6 \quad (5.5)$$

где w_c - площадь поперечного сечения суженной части русла при $Q_{\text{стр}}$.

По плану определяем длины верховой перемычки $L_B=41$ м и продольной перемычки $L_n=102$ м

Дополнительные площадки необходимы для правильной и безопасной организации работ в котловане.

5.1.2 Тип и конструкцию перемычек

Тип перемычек- земляная

Поперечное сечение перемычек:

типовой профиль земляных перемычек – трапециевидальный (рисунки 5.1-5.3)

Минимальная ширина по гребню 6 для удобства производства работ.

Заложение откосов:

-верховой откос 1:2

-низовой откос 1:1,5

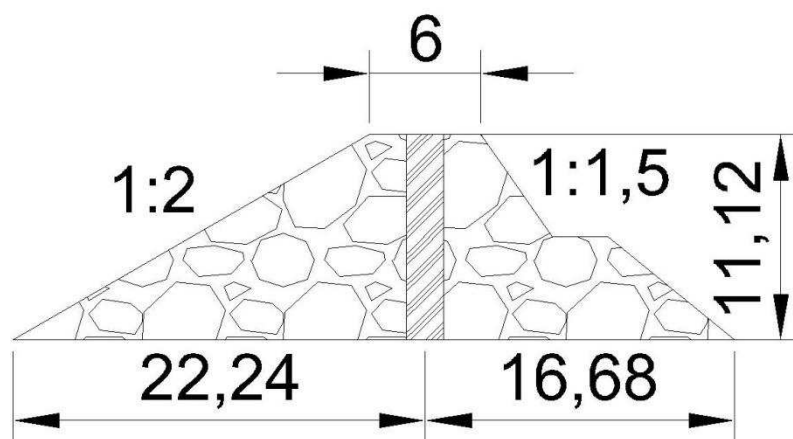


Рисунок 5.1– Верховая перемычка

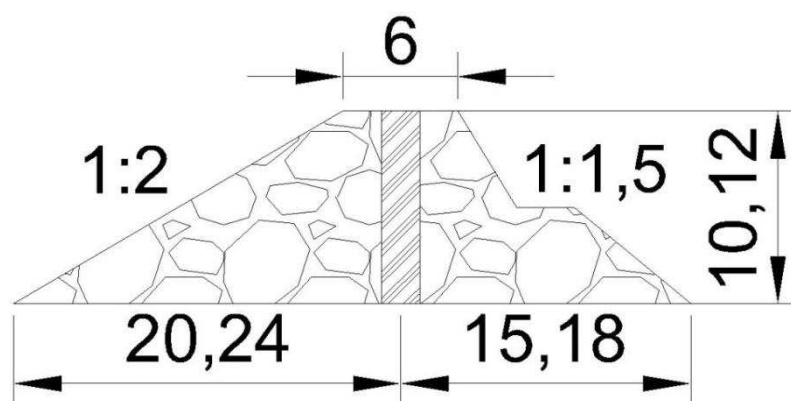


Рисунок 5.2 – Продольная перемычка

Площади поперечного сечения перемычек :

$$\omega_{\text{пп}}=202 \text{ м}^2 \omega_{\text{вп}}=242 \text{ м}^2 \quad (5.6)$$

Суммарный объём верховой и продольной перемычек первой очереди:

$$V=(\omega_{\text{пп}} \cdot L_{\text{пп}}+\omega_{\text{вп}} L_{\text{вп}})/2 =15263 \text{ м}^3 \quad (5.7)$$

Определяем отметку гребня низовой перемычки:

$$H_{\text{нп}} = h_{\text{нб}} + a = 9 + 1 = 10 \text{ м} \quad (5.8)$$

Длина низовой перемычки $L_{\text{нп}}=41 \text{ м}$.

Определяем наибольшую площадь поперечного сечения низовой перемычки $\omega_{\text{нп}}=198 \text{ м}^2$

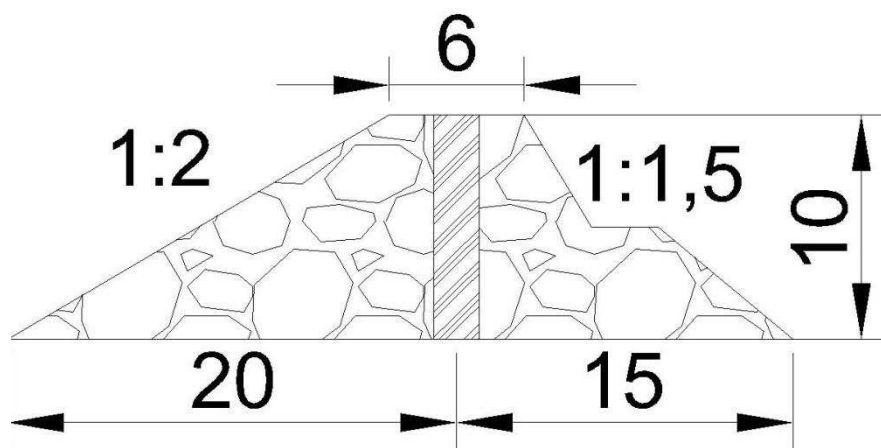


Рисунок 5.3 – Низовая перемычка

Определяем объём низовой перемычки равен:

$$V= \omega \cdot L_{\text{нп}}/2=198 \cdot 41/2=4059 \text{ м}^3 \quad (5.9)$$

Определяем время, необходимое для возведения всех перемычек:

$$t_{\text{пер}} = \Sigma V_{\text{пер}} / J_{\text{пер}}=31553,5/800 =24 \text{ сут}=1 \text{ мес}, \quad (5.10)$$

где $\Sigma V_{\text{пер}}$ – суммарный объём всех перемычек,
 $J_{\text{пер}}$ – интенсивность возведения грунтовой перемычки, принимаем $800 \text{ м}^3/\text{сут}$.

5.1.3 Осушение котлована 1-й очереди

Определяем срок начала работ:

Определяем площадь котлована 1012 м^2

Определяем глубину воды в котловане $h = 9 \text{ м}$. при среднем расходе воды в реке $Q = 576 \text{ м}^3/\text{с}$.

Находим объём воды, которую требуется откачать из котлована, $V=41492 \text{ м}^3$.

Для откачки воды из котлована выбираем консольные насосы (ЗК-13, имеющие производительность $W=40 \text{ м}^3/\text{час}$ при высоте подъема воды до 20 м) в количестве 3 шт.

Время откачки с использованием n насосов:

$$t = \frac{V}{W \cdot n} = \frac{22950}{40 \cdot 3} = 192 \text{ ч} = 8 \text{ сут} \quad (5.11)$$

$$\text{Интенсивность понижения уровня воды } \frac{h}{t} = 1,25 \text{ м/сутки} \quad (5.12)$$

5.1.4 Разработка котлована под водосливную плотину

Размеры котлована в плане составляют 102×41 , глубина $28,4 \text{ м}$.

Определяем объём вынимаемого грунта $118768,8 \text{ м}^3$.

Принимаем основные машины для разработки грунта основания (экскаватор ЭО-5122А, вместимость ковша $q_{\text{ков}} = 1,6 \text{ м}^3$).

Производительность цикла экскаватора:

$$P_{\text{эч}} = q_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot k_{\text{в}} = 1,07 \cdot 90 \cdot 0,75 = 72,3 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.13)$$

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

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

$k_{\text{р}}$ - коэффициент разрыхления грунта;

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

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

$n_{\text{ц}} = 3600/t_{\text{цэк}} = 3600/40 = 90$ - число циклов в час.

Время разработки котлована под водосбросную плотину:

$$t_{\text{выем}} = \frac{V_{\text{выем}}}{P_{\text{эч}}} = \frac{118768,8}{72,3} = 1643 \text{ час} = 69 \text{ сут}. \quad (5.14)$$

Для бесперебойной работы ведущей машины и перевозки грунта из котлована применяется АС-6890VO со следующими характеристиками:

грузоподъемность 18,7 т;
местительность кузова 31,2 м³;

Скорости транспортирования грунта по строительной дороге:

$v_{гр} = 20$ км/ч - груженный
 $v_{пор} = 30$ км/ч - порожний

Определение количества ковшей грунта в емкости автосамосвала:

$$q_{ков} = \frac{Q_{сом}}{\rho_{г} \cdot n_{ков} \cdot K_{н}} = \frac{18,7}{2,3 \cdot 6 \cdot 0,9} = 1,5 \quad (5.15)$$

$$n_{ков} = \frac{Q_{сом}}{\rho_{г} \cdot q_{к} \cdot K_{н}} = \frac{18,7}{2,3 \cdot 1,6 \cdot 0,9} = 5,6 = 6 \text{ ковшей}, \quad (5.16)$$

где $K_{н}$ – коэффициент наполнения 0,9
 $Q_{сом}$ – грузоподъемность самосвала 18,7 т
 $\rho_{г}$ - плотность грунта 2,3 кг/м³

Согласно строй генплану определяем расстояние от места выемки грунта до места разгрузки (можно задаться примерно от 1,2 до 5 км). Принимаю 3 км.

Время одного цикла транспортировки грунта:

$$t_{ца/с} = \frac{L_{т}}{v_{гр}} + \frac{L_{т}}{v_{пор}} + (t_{р} + t_{з}) = \frac{3}{20} + \frac{3}{30} + (0,033 + 0,017) = 0,35 \text{ час} = 21 \text{ мин.} \quad (5.17)$$

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

$$N_{а/с} = \frac{t_{ца}}{t_{цэ} \cdot n_{ков}} = \frac{0,35 \cdot 3600}{27 \cdot 6} = 8 \text{ машин} \quad (5.18)$$

5.1.5 Бетонные работы в нижней части водосливной плотины

Основные характеристики водосливной плотины:

Ширина подошвы плотины $B=33$ м,

Высота бетонируемой части водосливной плотины $h=28,4$ м,

Длина бетонируемого участка плотины $L= 46,5$ м.

Определяем общий объем бетонируемой части водосливной плотины(рисунок 5.4):

$$V_{б.р.} = B \cdot L \cdot h = 33 \cdot 46,5 \cdot 28,4 = 43579,8 \text{ м}^3. \quad (5.19)$$

Задаемся интенсивностью бетонирования $J_6=8000 \text{ м}^3/\text{мес}$.
 Определяем время бетонирования $t= 43579,8/8000 = 6 \text{ мес}$

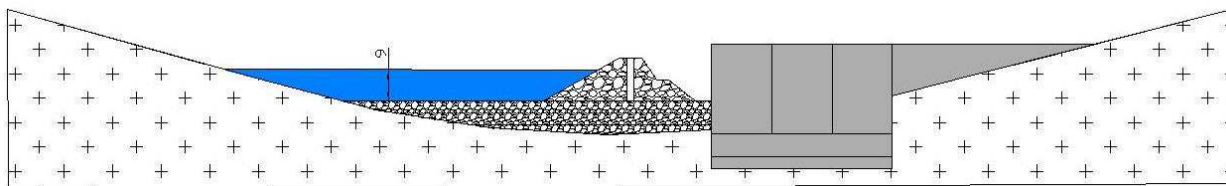


Рисунок 5.4 – Поперечный разрез плотины на первом этапе строительства

5.1.6 Расчет пропуска расчетного строительного расхода через гребенку

верховая перемычка низовая перемычка :

$$\text{ГВП} = \text{УВБ} + d = 728,9 + (1,5 + 2,0) = 732,4 \text{ м}; \quad (5.20)$$

низовая перемычка:

$$\text{ГНП} = \text{УНБ} + a = 721 + (0,5 + 2,0) = 723,5 \text{ м}. \quad (5.21)$$

5.2 Второй этап

Основные работы второго этапа:

разбирают низовую перемычку первой очереди и затапливают котлован;
 разбирают верховую перемычку первой очереди (вода пропускается через донные отверстия);

отсыпают банкет для перекрытия реки и образования котлована второй очереди, для возведения станционной части плотины;

возводят станционную часть плотины и подводную часть здания ГЭС с монтажом металлоконструкций в водоотводящем тракте;

устраивают глубокую цементационную завесу;

бурят дренажные скважины в основании плотины;

разрабатывают грунт под отводящий канал здания ГЭС.

Возведение перемычек второй очереди:

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

Верхового 1:2

Низового 1:1,5

Ширину по гребню принимаем 6 м.

Площадь поперечного сечения банкета составляет $\omega = 395,5 \text{ м}^2$

Длина банкета составляет $L_{\text{бан}} = 102 \text{ м}$.

Объем банкета равен:

$$V=L_{\text{бан}} \cdot \omega / 2 = 20170 \text{ м}^3 \quad (5.22)$$

Конструкция низовой перемычки второй очереди аналогична низовой перемычке первой очереди, длина ее $L_{\text{низ}}=41$ м.

Объём низовой перемычки равен:

$$V= \omega \cdot L_{\text{низ}}/2= 4059 \text{ м}^3. \quad (5.23)$$

Определим время необходимое для возведения банкета и низовой перемычки отдельно:

$$t_{\text{бан}} = V_{\text{бан}} / J_{\text{бан}} = 25 \text{ сут}$$

$$t_{\text{пер}} = V_{\text{пер}} / J_{\text{пер}} = 5 \text{ сут}$$

Осушение котлована 2-й очереди:

Глубина воды в котловане при среднем расходе воды в реке $Q = 689 \text{ м}^3/\text{с}$) равна $h = 3$ м.

Таким образом, объём воды, которую требуется откачать из котлована равен $V = 12546 \text{ м}^3$.

Для откачки воды из котлована используем те же насосы, что и на котловане первой очереди консольные насосы.

Проведем расчет времени откачки с использованием 3-мя насосов. Время откачки составит:

$$t = 105 \text{ часов} \approx 5 \text{ суток.}$$

Интенсивность откачки воды составит 0,6 м/сутки.

Эти же 3 насоса будем применять и в дальнейшем для поддержания котлована в осушенном состоянии.

Разработка котлована под глухую плотину и здание ГЭС:

Определим объемы разрабатываемого грунта в котловане второй очереди.

Размеры котлована под стационарную часть плотины, здание ГЭС и глухие секции №№ 11 ÷ 18 в плане составляют 98 х 41, глубина 38 м. Таким образом, объем вынимаемого грунта равен $V= 182684 \text{ м}^3$.

Для разработки скального грунта основания – гранит, используем экскаватор ЭО-5122А (производительность цикла $P_{\text{эч}} = 72,3 \text{ м}^3/\text{час}$ была определена выше).

Определим время разработки котлована под стационарную часть плотины и здания ГЭС:

$$t_{\text{выем}} = \frac{V_{\text{выем}}}{\Pi_{\text{эч}}} = 2113 \text{ часа} = 88 \text{ суток.} \quad (5.24)$$

Подбираем машины для транспортировки грунта.

Бетонные работы в глухих центральной части плотины

Ширина нижней части глухих секций $B = 33 \text{ м}$.

Высота бетонируемого участка $h = 21,7 \text{ м}$

Длина бетонируемого участка плотины $L = 71 \text{ м}$

Объём бетона:

$$V = B \cdot L \cdot h = 50843,1 \text{ м}^3. \quad (5.25)$$

Время бетонирования $t = 6 \text{ мес}$.

Бетонные работы в подводной части здания ГЭС:

Ширина подводной части здания ГЭС $B = 65,5 \text{ м}$

Высота подводной части здания ГЭС $h = 37,7 \text{ м}$

одной части здания ГЭС $L_{\text{ГЭС}} = 60 \text{ м}$

Объём бетона:

$$V = B \cdot L \cdot h = 148161 \text{ м}^3 \quad (5.26)$$

Время бетонирования $t = 16 \text{ мес}$ (рисунок 5.5).

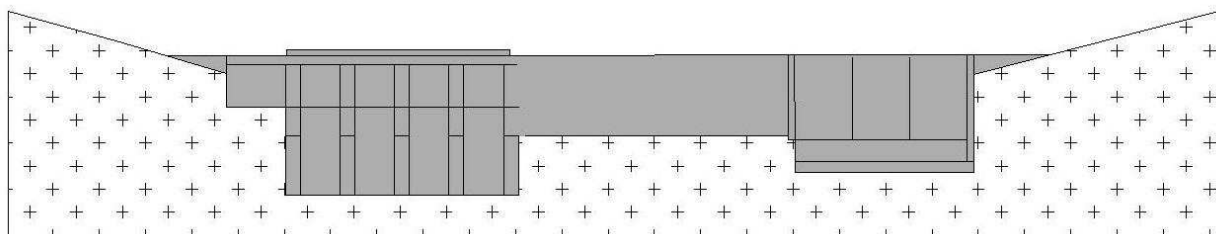


Рисунок 5.5 – Поперечный разрез плотины на втором этапе строительства

5.3 Третий этап

Разбирают низовую и продольную перемычки 2-й очереди.

Третий этап разделил на два этапа бетонирования: 1- до отметки 742, 2- до отметки 747,2.

Разрабатывают котлованы под право- и левобережные глухие плотины - секции №№ 19 и 24- правобережная, 1 и 6 -левобережная

Проводят наращивание плотины по всему напорному фронту до отметки

728 м.

Устраивают глубокую цементационную завесу в основании секций №№ 1 по 24. Под этими же секциями бурят дренажные скважины в основании плотины.

Разбирают низовую перемычку. Возводят надводную часть здания ГЭС. Начинают монтаж гидроагрегатов.

Разработка котлованов под береговые участки плотины:

Правобережный котлован, секции 23 ÷ 24:

Длина 16 м, характерная ширина 33, глубина 4,5 м.

Объем правобережного котлована

$$V = 2376 \text{ м}^3.$$

Время на разработку грунта:

$$V/P_{\text{эч}} = 33 \text{ час} = 2 \text{ суток.} \quad (5.27)$$

Левобережный котлован, секции 1 ÷ 2:

Длина 21 м, характерная ширина 33, глубина 5,2 м.

Объем правобережного котлована :

$$V = 3326,4 \text{ м}^3.$$

Время на разработку грунта:

$$V/P_{\text{эч}} = 46 \text{ час} = 2 \text{ суток.} \quad (5.28)$$

Бетонные работы береговых участков плотины.

Левобережная глухая плотина, секции 1 ÷ 2:

Площадь поперечного сечения участка плотины
 $\omega_{\text{п}} = 38 \text{ м}^2$

$$\text{Объём бетона } V = \omega_{\text{п}} \cdot B = 1762,2 \text{ м}^3 \quad (5.29)$$

Принимаем интенсивность бетонирования 3000 м^3
Время бетонирования $t = 0,6 \text{ мес.}$

Правобережная глухая плотина, секции 1 ÷ 2:

Площадь поперечного сечения участка плотины
 $\omega_{\text{п}} = 53,4 \text{ м}^2$

$$\text{Объём бетона } V = \omega_{\text{п}} \cdot B = 1254 \text{ м}^3 \quad (5.30)$$

Принимаем интенсивность бетонирования 3000 м^3
Время бетонирования $t = 0,45 \text{ мес.}$

Бетонные работы по всему напорному фронту между отметками
728 и 747,2 (рисунок 5.6) :

Наибольшая высота участка бетонирования 19,5 м;
Длина бетонлируемого участка плотины $L_{\text{пл}} = 372 \text{ м}$;
Ширина 33 м;
Наибольшая площадь поперечного сечения участка плотины
 $\omega_{\text{п}} = 5851,8 \text{ м}^2$.

Объём бетона:

$$V = \omega_{\text{п}} \cdot B = 193109,4 + 74080,5 \text{ м}^3. \quad (5.31)$$

Принимаем интенсивность бетонирования 15000 м^3
Время бетонирования $t = 18 \text{ мес.}$

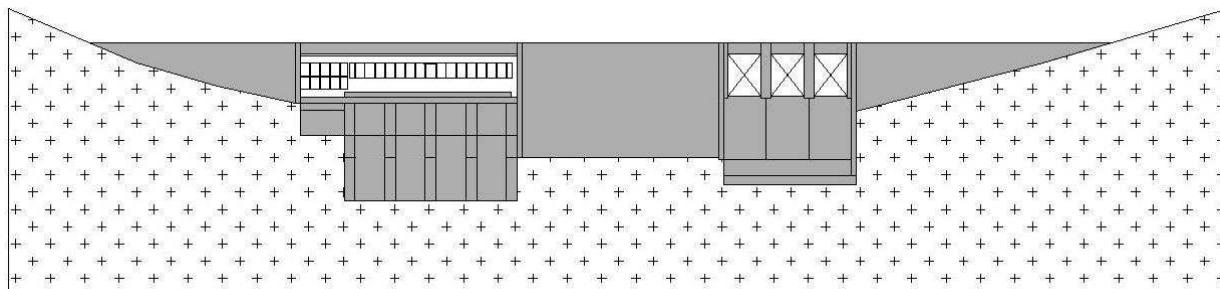


Рисунок 5.6 – Поперечный разрез плотины на третьем этапе строительства

Объемы всех земляных и бетонных работ приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Определение объемов работ

№ этапа	Вид работы	Наименование работы	Объемы выполняемых работ, м ³
1	Земляные	Отсыпка продольной перемычки первой очереди	10302
		Отсыпка низовой перемычки первой очереди	4059
		Отсыпка верховой перемычка первой очереди	4961
	Откачка воды	Осушения котлована первой очереди	41492
	Земляные	Разработка котлована под водосбросную плотину	118768,8
	Бетонные	Бетонирование нижней части водосбросной плотины	43579,8
2	Земляные	Отсыпка банкета	20170
	Земляные	Отсыпка низовой перемычки второй очереди	4059
	Откачка воды	Осушение котлована	12546
2	Земляные	Разработка котлована второй очереди	152684
	Бетонные	Возведение средней глухой плотины	50843,1
	Бетонные	Бетонирование здания ГЭС	148161
3	Земляные	Разработка котлованов под право- и левобережную части плотины	5702,4
	Бетонные	Бетонирование плотины между отметками 728÷747,2	193109,4
	Земляные	Разборка низовой перемычки второй очереди	4059

6 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации

6.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии

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

Электрическая энергия является также товаром, который приобретают участники оптового рынка у генерирующих компаний, а участники розничного рынка у энергосбытовых компаний. Цена на электрическую энергию выражается в рублях и копейках за потребленный киловатт-час (коп/кВт·ч, руб/кВт·ч).

Оценки объёмов реализации электроэнергии в первые годы эксплуатации представлены в таблица 6.1.

Особенности электроэнергии:

- Электроэнергию нельзя «складировать».
- Электроэнергия это продукт, поставляемый многими производителями в общие электрические сети.
- Электроэнергия это товар первой необходимости.

Таблица 6.1 – Оценка объёмов реализации электроэнергии в первые годы эксплуатации

Наименование показателя	Единица измерения	Год реализации проекта			
		2021	2022	2023	2024
Установленная мощность	МВт	212	212	212	212
Число часов использования установленной мощности	Часы	8640	8640	8640	8640
Выработка электроэнергии	МВт*ч	1832026	1832026	1832026	1832026
Расход электроэнергии на собственные нужды	%	2	2	2	2
Расход электроэнергии на собственные нужды	МВт*ч	36640,51	36640,51	36640,51	36640,51
Объём реализации электроэнергии	МВт*ч	1795385	1795385	1795385	1795385
Тариф на электроэнергию	руб/ МВт*ч	1042	1077	1110	1143
Выручка от реализации электроэнергии	млн.руб.	155,8	161,1	166	171
НДС к выручке	млн.руб	23,78	24,58	25,33	26,08

6.2 Текущие расходы по гидроузлу

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

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

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

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

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

Текущие расходы по гидроузлу включают в себя:

- расходы по страхованию имущества;
- эксплуатационные расходы;
- расходы на ремонт производственных фондов;
- расходы на услуги регулирующих организаций;
- налог на воду.

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

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

Эксплуатационные расходы представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Эксплуатационные расходы гидроузла

Наименование	Ставка, тыс.руб/Мвт	Сумма, млн.руб.
Расходы на оплату труда	255,2	21,71
Прочие	274,0	23,51
Итого по ГЭС		45,22

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

Таблице 6.3 – Удельные значения расходов на ремонт

Этап проекта	Величина
2016-2021	0,06
2022-2031	0,09
2032-2041	0,08

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

Таблица 6.4 – Расходы на услуги регулирующих организаций

Наименование	Ставка	Сумма, млн.руб.
АО «СО – ЕЭС»	135,38 тыс.руб/Мвт	28,7
АО АТС (администратор торговой системы)	0,001097 тыс.руб/Мвт*ч	2,01
АО ЦФР (центр финансовых расчетов)	0,000318 тыс.руб/Мвт*ч	0,58
Итого		31,29

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

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

Таблица 6.5 – Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2020	2021	2022	2023	2024
Амортизационные отчисления, млн.руб.	81,6	82,8	82,8	82,8	82,8
Расходы на страхование, млн.руб.	30,7	30,7	30,0	29,1	28,7
Эксплуатационные затраты, млн.руб.	107,7	107,7	107,7	107,7	107,7
Расходы на ремонт производственных фондов, млн.руб.	23,0	23,0	33,7	32,8	31,9
Расходы на услуги регулирующих компаний, млн.руб.	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3
Налог на воду, млн.руб.	8,1	8,8	8,8	8,8	8,8
Итого, млн.руб.	282,4	284,7	294,2	292,5	290,9

Для большей наглядности текущие затраты по гидроузлу представлены в виде диаграммы (рисунок 6.1).

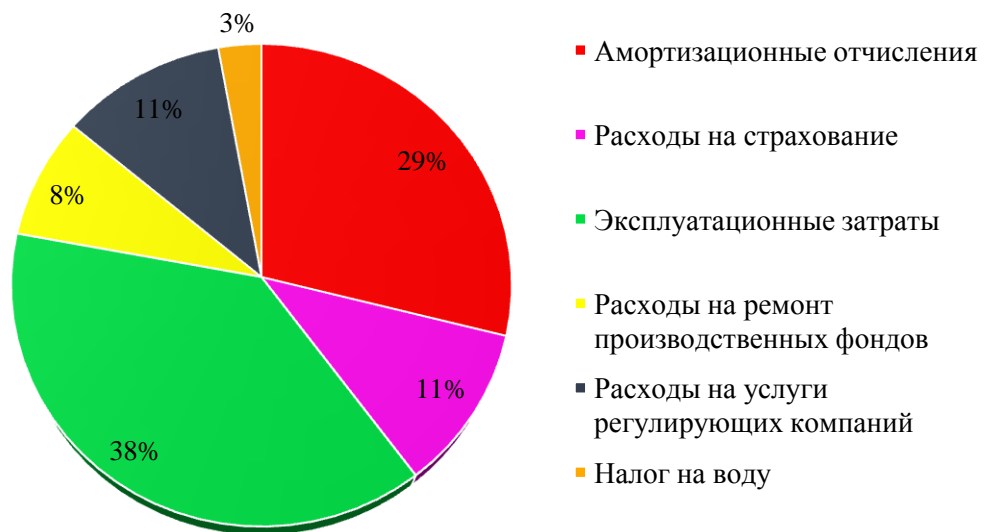


Рисунок 6.1– Структура текущих затраты по гидроузлу, %

6.3 Налоговые расходы

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

Учтены следующие налоги:

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

Предполагаемые налоговые расходы при отсутствии льгот за период 2023-2027 годы приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6– Налоговые расходы

Наименование	Год реализации проекта				
	2021	2022	2023	2024	2025
Налог на прибыль, млн.руб.	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
НДС, млн.руб.	248,1	309,5	319,0	329,0	338,4
Взносы в социальные фонды, млн.руб.	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4
Налог на имущество, млн.руб.	72,1	69,1	67,3	65,5	63,6
Итого, млн.руб.	341,5	399,8	407,5	415,7	423,1

6.4 Оценка суммы прибыли от реализации электроэнергии и мощности

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

Годовая прибыль первых лет эксплуатации представлена в таблице 6.7. График чистой прибыли представлен на рисунке 6.2.

Таблица 6.7 – Годовая прибыль в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2020	2021	2022	2023	2024
Выручка (нетто), млн.руб.	1610,9	1668,0	1724,2	1776,6	1832,7
Текущие расходы, млн.руб.	282,4	284,4	294,2	292,5	290,8
ЕВИТДА (Валовая прибыль), млн.руб.	1328,5	1383,6	1430,0	1484,0	1541,8
ЕВИТ(прибыль от налогообложения), млн.руб.	1328,5	1383,6	1430,0	1484,0	1541,8
Скорректированный налог на прибыль, млн.руб.	265,7	276,7	286,0	296,8	308,4
НОРАТ (чистая прибыль), млн.руб.	1062,8	1106,8	1144,0	1187,2	1233,5
Ставка налога на прибыль, %	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

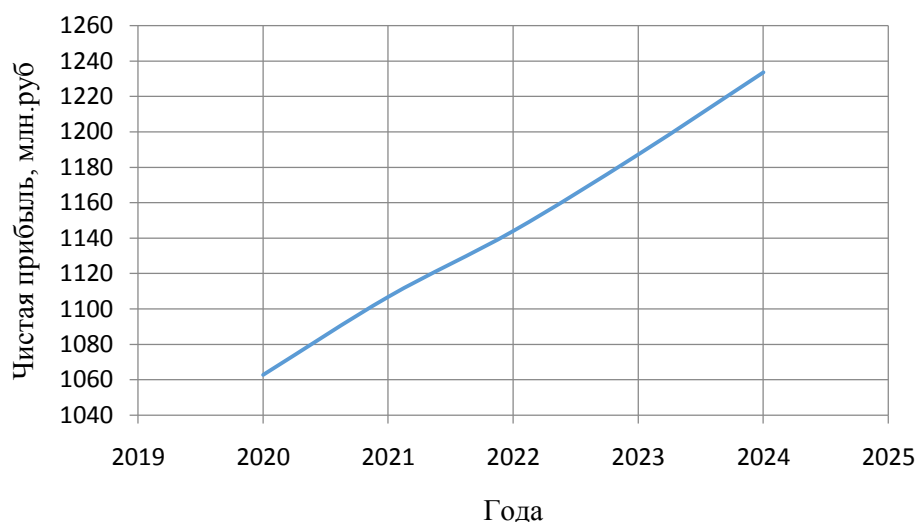


Рисунок 6.2 – Чистая прибыль, млн. руб.

6.5 Оценка инвестиционного проекта

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

6.5.1 Методология, исходные данные

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

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

Расчёт показателей эффективности проекта выполняется в соответствии с:

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

б) «Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО», Москва, 2008 г., утвержденными РАО «ЕЭС России» от 31.03.2008г № 155 и Главгосэкспертизой России от 26.05.99г. №24-16-1/20-113.

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

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

Для целей оценки эффективности инвестиционного проекта принимаются следующие предпосылки:

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

6.5.2 Коммерческая эффективность

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

Таблица 6.8 – Показатели эффективности реализации проекта «Бий-Хемская ГЭС на реке Б. Енисей»

Наименование	2016
Ставка дисконтирования	11,60
Дисконтированный период окупаемости - DPB, год	7,3
Средняя норма рентабельности - ARR, %	37,66
Чистый приведенный доход – NPV, млн.руб	6962,8
Индекс прибыльности – PI, руб.	2,91
Себестоимость эл.энергии, руб/Квт*ч	0,15
Удельные капиталовложения, руб/Квт	75314,1

6.5.3 Бюджетная эффективность

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

Таблица 6.9 – Предполагаемые налоговые поступления в федеральный и региональные бюджеты

Наименование	2020	2021	2022	2023	2024
В федеральный бюджет, млн.Рублей	29072,4	278101,7	339466,1	348959,8	358999,5
В региональный бюджет, млн.Рублей	68668,26	72172,74	69130,89	67308,76	65487,5
Итого налоговых поступлений, млн.Рублей	9786,1	350395,3	408717,8	416389,4	424607,9

6.5.4 Анализ чувствительности

Под анализом чувствительности проекта понимается оценка влияния на показатель доходности проекта (IP).

Техника проведения анализа чувствительности состоит в изменении выбранных параметров в определенных пределах, при условии, что остальные параметры остаются неизменными. Чем больше диапазон вариации параметров, при котором NPV или норма прибыли остается положительной величиной, тем устойчивее проект.

В данном разделе проведен анализ чувствительности величины прогнозного тарифа к изменениям:

- Стоимости строительства по проекту;
- Цены электроэнергии;
- Ставки дисконтирования;
- Иных существующих параметров (налоговых выплат, уровня инфляции).

Пределы изменения рассматриваемых факторов определялись экспертно и представлены в таблице 6.10-6.11 и на рисунках 6.3-6.5.

Таблица 6.10-Изменение PI в зависимости от изменения факторов

Наименование	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%
Объём инвестиций	8,73	8,41	8,09	7,78	7,47	7,15	6,84
Цена сбыта	4,28	5,45	6,62	7,78	8,95	10,12	11,28

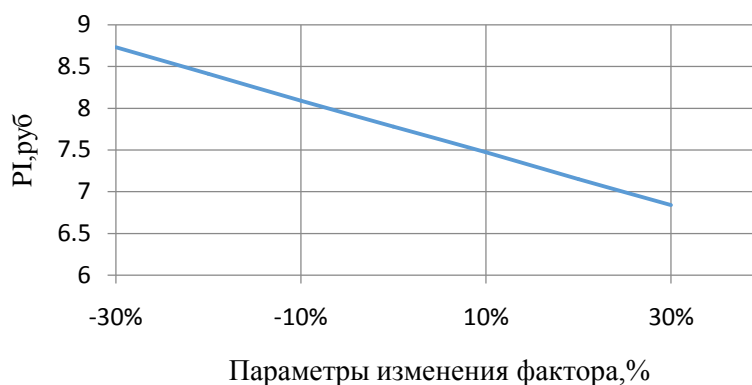


Рисунок 6.3-Сумма PI от в зависимости от изменения объёма инвестиций

Вывод: Увеличение объёма инвестиций- уменьшение величины PI.

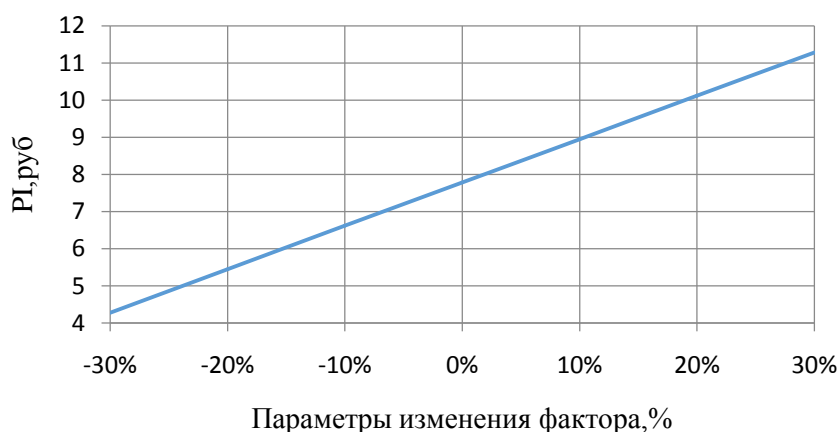


Рисунок 6.4-Сумма PI в зависимости от изменения объёма сбыта

Вывод: Увеличений цены сбыта –увеличение величины PI.

Таблица 6.11-Сумма PI от изменения ставки дисконтирования

Изменение ставки дисконтирования	0%	10%	20%	30%
PI, руб	40,27	9,56	2,73	0,59

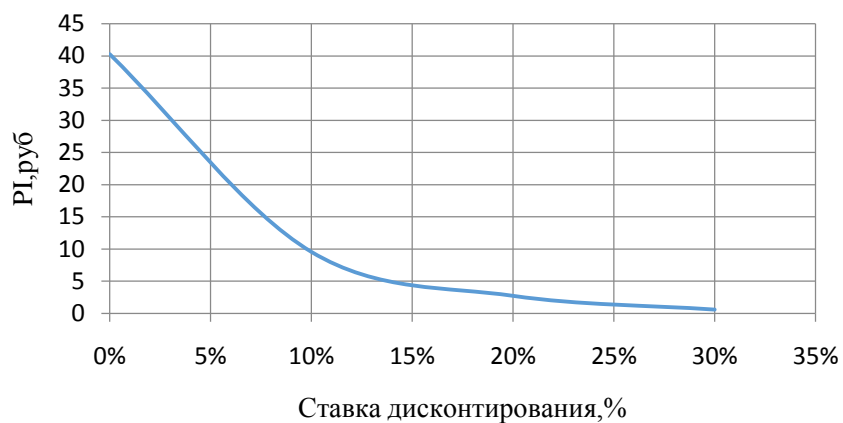


Рисунок 6.5 – Сумма PI в зависимости от изменения ставки дисконтирования

Вывод: Увеличение ставки дисконтирования–уменьшение величины PI.

7 Мероприятия по охране окружающей среды в зоне влияния Бий-Хемской ГЭС. Охрана труда и противопожарная безопасность

7.1 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства

При строительстве Бий-Хемской ГЭС 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 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, исключающие затопление и подтопление оставляемых населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений, обеспечивающие нормальные условия труда и быта населения;

- технические мероприятия по дренированию естественного поверхностного стока с собственной территории инженерной защиты;

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

7.2 Мероприятия по подготовке ложа водохранилища

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Основные мероприятия по охране окружающей среды в данный период:

1 Организационные

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

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

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

1.4 Получение разрешений на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

1.5 Получение разрешений на сброс загрязняющих веществ в водные объекты;

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

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

1.8 Организация и проведение производственного экологического контроля

2 Санитарно-технические

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

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

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

2.4 Передача отработанных масел на обезвреживание специализированной организации;

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

2.6 Организация контроля за соблюдением установленных нормативов ПДВ

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

2.8 Соблюдение режима хозяйствования в водоохранной зоне;

2.9 Передача хозяйственно бытовых сточных вод специализированной организации на обезвреживание;

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

7.3 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации

В период эксплуатации Бий-Хемского ГУ воздействие на окружающую среду будет оказываться:

1) Сбросом сточных (дренажных, дождевых и талых) вод;

2) Выбросами в атмосферу от: периодического опробования дизель-генераторов, сварочных и окрасочных работ, проводимых в период текущих и капитальных ремонтов;

3) Образованием отходов при эксплуатации, техобслуживании и текущих капитальных ремонтах оборудования, производственных зданий и сооружений;

4) На среду обитания населения близлежащих населенных пунктов, связанные с процессом строительства и эксплуатации ГЭС и состоянием гидротехнических сооружений.

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

1. Регулирование водным режимом водотока;

2. Очистка воды, сбрасываемой в водные объекты;

3. Обеспечение условия непопадания масел и других загрязняющих веществ в водный объект;

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

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 Большой Енисей от сбросов Бий-Хемской ГЭС ниже по течению реки.

- 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 водоохраных мероприятий, обеспеченных источником финансирования, подрядными организациями и согласованных с центром государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

8 Мониторинг безопасности дамб хвостохранилищ

Для удаления и организованного хранения отходов, образующихся при обогащении и гидрометаллургической переработке руд и концентратов, предусматривается специальный комплекс сооружений - хвостовое хозяйство. Транспортировка, складирование и хранение отходов является неотъемлемой частью рудоперерабатывающего производства. Мероприятия по удалению и складированию отходов следует рассматривать как временные, экологически опасные, относящиеся к недостаткам существующей и общепринятой технологии извлечения металлов из руд.

Хвостохранилище — комплекс специальных сооружений и оборудования, предназначенный для складирования радиоактивных, токсичных и других твердых или жидких отходов обогащения полезных ископаемых, именуемых хвостами.

Общие положения:

Контроль осуществляется за состоянием ограждающих сооружений хранилища (плотин, дамб), работой дренажных и противofильтрационных мероприятий, водосбросных и водоотводящих устройств.

На хранилищах проводятся следующие обязательные эксплуатационные наблюдения за:

- осадкой ограждающих сооружений, основания и береговых склонов;
- фильтрацией в ограждающих сооружениях, основании и на примыкающей территории;
- температурой и химическим составом фильтрационной воды.

Эти наблюдения осуществляются визуально или с помощью контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), установка которой производится в соответствии с проектом. Для хранилищ I - III классов капитальности выше 15 м установка КИА является обязательной. На хранилищах IV и V классов капитальности проводятся только визуальные наблюдения.

Визуальные и инструментальные наблюдения осуществляются одновременно и дополняют друг друга. Большое значение визуальные наблюдения приобретают на тех участках хранилища, где КИА отсутствует и установка ее по каким-либо причинам затруднена.

На хранилищах I и II классов капитальности помимо вышеперечисленных организуются также наблюдения за:

- горизонтальными смещениями ограждающих сооружений и основания;
- послойным сжатием грунтов ограждающих сооружений и основания;
- поровым давлением в грунтовых противofильтрационных элементах и основании.

На хранилищах, возводимых в суровых климатических условиях, осуществляется мерзлотный контроль и наблюдения за температурным режимом ограждающих сооружений.

Наблюдения за деформациями:

Наблюдения за деформациями хранилища состоят в определении вертикальных и горизонтальных перемещений поверхностных и внутренних зон ограждающих сооружений. Целью этих наблюдений является выявление участков сооружения, являющихся наиболее слабыми и опасными в отношении устойчивости.

Для этого в определенных точках, расположенных на поверхности и внутри тела сооружения и основания, устанавливаются специальные устройства - марки.

Вертикальные перемещения (осадка или подъем) сооружения определяются методом геометрического нивелирования высотного положения марок.

Полная (суммарная) осадка земляных сооружений определяется с помощью грунтовых марок, которые устанавливаются на поверхности сооружения и называются поверхностными. Осадка основания определяется по глубинным маркам, устанавливаемым на границе подошвы сооружения и основания. В зависимости от назначения, условий установки и методики наблюдений применяются поверхностные и глубинные марки различных типов и конструкций.

Для хранилищ рекомендуются следующие поверхностные марки (рис. 1), которые устанавливаются после возведения ограждающих дамб и плотин в буровые скважины или шурфы. Марка, показанная на рисунке 8.1, может быть использована также в качестве временной марки при наблюдениях за осадкой на промежуточных стадиях возведения хранилища.

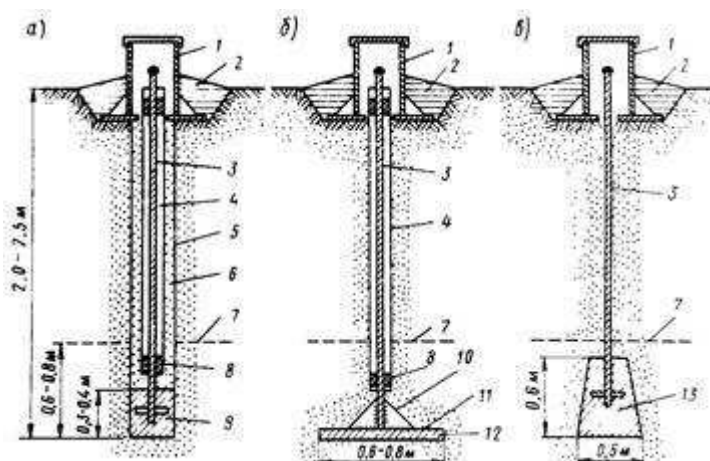


Рисунок 8.1— Поверхностные грунтовые марки:
а, б - постоянные марки; в - временная марка

Наблюдения за послойным сжатием грунтов осуществляются с помощью различных многоярусных марок. Опорные части этих марок устанавливаются в нескольких точках по высоте сооружения или на границе сжимаемых слоев основания.

Глубинная многоярусная телескопическая марка для определения послойной осадки тела сооружения (рисунок 8.2, а) состоит из металлических или бетонных плит размером 100'100 см и жестко прикрепленных к ним вертикальных труб-стояков. При возведении сооружения плиты укладываются на выровненную поверхность грунта на заданных отметках. Диаметр трубы-стояка каждой из последующих плит увеличивается с таким расчетом, чтобы они свободно входили одна в другую. По мере роста высоты сооружения трубы наращиваются и выводятся на поверхность, образуя телескопическую систему. На поверхности трубы обрезаются на разных уровнях таким образом, чтобы было удобно производить их нивелирование.

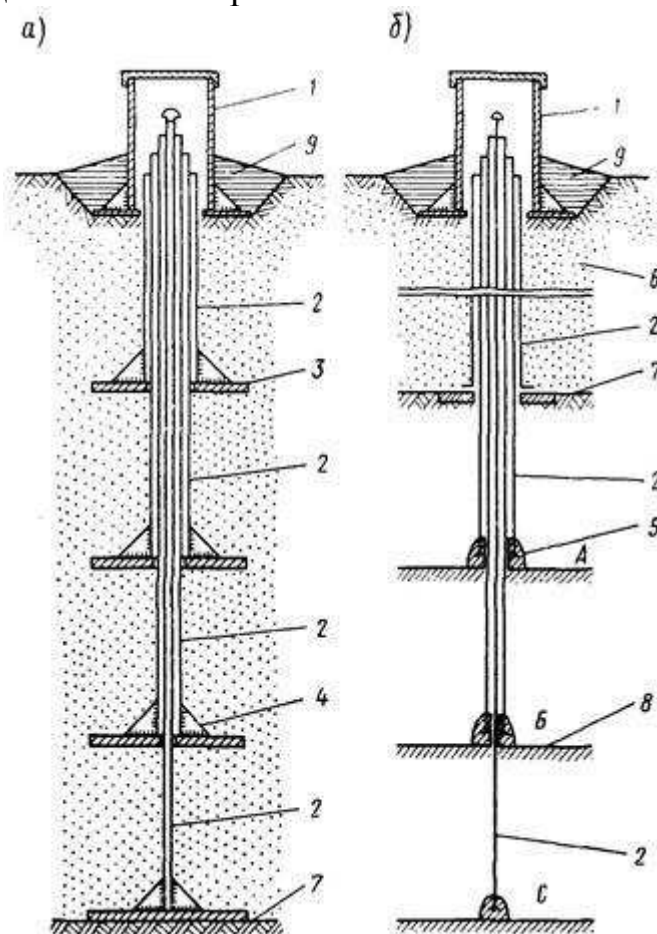


Рисунок 8.2 – Глубинные многоярусные марки:
а - для тела сооружения; б - для основания сооружения

Наблюдения за горизонтальными смещениями ограждающих сооружений-хранилищ осуществляются с помощью одного из следующих геодезических методов: створного, триангуляционного или комбинированного.

Определение относительных смещений сооружения вдоль оси рекомендуется производить измерением расстояний между центрами поверхностных марок с помощью инварной ленты, для чего на марках делается насечка в виде двух перекрещивающихся линий.

К местным (локальным) деформациям относятся осадки и смещения незначительных масс грунта, не влияющие на общую устойчивость

сооружения. На участках, где обнаружены местные деформации, для наблюдения за скоростью перемещений грунта устанавливаются временные марки упрощенной конструкции. Наблюдения по временным маркам производятся чаще, чем по постоянным, и продолжаются до затухания деформаций или начала ремонтных работ на данном участке.

Измерение высотного и планового положения поверхностных и глубинных марок производится нивелированием III класса от фундаментальных и рабочих реперов постоянной опорной сети, создаваемой на участке хранилища. Фундаментальные реперы располагаются на коренных породах вдали от карстовых и оползневых участков и выполняются по типу глубинных штанговых марок. Рабочие реперы размещаются вблизи сооружения в местах, где осадки весьма незначительны по сравнению с осадками марок.

Во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева разработано устройство - датчик больших перемещений (рисунок 8.3), позволяющее дистанционно измерять осадку глубинных штанговых марок. Работа датчика основана на применении электрического колебательного контура. Датчик состоит из катушки индуктивности, катушки связи, подвижного сердечника и позволяет измерять относительные перемещения в диапазоне от 1 до 50 см. При установке датчика конструкция верхней части марки изменяется: штанга заканчивается сердечником датчика, который входит в катушку индуктивности. Оборудование глубинной марки датчиком схематично показано на рис.

Для контроля за осадкой тела ограждающих плотин и дамб может применяться также радиоизотопный метод, разработанный Харьковским отделом ВНИИ ВОДГЕО и Ворошиловградским филиалом НИИСПа. Этот метод заключается в следующем: в тело сооружения закладываются радиоизотопные реперы в виде ампул с радиоактивными излучателями. Наблюдения за положением радиоизотопных излучателей осуществляются с помощью измерительного зонда, опускаемого в наблюдательную скважину на мерном кабеле. Точность измерения осадки составляет 5 мм.

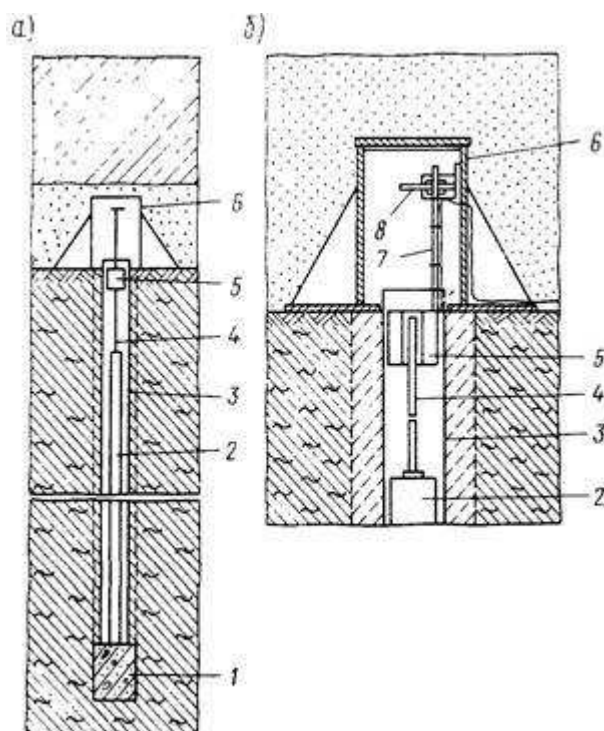


Рисунок 8.3 – Датчик больших перемещений:
 а - глубинная марка; б - верхняя часть марки с датчиком

Фильтрационные наблюдения:

Фильтрационные наблюдения на хранилищах установлены за движением фильтрационного потока из прудка через ограждающие сооружения, в основании и береговых сопряжениях (обходная фильтрация).

При фильтрационных наблюдениях контролируются следующие параметры:

- а) отметка уровня воды и глубина отстойного прудка;
- б) положение депрессионной кривой в чаше хранилища и ограждающих сооружениях (дамбах и плотинах);
- в) пьезометрические уровни грунтовых вод в основании хранилища, в берегах и на прилегающей территории;
- г) расходы фильтрационных вод из дренажей системы и сосредоточенных выходов в случае их появления;
- д) скорости течения и направление движения фильтрационного потока в теле и основании хранилища.

Наблюдения за уровнем воды в отстойном прудке хранилища проводятся по специальным водомерным рейкам, устанавливаемым в наиболее доступных и удобных для измерения местах, или с помощью различных автоматических самопишущих приборов (СУВ-М «Валдай», ГР-38 и т.д.).

Наблюдения за фильтрацией из хранилища осуществляются с помощью опускаемых трубчатых пьезометров (рисунок 8.4). В зависимости от назначения пьезометров и места их установки они могут быть шахтными и точечными (глубинными). Шахтные пьезометры устанавливаются в теле отвалов и ограждающих плотин и дамб для контроля за положением депрессионной кривой. Точечные пьезометры устанавливаются в водопроницаемых слоях основания и берегов для контроля за распределением пьезометрических уровней грунтового потока.

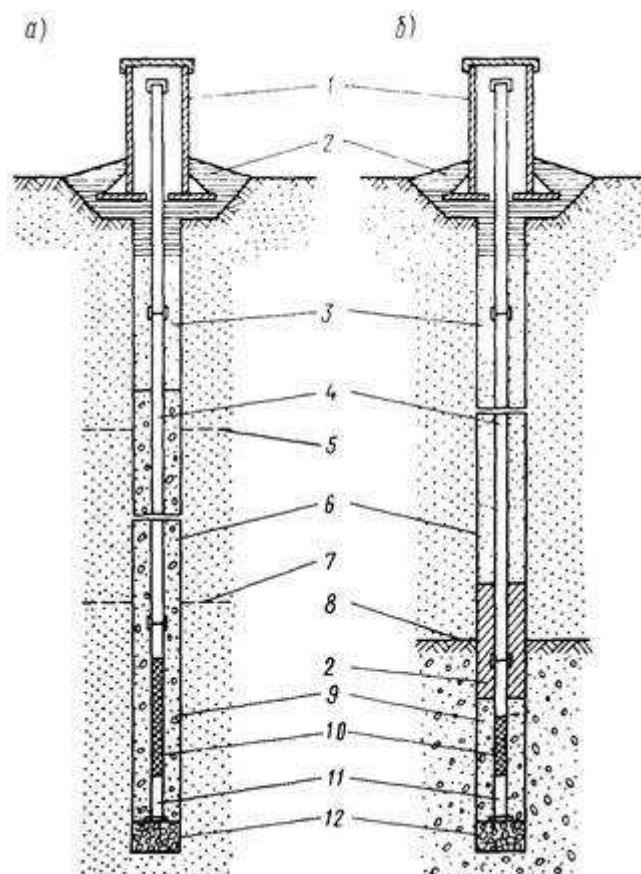


Рисунок 8.4 – Опускные пьезометры:
а - шахматный; б - точечный

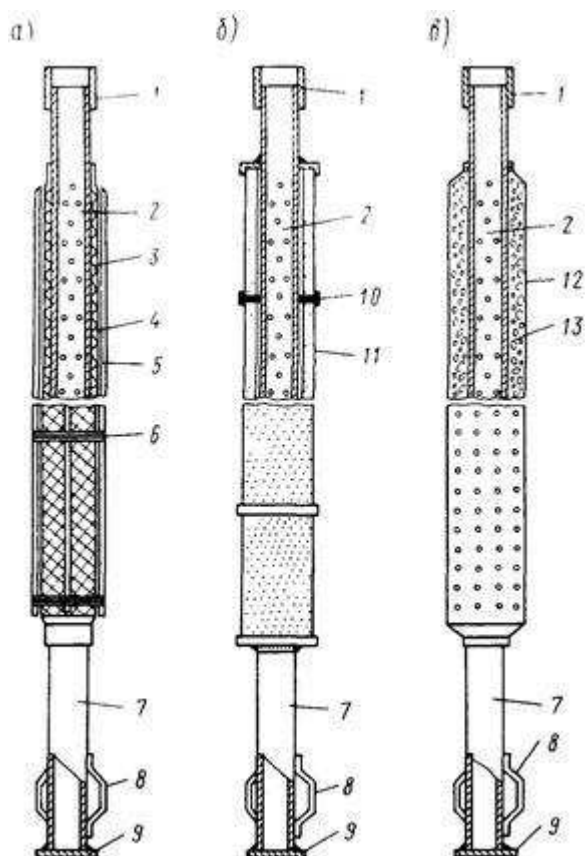


Рисунок 8.5 – Конструкции фильтров пьезометров:
 а - с применением пластмасс; б - блочные; в - кожуховые

Пьезометр в собранном виде (рисунок 8.5), т.е. со смонтированным водоприемником (фильтром) и отстойником, устанавливается в буровую скважину диаметром не менее 200 мм, обсаженную трубами. Пространство между пьезометрической трубой и стенкой скважины в точечных пьезометрах засыпается на всю длину водоприемника просеянным и промытым крупнозернистым песком или смесью песка с гравием. В шахтных пьезометрах фильтровая обсыпка делается в пределах возможного колебания депрессионной кривой. Выше и ниже фильтровой обсыпки затрубное пространство забивается пластичной мятой глиной или суглинками. Обсадная труба по мере заполнения скважины извлекается.

Если необходимо измерить пьезометрические уровни в нескольких точках по глубине сооружения, можно применять совмещенный пьезометр, состоящий из 2 или 3 пьезометров, установленных в одну скважину (рисунок 8.6). Фильтры пьезометров размещаются на разных уровнях и тщательно изолируются с помощью тампонов из глины или суглинка.

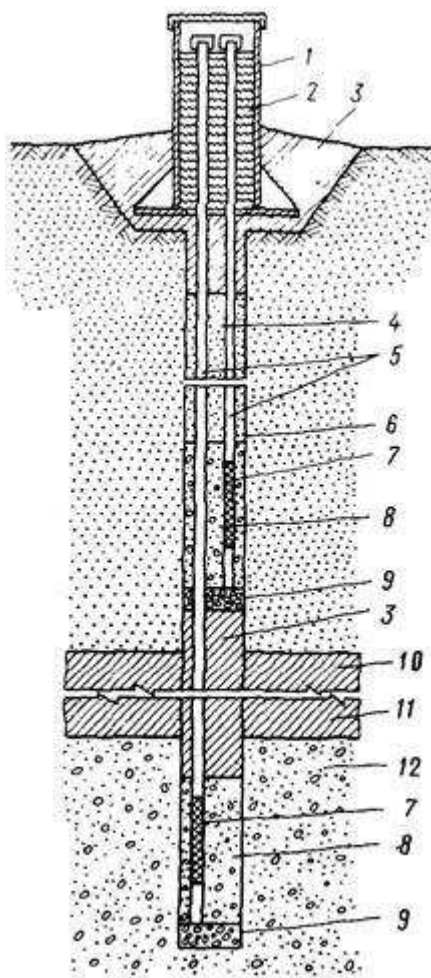


Рисунок 8.6 – Совмещенный пьезометр

Для измерения порового давления в водоупорных элементах (ядрах, экранах), выполненных из глинистых грунтов применяются закладные дистанционные приборы, разработанные в НИС Гидропроекта (рисунок 8.7):

- а) преобразователь порового давления - ПДСП, выпускаемый ПО «Союзэнергоавтоматика»;
- б) гидравлические двухтрубные пьезометры.

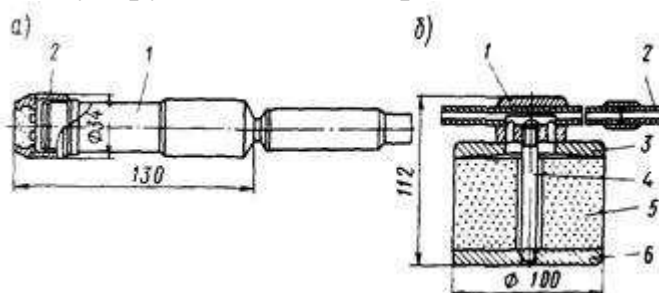


Рисунок 8.7— Приборы для измерения порового давления

Для оценки состояния хранилища большое значение имеют данные о фильтрационных расходах как в целом по сооружению, так и на отдельных его участках.

На хранилище проводятся наблюдения за расходами воды из дренажной системы и сосредоточенных местных очагов фильтраций (ключей, свищей,

родников и т.д.), возникающих обычно на низовом откосе сооружения, в берегах и на нижерасположенной территории. Для этого все места выхода фильтрационных вод копируются, оборудуются измерительными устройствами и защищаются от промерзания в зимнее время с помощью тепляков. Пути отвода фильтрационной воды также защищаются от промерзания.

Измерения расходов производятся с помощью мерных водосливов, мерных сосудов (объемный способ), гидрометрических вертушек и поплавков, а также по производительности насосов, откачивающих воду из дренажной насосной станции. Для хранилищ, имеющих дренажные перепадные колодцы, может быть рекомендовано весьма простое по конструкции устройство в виде мерного бачка (рисунок 8.8).

При измерении фильтрационных расходов отбираются пробы воды для определения ее мутности. Мутность воды определяется в начале визуально. При наличии в фильтрационной воде значительного количества частиц грунта организуются регулярные измерения твердого расхода в лабораторных условиях.

Для определения скорости и направления движения фильтрационного потока рекомендуется пользоваться методом индикаторов или радиоактивными изотопами с применением способа наблюдательных скважин. Для этой цели используется существующая пьезометрическая сеть.

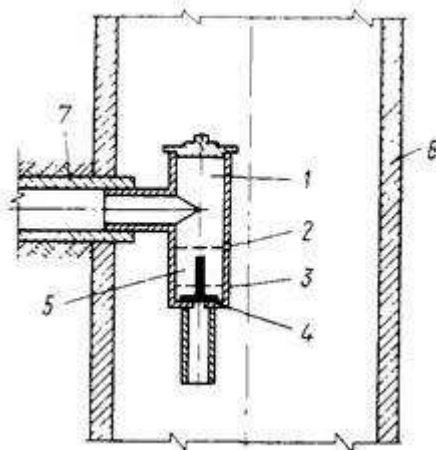


Рисунок 8.8 – Мерный бачок для измерения расхода в перепадных дренажных колодцах

Замеры уровня воды в открытых пьезометрах и наблюдательных скважинах производятся с помощью приборов-уровнемеров. Эти приборы требуют применения ручного труда.

Достоверная и оперативная информация о положении депрессионной кривой в ограждающих сооружениях хранилища может быть получена с помощью автоматических и дистанционных устройств, позволяющих вести непрерывный контроль за изменением уровня воды в скважинах. С этой целью применяются следующие устройства:

а) датчик уровня пружинный (ДУП), разработанный в институте ВИОГЕМ, выпускается для трех пределов измерений в 25, 40 и 100 м;

б) гидростатический датчик давления для измерения высоты столба воды в пьезометрах - институт Казмеханобр;

в) автоматический регистратор уровня подземных вод (АРУ-1) - институт Гидрингео объединения «Узбекгидрогеология»;

г) гидростатический скважинный уровнемер с дистанционной записью показаний - разработан в Свердловском горном институте.

Визуальные наблюдения:

Визуальные наблюдения заключаются в регулярных осмотрах внешнего состояния сооружений хранилища и прилегающей к ним территории.

При осмотрах особое внимание обращается на:

-насыщение низового откоса фильтрационной или поверхностной водой, появление мокрых пятен и выходов воды, свидетельствующих о выклинивании депрессионной кривой на откос;

-появление новых и развитие существующих сосредоточенных очагов фильтрации воды с выносом или без выноса грунта из основания у подошвы ограждающих сооружений;

-наличие местных деформаций на откосах и гребне ограждающих дамб и плотин, а также пляже намыва в виде осыпей, оползней, оплывин, просадок, выпоров, провальных воронок, продольных и поперечных трещин;

-наличие пучения или выпора грунтов на примыкающей к хранилищу территории;

-состояние дренажных, водосбросных и водоотводящих устройств;

-наличие промоин и других повреждений от действия атмосферных (ливневых и талых) вод, ледяного и снегового покрова, а также от размыва потоком пульпы;

-появление наледей у подошвы низового откоса, на дренажных и водоотводящих устройствах;

-состояние контрольно-измерительной аппаратуры.

Обнаруженные при осмотрах дефекты заносятся в журнал визуальных наблюдений, наносятся на план хранилища, нумеруются и привязываются к соответствующим ориентирам. На хранилище дефектные места обозначаются специальными вешками (сигнальными знаками), по которым они могут быть легко найдены.

В случае необходимости на участках, где имеются значительные дефекты, организуются соответствующие инструментальные наблюдения с помощью контрольно-измерительной аппаратуры.

Обнаруженные трещины фиксируются в журнале визуальных наблюдений, где отмечается их направление (продольная, поперечная, косая) и размеры (длина, ширина и глубина распространения). Наблюдения за дальнейшим развитием трещин проводятся с помощью временных марок в виде обрезков арматуры или труб, устанавливаемых по концам и с боков трещины.

Наблюдения за дренажными, водосбросными и водоотводящими устройствами заключаются в поддержании их в нормальном состоянии,

обеспечивающем достаточную пропускную способность и надежность в работе в процессе эксплуатации и консервации хранилища.

Кроме вышеперечисленных текущих наблюдений, 2 - 3 раза в год производятся более тщательные и детальные обследования всех сооружений хранилища специальной комиссией, в состав которой обязательно должны входить представители дирекции комбината или обогатительной фабрики.

Размещения КИА:

Количество КИА и ее размещение зависят от класса капитальности хранилища, его конструкции, наличия тех или иных дренажных и противofiltrационных устройств в теле и основании, инженерно-геологических и гидрогеологических условий основания, методов возведения и особенностей эксплуатации.

Для размещения КИА оборудуют наблюдательные створы, которые располагаются непосредственно на хранилище и на прилегающей территории.

На хранилищах равнинного типа, имеющих значительную протяженность ограждающих дамб, наблюдательные створы рекомендуется размещать через 200 - 300 м. При наличии в основании слабопрочных грунтов (илы, лёссы, торф) расстояние между створами сокращается до 100 - 150 м. На хранилищах овражно-балочного типа с ограждающими плотинами сравнительно небольшой длины принимается минимальное количество створов - три.

Основные наблюдательные створы устраиваются совмещенными, т.е. оборудуются всеми видами необходимой КИА. В дополнительных створах устанавливаются только те приборы, которые необходимы на данном участке, например пьезометры, если имеются нарушения фильтрационного режима, или марки, если наблюдаются аномальные явления в ходе деформаций.

Количество марок в наблюдательном створе зависит от высоты хранилища, его конструкции и состояния основания. На ограждающих дамбах и плотинах наливных хранилищ количество поверхностных марок в поперечном профиле составляет 3 - 5 шт. На хранилищах, возводимых намывом с постоянным наращиванием, поверхностные марки рекомендуется устанавливать через 10 - 15 м по высоте после намыва очередного яруса. Глубинные марки следует располагать на участках с максимальной высотой сооружения при наличии в основании слабо прочных грунтов значительной мощности. Они устанавливаются реже, чем поверхностные марки, и количество их в поперечном профиле может составлять 2 - 3.

Примерное размещение КИА на ограждающих дамбах и плотинах различных типов хранилищ показано на рисунках 8.9-8.11.

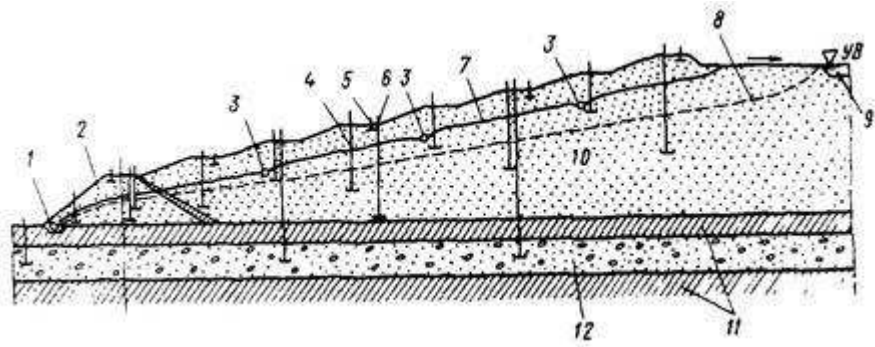


Рисунок 8.9— Размещение КИА на хвостохранилище намывного типа

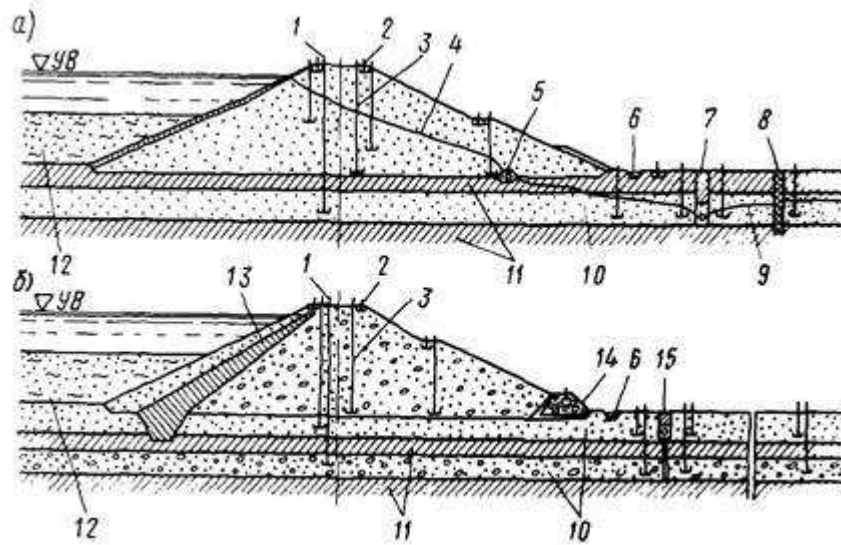


Рисунок 8.10 – Размещение КИА в теле и основании ограждающих дамб

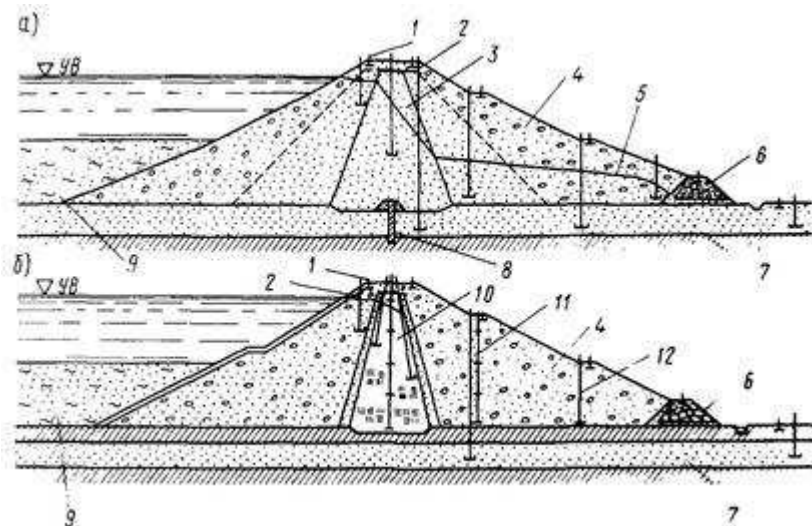


Рисунок 8.11 – Размещение КИА в теле и основании ограждающих плотин с ядром

Техногенная авария Надежденском хвостохранилище (Норильский промышленный район).

Хвостохранилище Надеждинского металлургического завода является одним из наиболее крупных хвостовых хозяйств Норильского промышленного района.

Хвостохранилище расположено в 12 км на юго-запад от завода в верховьях реки Буровой, входящей в водосборный бассейн р. Дудинка. Бассейн реки Буровой на северо-западе и севере граничит с бассейнами рек Амбарной и Далдыкан, которые входят в водосборную систему озера Пясино.

В октябре 1995 года при достижении уровнем хвостохранилища отметки 286,8 м абс. произошел прорыв вод отстойного пруда хвостохранилища в нижний бьеф по грунтам основания. Расход фильтрационных утечек в нижнем бьефе составил более 5500 м³/час. Фильтрационные воды с высоким содержанием загрязняющих компонентов (сульфаты, натрий, кальций) устремились в старое русло р. Буровой и по нему в рр. Ю. Ергалах, Дудинка, Енисей. Произошло практически полное затопление потерны, приведшее к выходу из строя замораживающей системы, соответственно цементационная завеса в центральной части талика прекратила свою нормальную работу. Началась обходная фильтрация и, как следствие, расширение подруслового талика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной бакалаврской работы:

Рассчитана установленная мощность в рамках курсового проекта составляет 212 МВт, среднемноголетняя выработка составляет 1,0 млрд. кВт·ч.

Отметка НПУ 740 м. Отметка УМО 732.40 м. Минимальный напор 21 м, расчётный напор 24 м, максимальный напор 32.9 м.

Выбрана вертикальная поворотно-лопастная гидротурбина: ПЛ 40б-В-560. И ее основные параметры:

$$D_1 = 5,6 \text{ м,}$$

$$n = 115,4 \text{ об/мин,}$$

$$H_s = 6,39 \text{ м,}$$

$$\nabla Z_{\text{рк}} = 703,42 \text{ м,}$$

Тип генератор СВ 765/80-26.

Произведен расчет и построение бетонной спиральной камеры с углом охвата $\varphi=225^\circ$. Произведен выбор вспомогательного оборудования и рассчитаны основные размеры машинного зала Бий-Хемской ГЭС.

Рассчитаны и определены основные элементы и размеры водосливной плотины и сооружений гидроузла. Плотина высотой 34 м является сооружением III класса, исходя из ее высоты, социально-экономической ответственности и последствий возможных аварий. Ширина водосливного фронта 36 м с 3 водосливными отверстиями и напором на водосливе 12 м. Высота водосбросной плотины 34,25 м, ширина по основанию 33 м, заложение низовой грани 0,7. Водосбросная плотина способна пропустить расход воды до 4281,5 м³/с.

В качестве гасителя энергии был выбран водобойный колодец. Глубина водобойного колодца 3,35 м. Помимо колодца спроектирована водобойная плита толщиной 5,9 м и длиной 74 м. На конце водобойной плиты устроен зуб с гибким креплением.

Для обеспечения монолитности плотины при неравномерной ее осадке и неравномерном распределении температуры по сечению бетонных массивов, предусмотрены межсекционные и столбчатые деформационные швы.

В ходе разрезки межстолбчатыми швами получилось 2 столба, длина каждой секций равна 16,5 м.

При проектировании приняты одна смотровая галереи на отметке 716,40 м и цементационная галерея на отметке 694,79 м. Эти галереи необходимы для осмотра и ремонта сооружения. Спроектирован вертикальный дренаж в теле плотины, необходимый для сбора воды из галерей и её сброса в нижний бьеф через. В подземный контур входит однорядная цементационная завеса, с шагом в ряду 3 м, глубиной 16 м, расстоянием от напорной грани 3,3 м, шириной 2 м.

Условие устойчивости плотины на сдвиг выполняется с запасом. С коэффициентом надежности равным 1,15 для основного и 1,26 для особого сочетания нагрузок. Сооружение удовлетворяет требованиям прочности и устойчивости для III класса сооружений

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). / Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2004. – 46 с.
- 2) СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений – Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85 – введ. 20.05.2011. – Москва: ОАО, ВНИИГ им. Веденеева.
- 3) СП 33-101-2003. Определение расчетных гидрологических характеристик – от 26.12.2003. взамен СНиП 2.01.14-83-ГГИ Росгидромета.
- 4) СНиП 2.06.06-85 Плотины бетонные и железобетонные./Минэнерго СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1985. – 50с.
- 5) СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений/ Минэнерго СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1987. – 32с.
- 6) СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения./Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2003. – 40 с.
- 7) ОСТ 17330282.27.140.018-2008 Гидротурбинные установки. Условия поставки. Конструктивные схемы. Введен в действие от 09.04.85-Москва: Министерство энергетического машиностроения 1985 г.
- 8) СП 40.13330.2012 Плотины бетонные и железобетонные – Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85 - Москва: ОАО “ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева.”.
- 9) СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на ГТС – Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82 - Москва: ОАО “ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева.”.
- 10) «Единые сценарные условия ОАО «РусГидро» на 2017 - 2042 гг. (приказ ОАО «РусГидро» от 16.01.2017 г. №62)
- 11) ОСТ 108.023.06.-84 Турбины гидравлические вертикальные радиально-осевые. Конструктивные схемы. введен в действие от 09.04.85 – Москва: ОАО ВНИИГ им. Веденеева.
- 12) СТО 59012820.27.010.001-2013 СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
- 13) Киселёв П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам: справочник/Киселёв П.Г. – Москва: Энергия 1972 347с.
- 14) «Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО», Москва, 2008 г., утвержденными РАО «ЕЭС России» от 31.03.2008г № 155 и Главгосэкспертизой России от 26.05.99г. №24-16-1/20-113.
- 15) Единые сценарные условия ОАО «РусГидро» на 2012-2037 гг.
- 16) Часть вторая Налогового кодекса Российской Федерации от 5 августа 2000 г. N 117-ФЗ //Текст части второй Налогового кодекса опубликован в "Российской газете" от 10 августа 2000 г. N 153-154.

17) Александровский, А.Ю. Выбор параметров ГЭС: учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию гидротехнических объектов/ А.Ю. Александровский, Е.Ю.Затева, Б.И.Силаев. – Саяногорск: СШФ КГТУ, 2005. - 174 с.

18) Мосин, К.Ю. Гидрология: Методические указания к практическим занятиям/ сост.– Саяногорск: СШФ КГТУ, 2006. – 53 с.

19) Федеральный закон РФ «Об отходах производства и потребления»(№ 89-ФЗ от 24.06.1998 г).

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

21) Использование водной энергии. Под ред. Д.С. Щавелева. Учебное пособие для вузов. Л., «Энергия», 1976. 656с. с ил.

22) Рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и хвостохранилищ металлургической промышленности – Москва Стройиздат 1986.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчётный гидрологический ряд наблюдений р. Большой Енисей в створе Бии-Хёмской ГЭС с 1922-1971 гг

Таблица А1-Расчётный гидрологический ряд наблюдений р. Большой Енисей в створе Бии-Хёмской ГЭС с 1922-1971 гг

№п/п	Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1922	175	152	128	190	504	1 415	1 017	832	593	480	263	245
2	1923	200	211	188	212	973	1 570	863	717	515	260	206	208
3	1924	174	166	137	209	683	4 025	522	641	734	342	290	275
4	1925	312	296	279	402	619	1 062	1 168	796	518	310	239	211
5	1926	185	147	133	193	796	1 283	995	469	495	372	310	288
6	1927	235	180	169	230	508	1 477	973	823	752	301	233	200
7	1928	211	184	171	261	513	1 438	1 079	840	584	311	283	262
8	1929	257	170	154	286	1 141	2 742	553	630	635	352	320	283
9	1930	279	274	265	301	560	1 017	1 150	929	690	490	389	349
10	1931	290	239	166	362	1 238	1 592	752	730	549	260	224	186
11	1932	188	159	124	243	491	1 292	958	821	675	336	292	266
12	1933	249	235	210	252	1 362	2 245	699	607	612	323	257	233
13	1934	229	184	181	553	995	1 504	840	973	902	641	385	372
14	1935	273	246	242	296	1 407	2 941	798	700	693	283	195	193
15	1936	164	156	148	203	553	1 380	1 075	896	755	510	398	385
16	1937	303	296	292	318	840	1 305	1 039	619	947	557	420	398
17	1938	319	310	283	327	1 292	2 164	579	792	627	330	252	234
18	1939	226	137	135	279	1 256	1 663	876	858	885	540	433	411
19	1940	311	300	259	360	937	1 165	570	477	463	288	230	185
20	1941	168	150	145	239	740	4 475	593	737	742	318	296	237
21	1942	233	211	206	345	1 221	2 590	672	680	675	444	407	385
22	1943	295	288	274	283	1 150	1 482	1 062	1 106	876	699	447	416
23	1944	357	254	208	270	509	1 301	987	796	597	313	279	241
24	1945	236	208	203	318	907	2 035	730	867	796	672	442	438
25	1946	349	345	336	358	542	973	1 135	739	663	453	301	296
26	1947	284	217	201	292	1 194	3 802	844	856	902	637	451	447
27	1948	189	177	173	706	852	982	843	785	664	184	173	183
28	1949	203	175	142	208	834	2 697	1 813	1 159	768	530	400	274
29	1950	262	241	232	363	1 336	1 723	591	787	602	376	305	269
30	1951	251	228	202	288	531	1 360	881	885	637	497	314	301
31	1952	288	272	270	327	1 017	1 283	818	801	547	345	261	228
32	1953	195	179	177	305	1 106	3 200	702	743	711	454	345	283
33	1954	266	257	248	513	752	929	929	814	566	348	274	231
34	1955	219	202	173	257	598	2 095	621	805	787	575	425	389
35	1956	367	243	236	314	929	1 194	761	522	540	384	318	277
36	1957	269	266	257	310	557	1 079	1 053	991	607	354	341	224
37	1958	222	219	211	336	863	1 250	885	809	502	296	208	200
38	1959	191	168	155	212	602	1 354	1 109	1 058	840	602	323	279
39	1960	259	250	214	367	663	1 526	907	752	565	513	411	346
40	1961	338	336	323	398	1 062	1 643	686	686	579	357	265	221
41	1962	207	188	180	226	517	1 264	871	920	628	531	336	283
42	1963	254	221	218	354	1 039	1 480	796	597	540	363	203	180
43	1964	178	165	157	349	885	1 106	1 530	1 130	615	398	327	251
44	1965	239	193	183	261	1 389	1 648	545	760	596	310	212	203
45	1966	197	181	164	188	631	1 468	1 120	997	619	407	332	255
46	1967	247	225	221	310	593	1 371	708	874	548	301	270	226
47	1968	215	190	186	265	1 370	1 540	610	771	572	358	221	174
48	1969	173	163	160	217	620	1 125	1 430	1 123	982	619	327	305
49	1970	264	204	197	531	708	1 075	1 162	955	535	305	217	188
50	1971	181	142	139	221	582	1 355	1 230	1 118	624	416	274	259

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Данные для расчета среднесуточных мощностей для лета и зимы

Таблица Б1.- Данные для расчета среднесуточных мощностей для лета и зимы

Центр(58-51° с.ш.)		
Т	зима	лето
1	2.05β ₁ -1.05	2.02β ₂ -1.03
2	2.1β ₁ -1.1	2.22β ₂ -1.22
3	2.17β ₁ -1.17	2.3β ₂ -1.3
4	2.17β ₁ -1.17	2.3β ₂ -1.3
5	2.1β ₁ -1.1	2.3β ₂ -1.3
6	1.93β ₁ -0.23	2.2β ₂ -1.2
7	1.35β ₁ -0.352	1.6β ₂ -0.6
8	0.70β ₁ +0.296	0.952β ₂ +0.04
9	0.3β ₁ +0.702	0.175β ₂ +0.7
10	0.4β ₁ +0.6	1.0
11	0.67β ₁ +0.324	0.275β ₂ +0.72
12	0.877β ₁ +0.12	0.55β ₂ +0.45
13	0.755β ₁ +0.22	0.42β ₂ +0.575
14	0.575β ₁ +0.42	0.22β ₂ +0.775
15	0.62β ₁ +0.347	0.42β ₂ +0.577
16	0.77β ₁ +0.231	0.677β ₂ +0.32
17	0.1β ₁ +0.9	0.40β ₂ +0.60
18	1.0	0.50β ₂ +0.50
19	0.17β ₁ +0.825	0.62β ₂ +0.375
20	0.25β ₁ +0.75	0.575β ₂ +0.42
21	0.37β ₁ +0.625	0.35β ₂ +0.51
22	0.758β ₁ +0.24	0.27β ₂ +0.725
23	1.35β ₁ +0.352	0.952β ₂ +0.05
24	1.98β ₁ -0.898	1.85β ₁ -0.852

Таблица Б2.- Данные для расчета среднесуточных мощностей для лета и зимы

Центр(58-51 ° с.ш.)		
Т	зима	лето
1	221	148
2	216	148
3	207	135
4	207	135
5	216	135
6	239	141
7	302	175
8	377	210
9	426	223
10	413	267
11	379	250
12	357	235
13	368	241
14	391	253
15	373	242
16	371	227
17	448	244
18	460	238
19	438	230
20	431	232
21	415	209
22	371	250
23	302	213
24	267	160
max	460	267
ср	341	206

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Суточные графики нагрузки

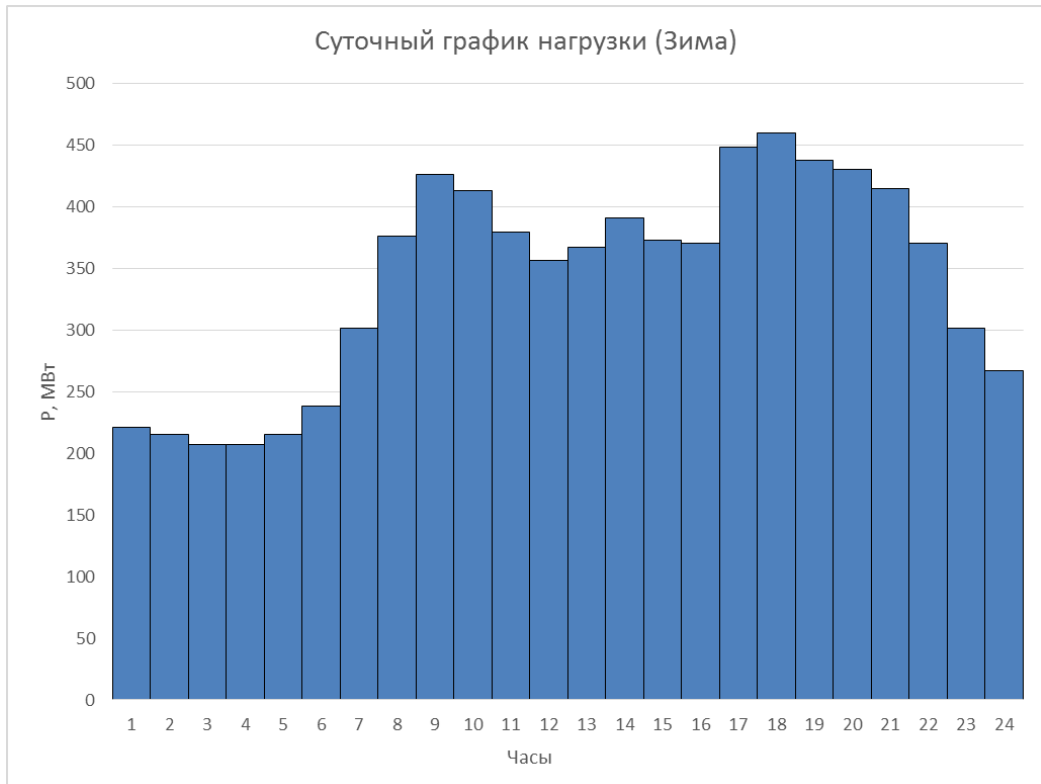


Рисунок В1. - Зимний суточный график нагрузки

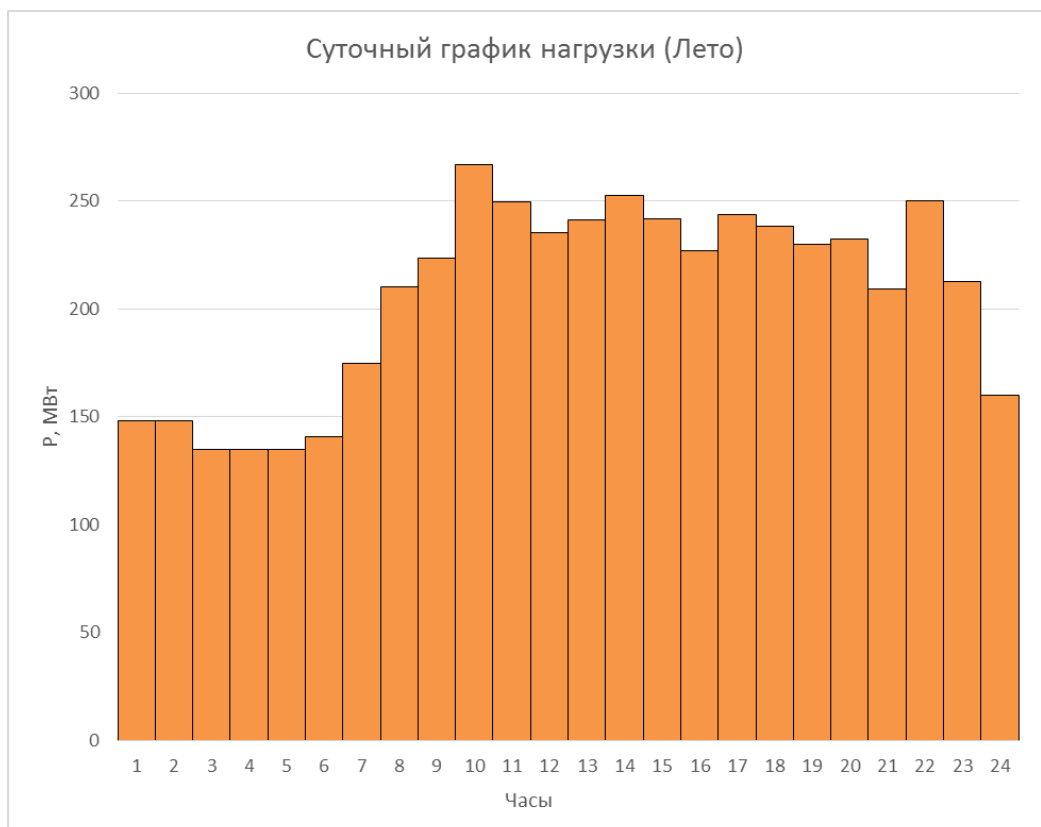


Рисунок В2. - Летний суточный график нагрузки

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ВЭР маловодного года с обеспеченностью годового стока 90%

Таблица Г1.- ВЭР маловодного года с обеспеченностью годового стока 90%

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Месяц	Q, м ³ /с					Qвхк<Qнб		Vвдхщ, км ³			Zвб, м			Zнб, м	H, м	N, МВт	Nгар, МВт	Э, Млрд, кВт*ч
	Qбытпол	Qхолсбр	Qфильтр	Qвдхщ	Qвхк	Qнб	Qгэс	нач	dV	кон	нач	кон	средн					
10	180	0	2	198	208	380	378	15,00	0,51	14,49	740,00	739,42	739,71	708,77	30,54	103	103	0,07
11	170	0	2	347	208	519	517	14,49	0,90	13,59	739,42	738,34	738,88	709,71	28,78	133	133	0,10
12	179	0	2	464	208	645	643	13,59	1,20	12,38	738,34	736,75	737,55	710,53	26,62	153	153	0,11
1	185	0	2	515	208	702	700	12,38	1,33	11,05	736,75	734,76	735,75	710,89	24,47	153	153	0,11
2	173	0	2	483	208	658	656	11,05	1,25	9,80	734,76	732,66	733,71	710,61	22,70	133	133	0,10
3	170	0	2	369	208	541	539	9,80	0,96	8,84	732,66	732,40	732,53	709,85	22,28	103	103	0,07
4	692	0	2	-278	416	416	414	8,84	-0,72	9,56	732,40	733,24	732,82	708,44	23,98	89	по ВХК	0,06
5	861	0	2	-447	416	416	414	9,56	-1,16	10,72	733,24	734,23	733,73	708,44	24,89	92	по ВХК	0,07
6	992	0	2	-578	416	416	414	10,72	-1,50	12,22	734,23	736,52	735,37	708,44	26,53	98	по ВХК	0,07
7	851	0	2	-437	416	416	414	12,22	-1,13	13,35	736,52	738,05	737,28	708,44	28,44	106	по ВХК	0,08
8	793	0	2	-379	416	416	414	13,35	-0,98	14,33	738,05	739,25	738,65	708,44	29,81	111	по ВХК	0,08
9	671	0	2	-257	416	416	414	14,33	-0,67	15,00	739,25	740,00	739,62	708,44	30,79	114	по ВХК	0,08
	493			0							740,00							1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты расчёта режимного поля проектируемой ГЭС

Таблица Д1.-Результаты расчёта режимного поля проектируемой ГЭС.

Qнб	Zнб(лето)	Zнб(зима)	Ннпу	Нумо	Hzвб1	Н	Q	Н	Q
м ³ /с	м	м	м	м	м	м	м ³ /с	м	м ³ /с
0	706,00	706,00	34,00	26,4	29,8	38,3	636	24,3	1002
100	706,61	706,76	33,39	25,8	29,1	37,3	653	23,3	981
200	707,20	707,49	32,80	25,2	28,5	36,3	671	21,8	949
300	707,78	708,21	32,22	24,6	28,0	35,3	690	20,3	916
400	708,35	708,91	31,65	24,1	27,4	34,3	710	18,8	881
500	708,91	709,58	31,09	23,5	26,8	33,3	731	17,3	846
600	709,45	710,24	30,55	23,0	26,3	32,3	754	15,8	808
700	709,98	710,87	30,02	22,4	25,8	31,3	778	14,3	769
800	710,49	711,49	29,51	21,9	25,3	30,3	804	12,8	727
900	711,00	712,09	29,00	21,4	24,8	29,3	831	11,3	683
1000	711,49	712,67	28,51	20,9	24,3	28,3	861	9,8	636
1100	711,97	713,23	28,03	20,4	23,8	27,3	892	8,3	586
1200	712,44	713,77	27,56	20,0	23,3	26,3	926	6,8	530
1300	712,89	714,29	27,11	19,5	22,9	25,3	963	5,3	468
1400	713,34	714,80	26,66	19,1	22,4	24,3	1002	3,8	396

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Режимное поле Бий-Хемской ГЭС по напору и расходу

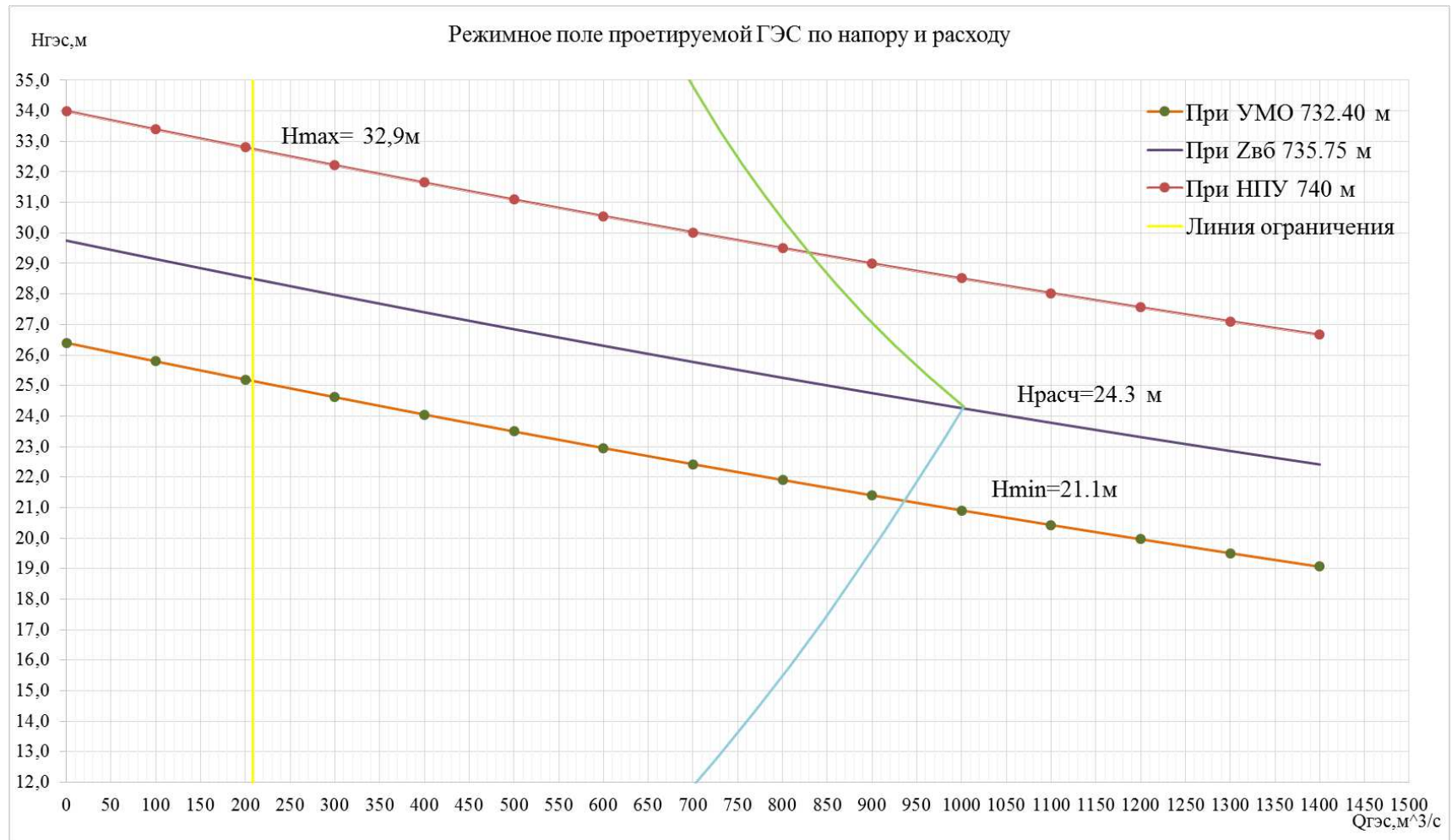


Рисунок Е1.- Режимное поле Бий-Хемской ГЭС по напору и расходу

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Баланс мощности

Таблица Ж1.-Расчёты для баланса мощности

месяцы	Нагрузка системы			Проектируемая ГЭС				ТЭС	
	P	Pар	Pнр	Нраб	Ннр	Нрем	Нраб	Нар	Ннр
I	455	36	9	203	4		252	20	5
II	432	35	9	182	4		250	20	5
III	401	32	8	152	3		249	20	5
IV	338	27	7	130	3		208	17	4
V	295	24	6	105	2		190	15	4
VI	270	22	5	98	2		172	14	3
VII	270	22	5	98	2		172	14	3
VIII	295	24	6	105	2	52	190	15	4
IX	338	27	7	130	3	52	208	17	4
X	401	32	8	152	3		249	20	5
XI	432	35	9	182	4		250	20	5
XII	455	36	9	203	4		252	20	5

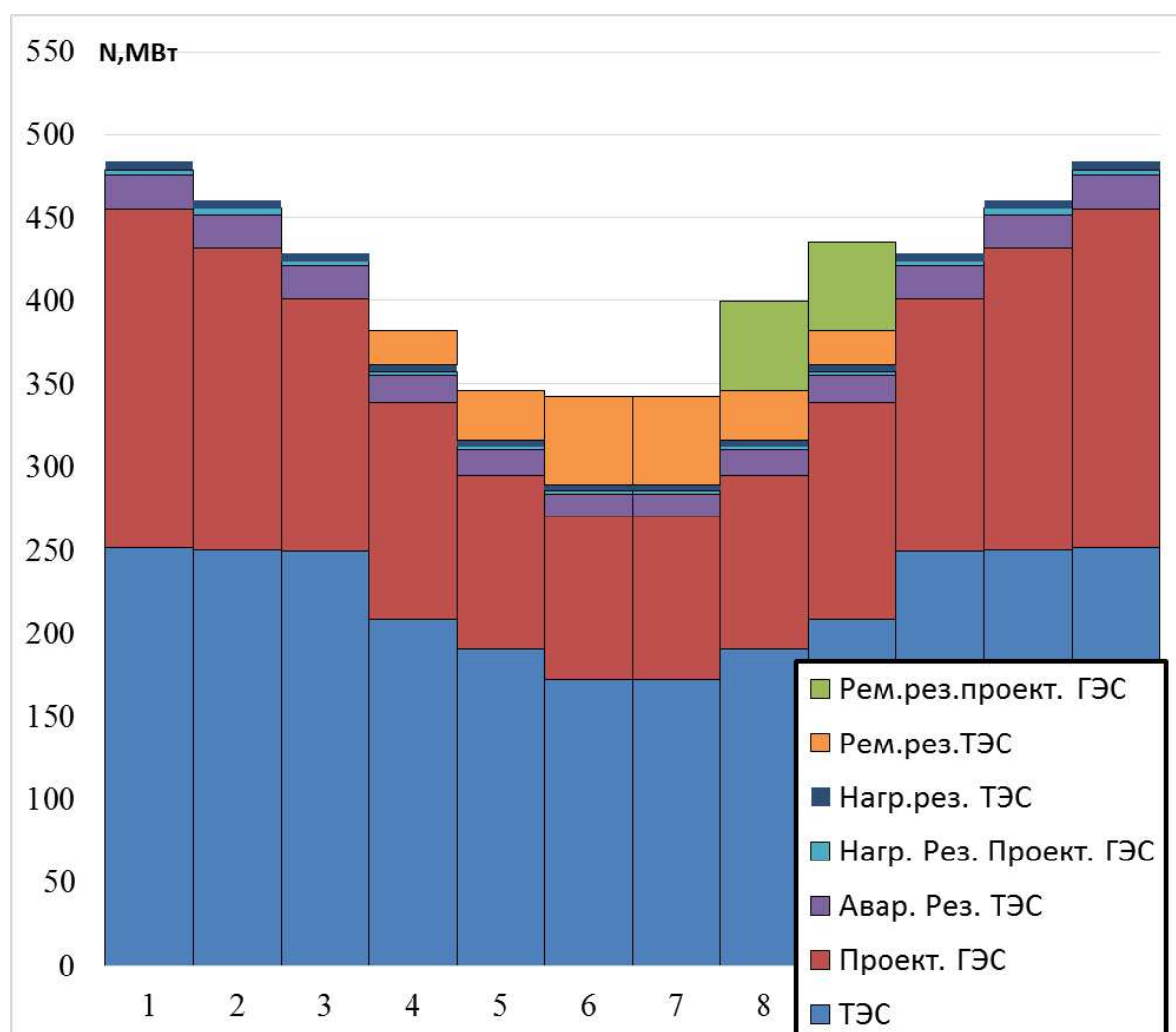
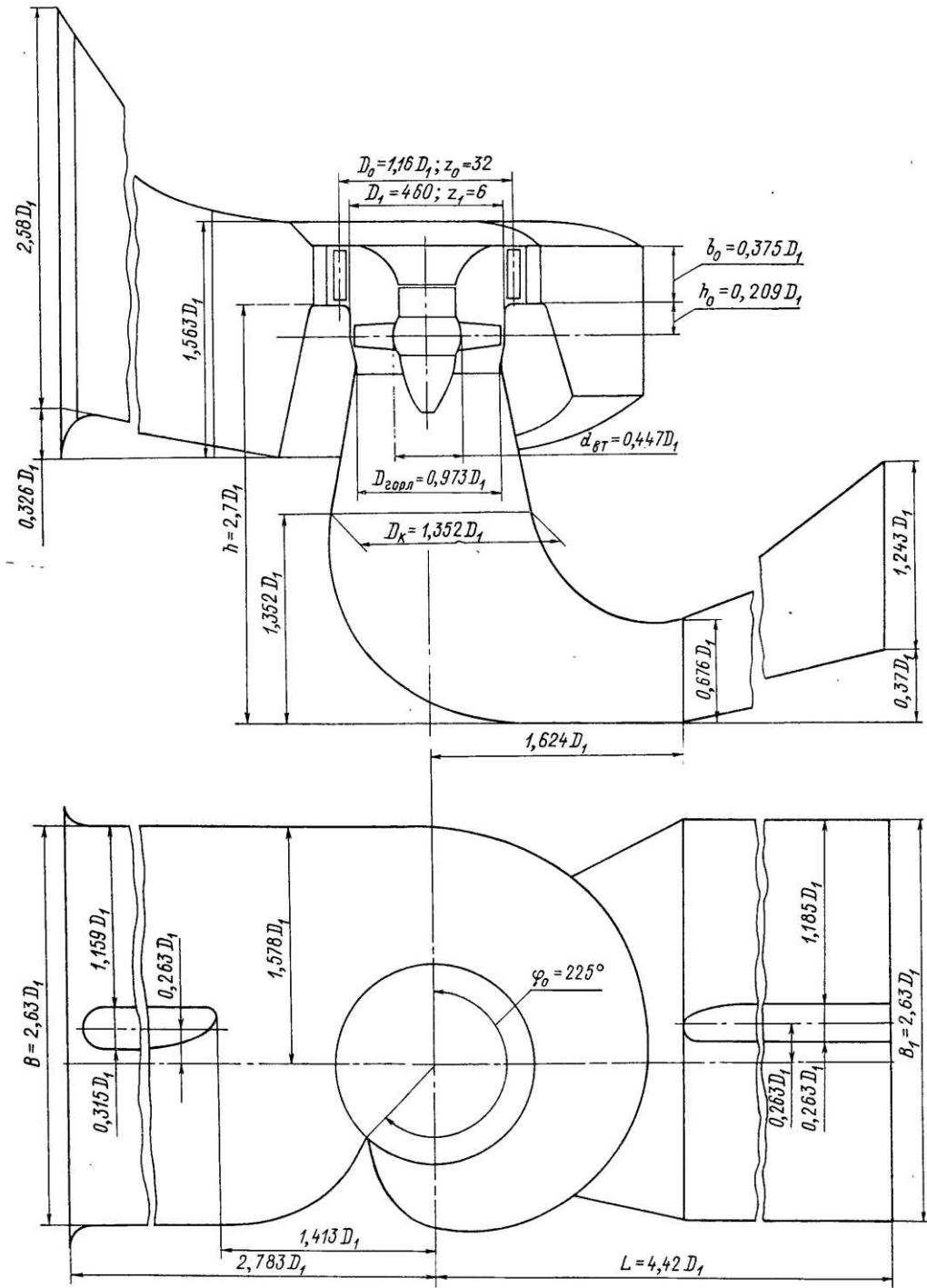


Рисунок Ж1- График баланса мощности

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Проточная часть ПЛ406-В

Проточная часть модели гидротурбины ПЛ 40/587а-В-46 (к универсальной характеристике № 2431 ЛМЗ)



Черт. 12

Рисунок И1.-Проточная часть ПЛ406-В

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Координаты для построения оголовка водослива при Нст=12 м

Таблица К1.- Координаты для построения оголовка водослива при Нст=12 м

№	X, м	x*Нст	У, м	y*Нст	№	X, м	x*Нст	У, м	y*Нст	№	X, м	x*Нст	У, м	y*Нст
1	0,0	0,0	0,126	1,512	10	0,9	10,8	0,198	2,376	19	1,8	21,6	0,987	11,844
2	0,1	1,2	0,036	0,432	11	1	12,0	0,256	3,072	20	1,9	22,8	1,108	13,296
3	0,2	2,4	0,0070	0,1	12	1,1	13,2	0,321	3,852	21	2,0	24,0	1,235	14,82
4	0,3	3,6	0,0000	0,0	13	1,2	14,4	0,394	4,728	22	2,1	25,2	1,369	16,428
5	0,4	4,8	0,006	0,072	14	1,3	15,6	0,475	5,7	23	2,2	26,4	1,508	18,096
6	0,5	6,0	0,027	0,324	15	1,4	16,8	0,564	6,768	24	2,3	27,6	1,653	19,836
7	0,6	7,2	0,06	0,72	16	1,5	18,0	0,661	7,932	25	2,4	28,8	1,813	21,756
8	0,7	8,4	0,1	1,2	17	1,6	19,2	0,764	9,168	26	2,5	30,0	1,96	23,52
9	0,8	9,6	0,146	1,752	18	1,7	20,4	0,873	10,476	27	2,6	31,2	2,122	25,464

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Эпюры нагрузок. Основное сочетание нагрузок и воздействий

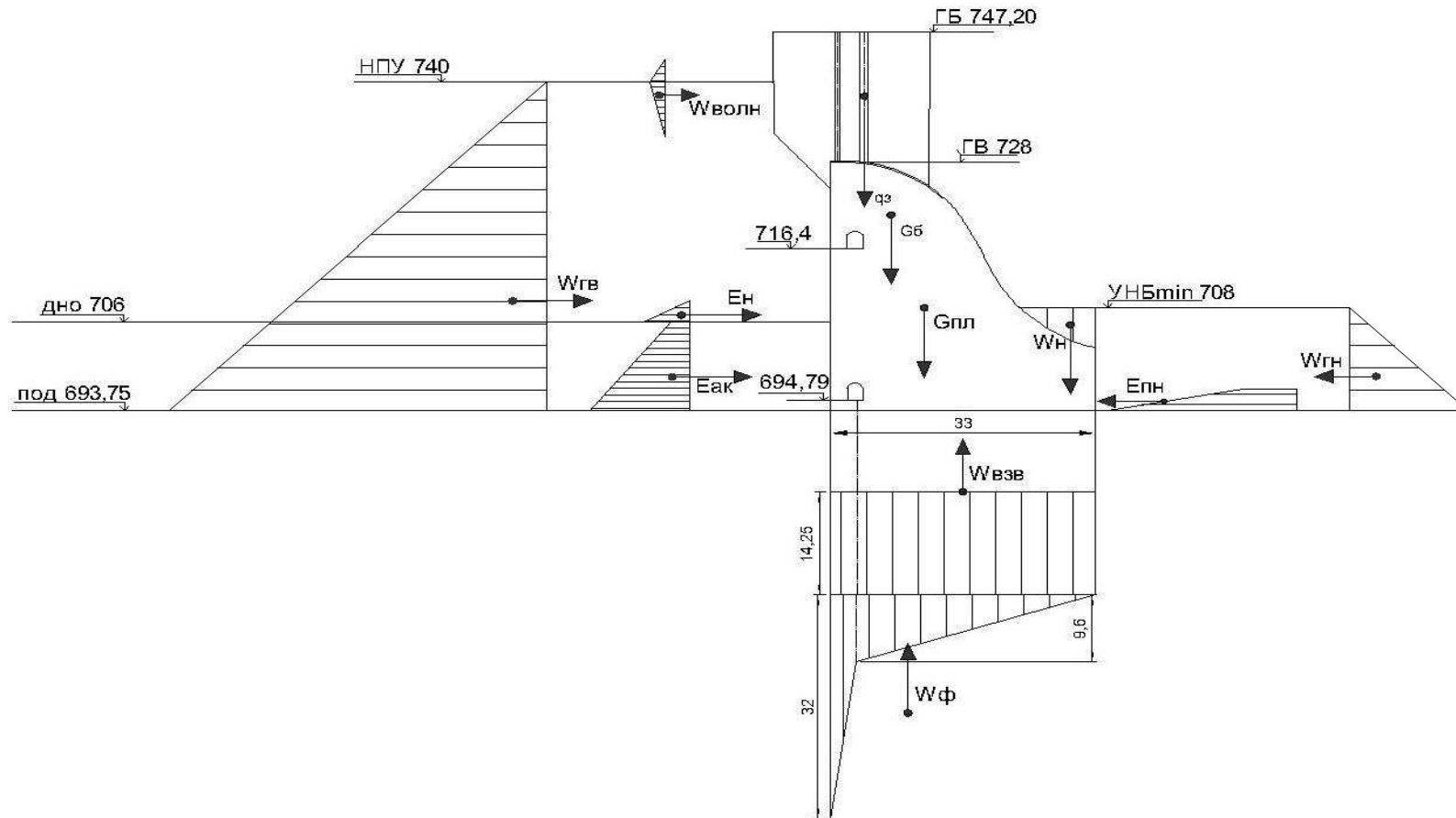


Рисунок Л1.- Эпюры нагрузок для основного сочетания нагрузок и воздействий

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Эпюры нагрузок. Особое сочетание нагрузок

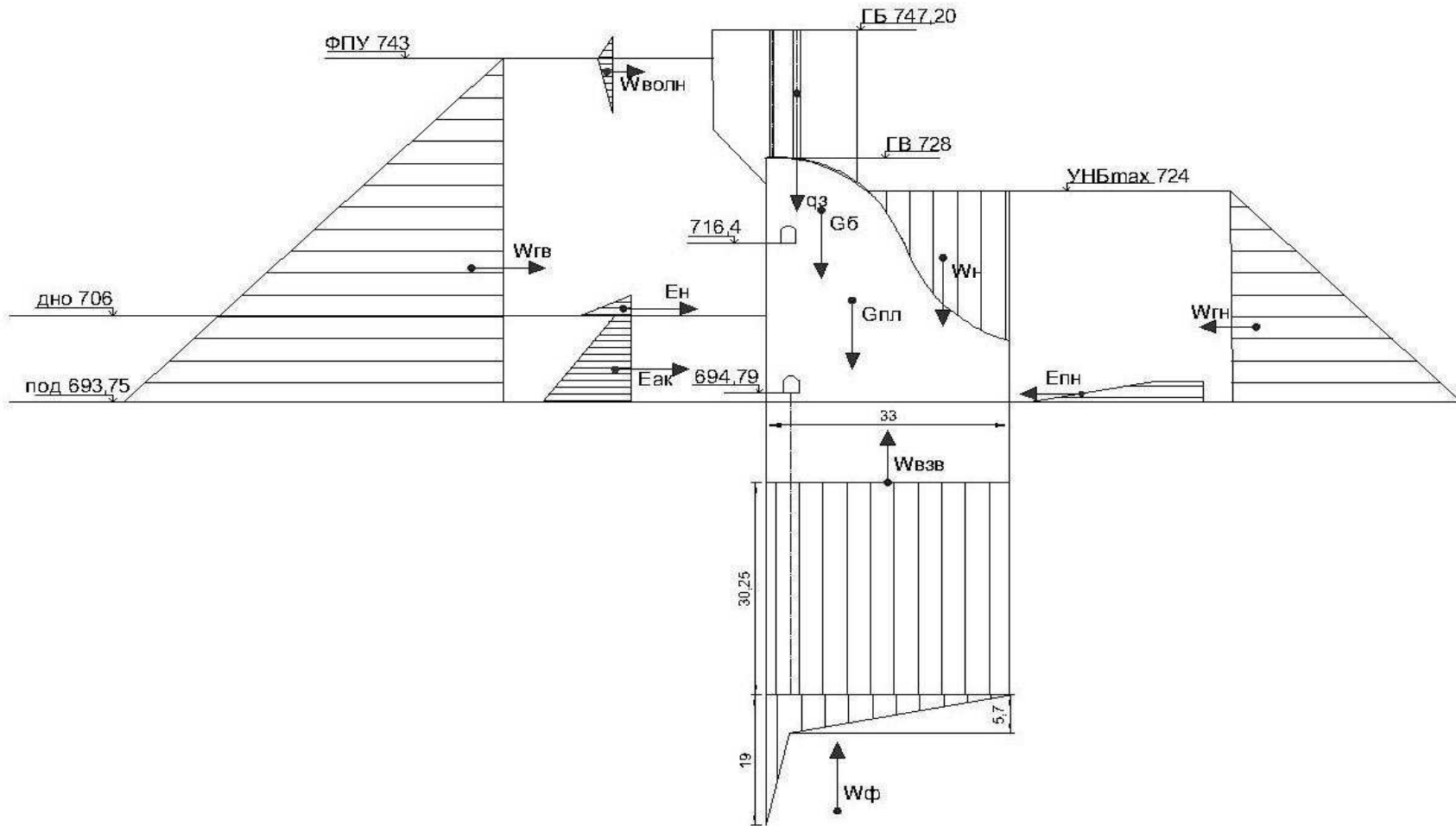


Рисунок М1.- Эпюры нагрузок для основного сочетания нагрузок и воздействий

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Эпюры напряжений. Основное сочетание нагрузок

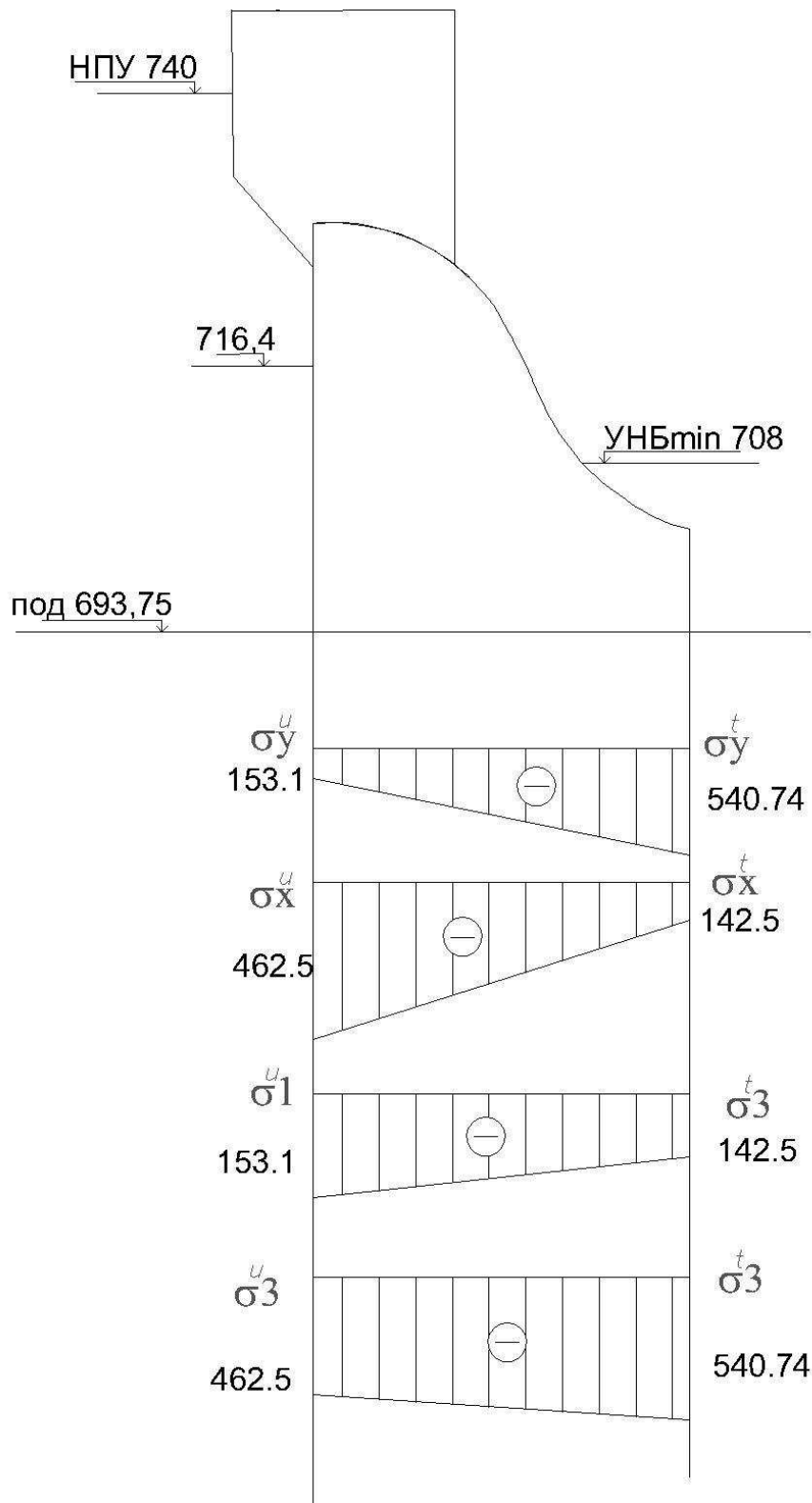


Рисунок Н1.- Эпюры напряжений для основного сочетания нагрузок и воздействий

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Эпюры напряжений. Особое сочетание нагрузок

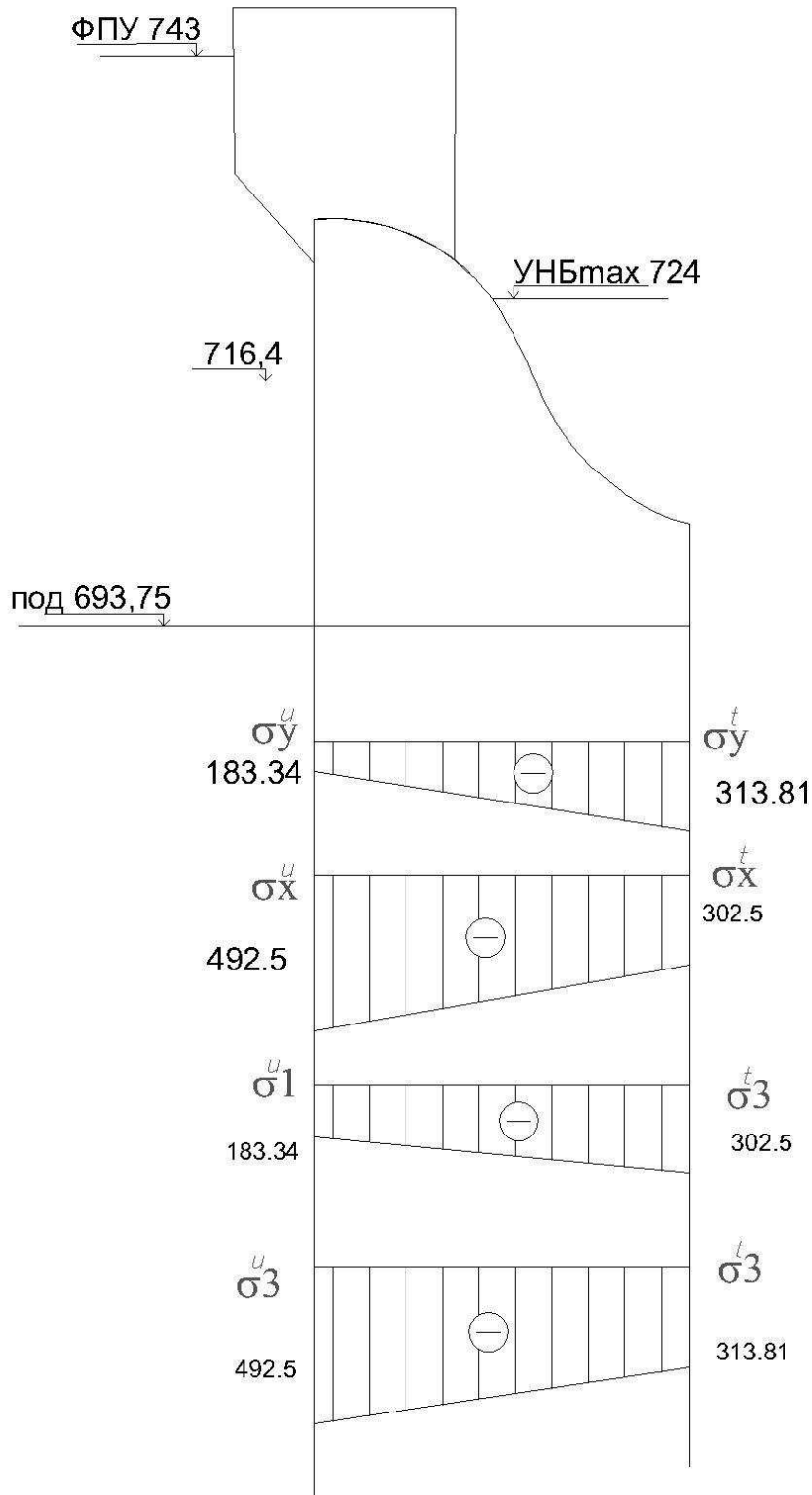


Рисунок П1.- Эпюры напряжений для особого сочетания нагрузок и воздействий

Саяно-Шушенский филиал
Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

ОТЗЫВ

руководителя Ульяновой Н.П., старшего преподавателя Саяно-Шушенского филиала ФГАОУ ВО «Сибирского федерального университета», на бакалаврскую работу студента Лактионова Владислава Евгеньевича «Проектирование Бий-Хемской ГЭС на реке Большой Енисей. Мониторинг безопасности дамб хвостохранилищ».

Бакалаврская работа Лактионова В.Е. состоит из пояснительной записки из 129-ти листов и 6 листов графической части. Пояснительная записка включает в себя сокращенный паспорт ГЭС, введение, 8 глав, заключение.

В работе выполнены водно-энергетические расчеты, в результате которых были определены гарантированная и установленная мощность, среднемноголетняя выработка энергии. При рассмотрении нескольких вариантов было выбрано оптимальное основное и вспомогательное энергетическое оборудование, проведены гидравлические и прочностные расчеты водосбросной плотины.

Лактионовым В.Е., также, разработана организация и технология строительства Бий-Хемской ГЭС, где учтены рекомендации СТО по организации строительства гидротехнических сооружений.

В специальном разделе с учетом рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и хвостохранилищ металлургической промышленности разработан мониторинг безопасности дамб хвостохранилищ.

Расчеты, проведенные в бакалаврской работе, выполнены по стандартным методикам, учтены рекомендации СТО РусГидро 02.01.80 – 2012 «Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС».

Лактионов Владислав Евгеньевич показал навыки, полученные при обучении, проявил себя как грамотный специалист, умеющий самостоятельно принимать и обосновывать технические решения.

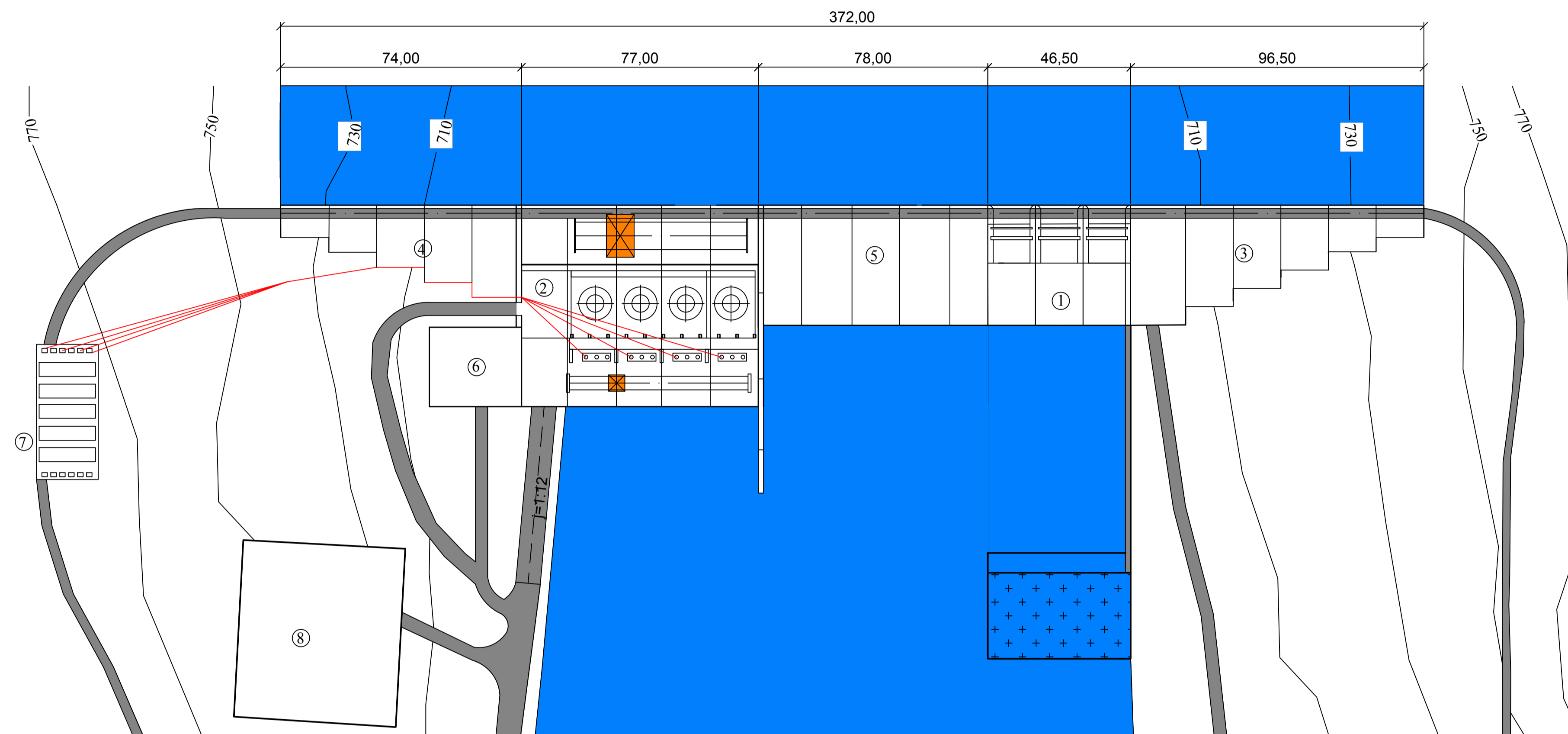
Бакалаврская работа Лактионова В.Е. заслуживает высокой оценки.

Старший преподаватель
Саяно-Шушенского филиала
ФГАОУ ВО
«Сибирского федерального университета»

Ульянова Н.П.

Генеральный план

1:1000



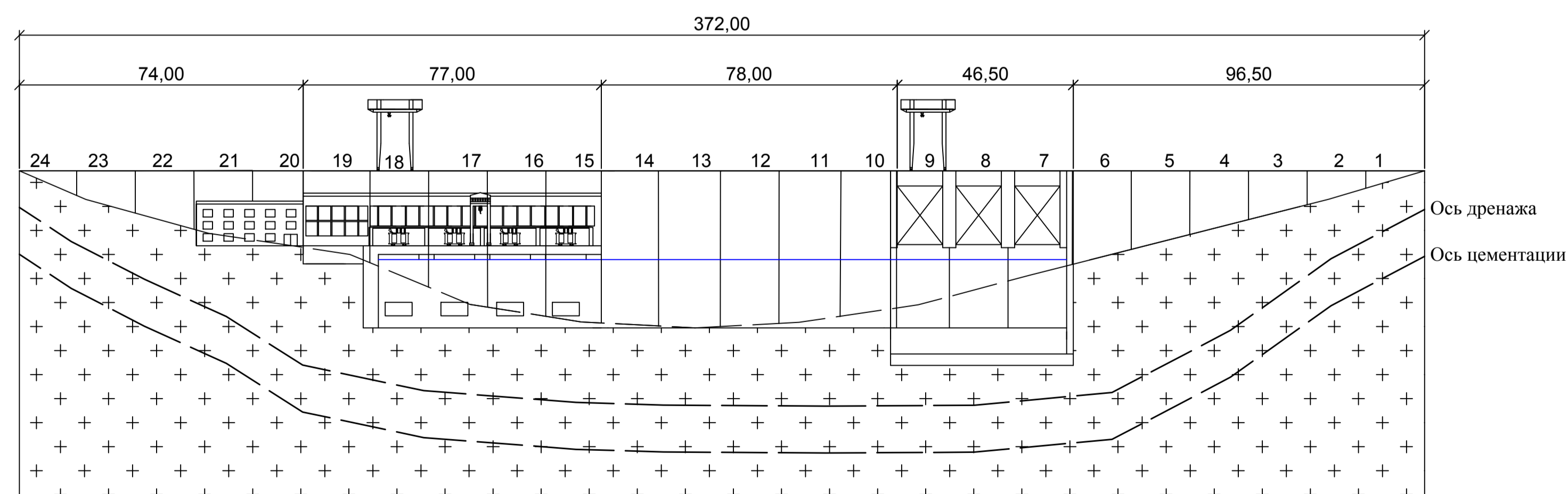
Экспликация сооружений

№	Наименование
1	Бетонная водосливная плотина
2	Станционная часть
3	Левобережная глухая бетонная часть
4	Правобережная глухая бетонная часть
5	Русловая глухая бетонная часть
6	Службно-техническое помещение
7	Здание КРУЭ
8	Парковка

Ведомость состава проекта

№ п.п	Обозначение	Наименование	Примечание
1	ВКР-08.03.01.02 - 541312616 - ГП	Генеральный план. Ведомость состава проекта. Экспликация сооружений	
2	ВКР - 08.03.01.02 - 541312616- ГР1	Поперечный разрез здания ГЭС. Основные характеристики гидроагрегата	
3	ВКР - 08.03.01.02 - 541312616- ГР2	Разрез секции водосливной плотины Бий-Хемской ГЭС	
4	ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ПОС	Строительный генеральный план. Экспликация зданий и сооружений	
5	ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ПОС	Этапы возведения сооружений. Экспликация зданий и сооружений	
6	ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ПОС	Сводный календарный план строительства Бий-Хемской ГЭС	

Вид с нижнего бьефа



1. Размеры и отметки даны в м.
2. Условная отметка 0,00 соответствует абсолютной отметке ___ от Балтийского футштока.

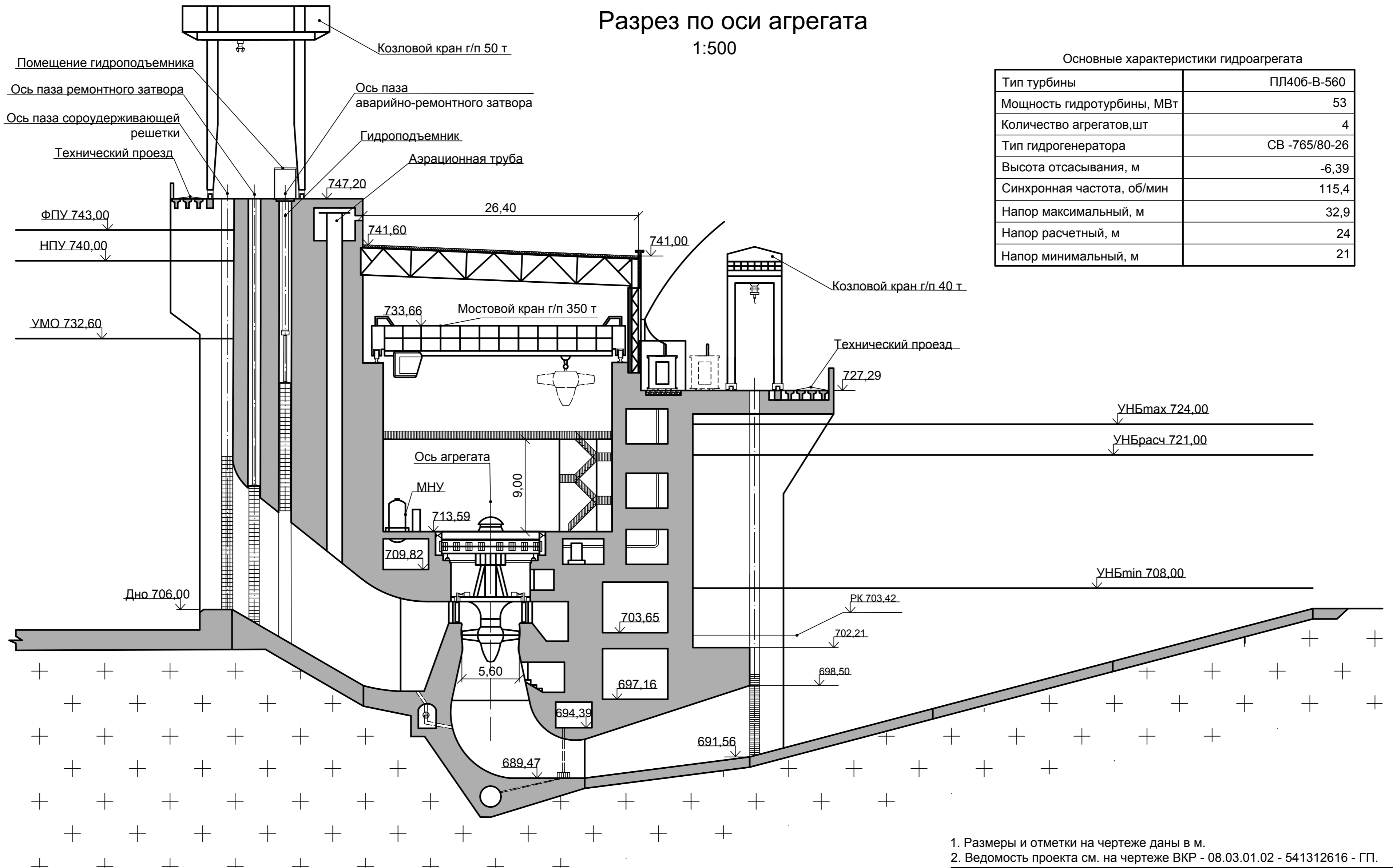
ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ГП					
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета					
Изм.	Кол. удел.	Лист	№	Подпись	Дата
Разраб.	Лактионов				
Провер.	Эклер				
Т.контр.					
Н.контр.	Затеев				
Утв.	Затеев				
Проектирование Бий-Хемской ГЭС на р. Большой Енисей				Стадия	Лист
Генеральный план. Ведомость состава проекта. Экспликация сооружений				1	6
				Кафедра ГТС, 2017	

Разрез по оси агрегата

1:500

Основные характеристики гидроагрегата

Тип турбины	ПЛ406-В-560
Мощность гидротурбины, МВт	53
Количество агрегатов, шт	4
Тип гидрогенератора	СВ -765/80-26
Высота отсасывания, м	-6,39
Синхронная частота, об/мин	115,4
Напор максимальный, м	32,9
Напор расчетный, м	24
Напор минимальный, м	21

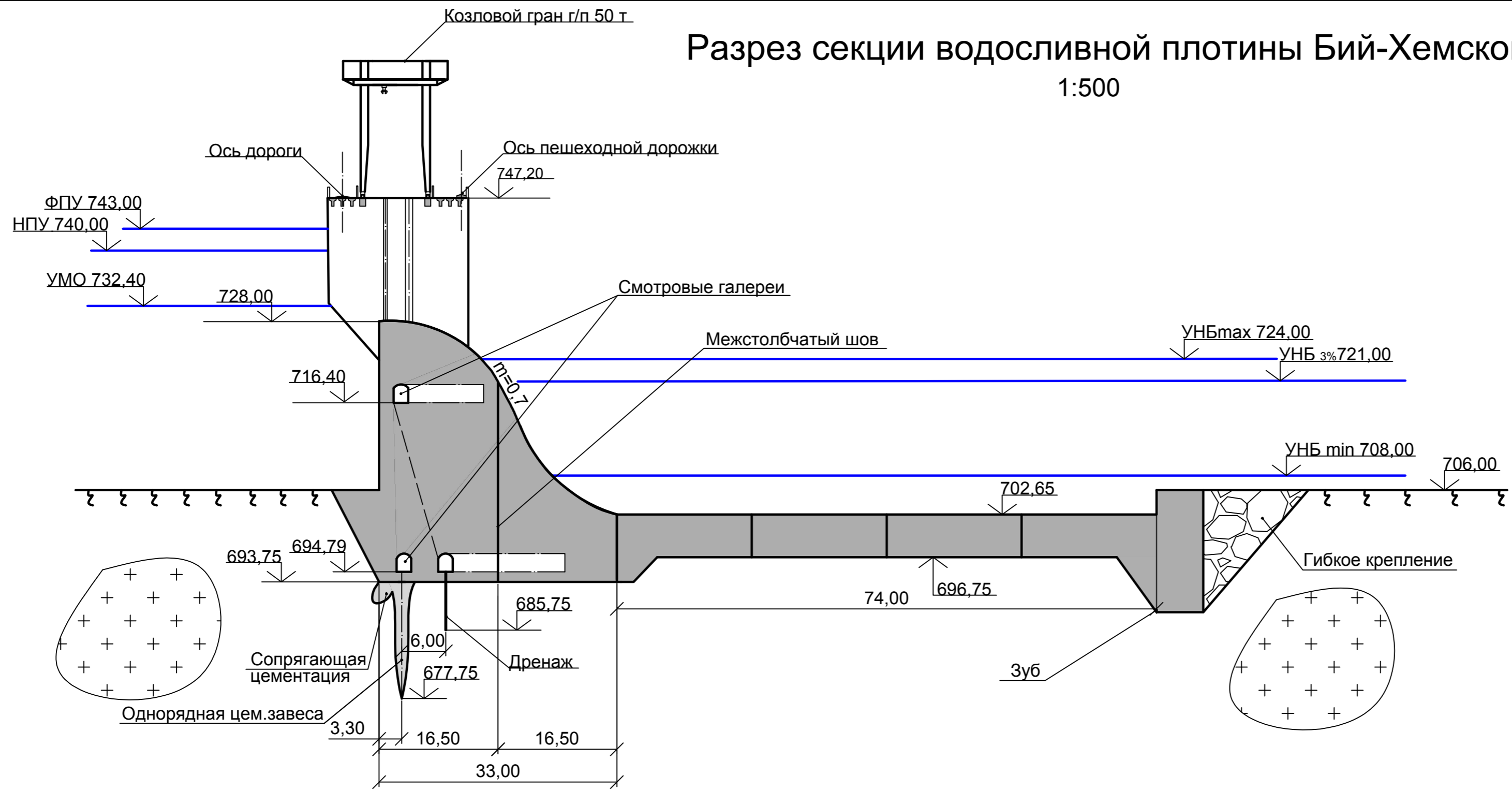


1. Размеры и отметки на чертеже даны в м.
2. Ведомость проекта см. на чертеже ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ГП.

ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 ГР1			
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета			
Изм.	Кол.	Лист	№
Разраб.	Лактионов		
Провер.	Масленникова		
Т.контр.			
Н.контр.	Затеев		
Утв.	Затеев		
Проектирование Бий-Хемской ГЭС на р. Большой Енисей			Стадия
Поперечный разрез здания ГЭС			Лист
			Листов
			1
			Кафедра ГТС, 2017

Разрез секции водосливной плотины Бий-Хемской ГЭС

1:500



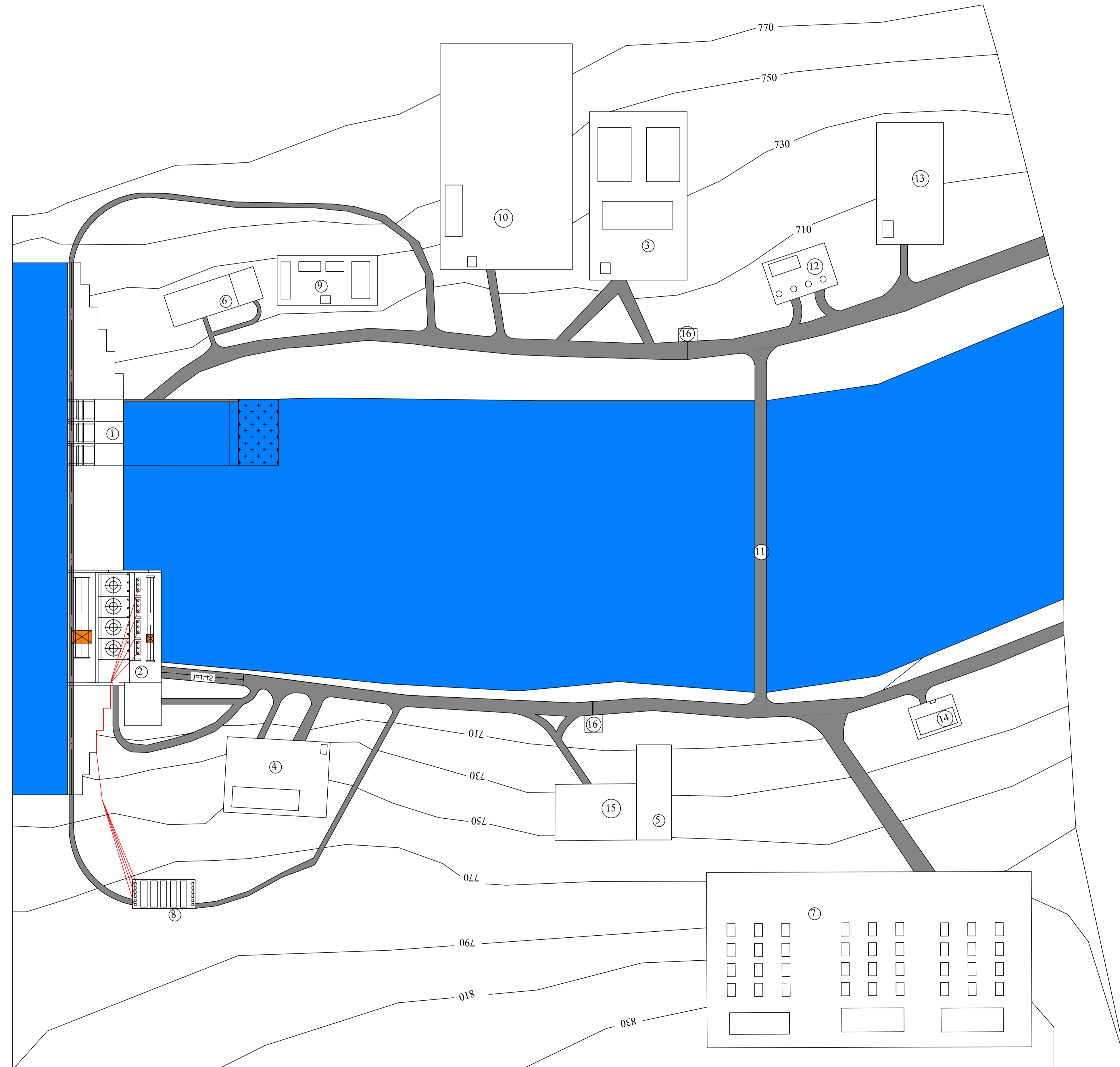
1. Размеры и отметки на чертеже даны в м.
2. Ведомость проекта см. на чертеже ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ГП.

Согласовано	
Изм. №	Подпись и дата
Взам. инв. №	
Инд. № подл.	

ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 ГР2					
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета					
Изм.	Кол.	Лист	№	Подпись	Дата
Разраб.	Лактионов				
Провер.	Пермякова				
Т.контр.					
Н.контр.	Затеев				
Утв.	Затеев				
Проектирование Бий-Хемской ГЭС на р. Большой Енисей				Стадия	Лист
Разрез секции водосливной плотины Бий-Хемской ГЭС					2
				Листов	
				Кафедра ГТС, 2017	

Строительный генеральный план

1:1000



Экспликация зданий и сооружений

1	Водосбросная плотина	11	Мост
2	Станционная плотина	12	АЗС
3	Бетонный завод	13	База механизации
4	База ГМО	14	База заказчика
5	Арматурный цех	15	Монтажная площадка
6	Столовая и мед. пункт	16	КПП
7	Жилой поселок		
8	КРУЭ		
9	Лаборатория		
10	Гравийно-сортировочное хозяйство		

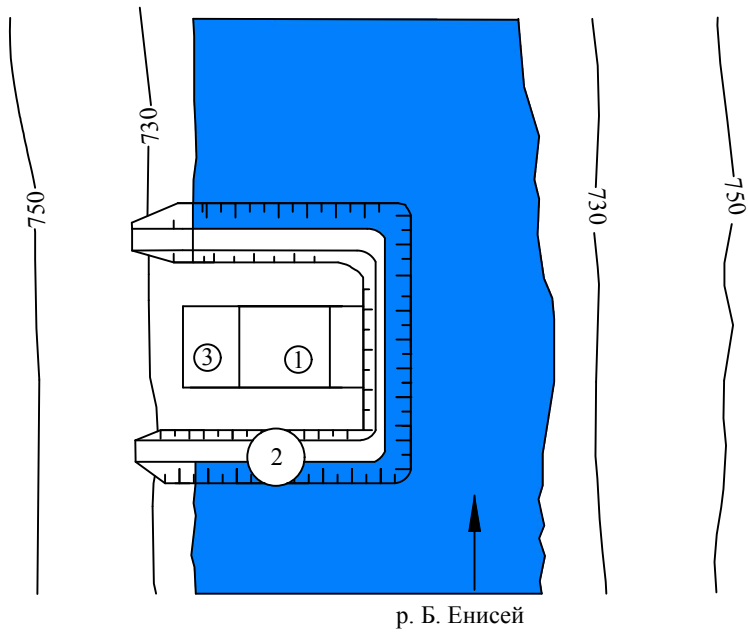
1. Размеры и отметки даны в м.
2. Условная отметка 0,00 соответствует абсолютной отметке ___ от Балтийского футштока.

				ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ПОС					
				Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета					
Изм.	Кол. укл.	Лист	№	Подпись	Дата	Проектирование	Стадия	Лист	Листов
Разраб.						Бий-Хемской ГЭС		4	
Провер.						на р. Большой Енисей			
Т.контр.						Строительный генеральный план. Экспликация сооружений			
Н.контр.									
Утв.									

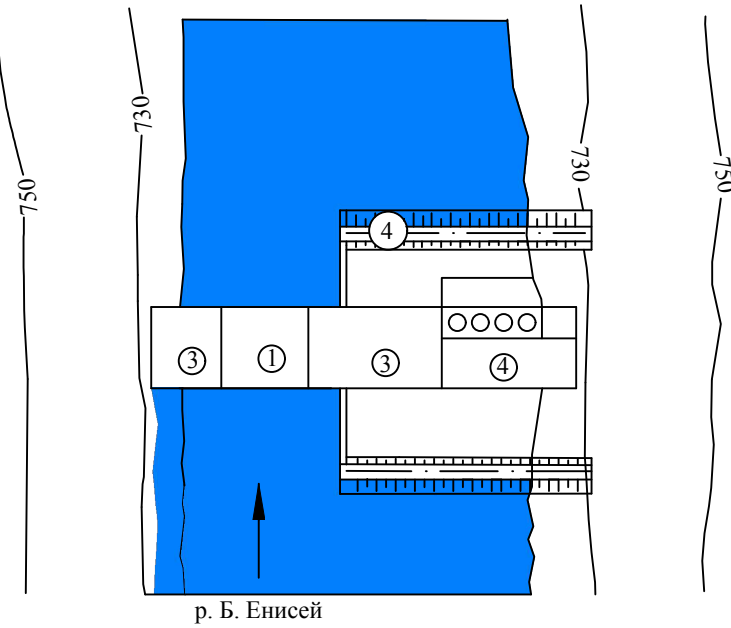
Этапы возведения сооружений

1:5000

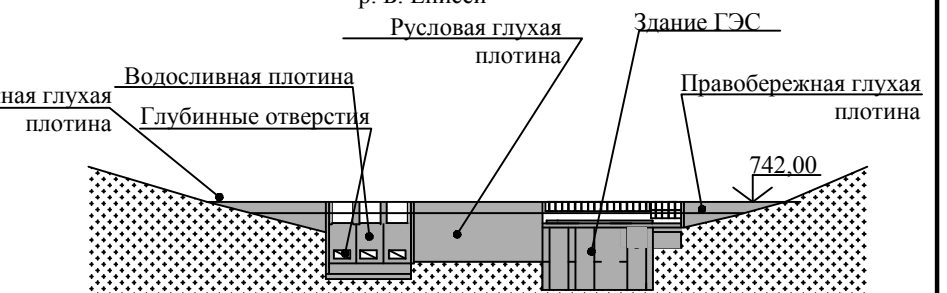
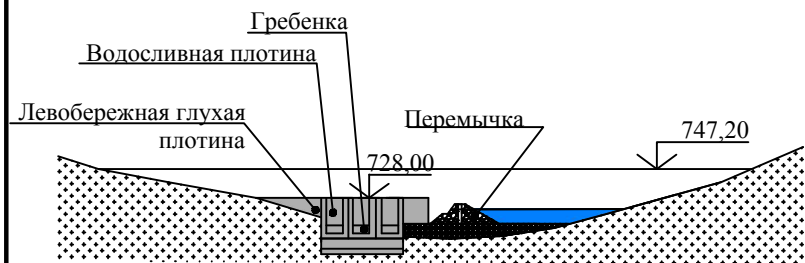
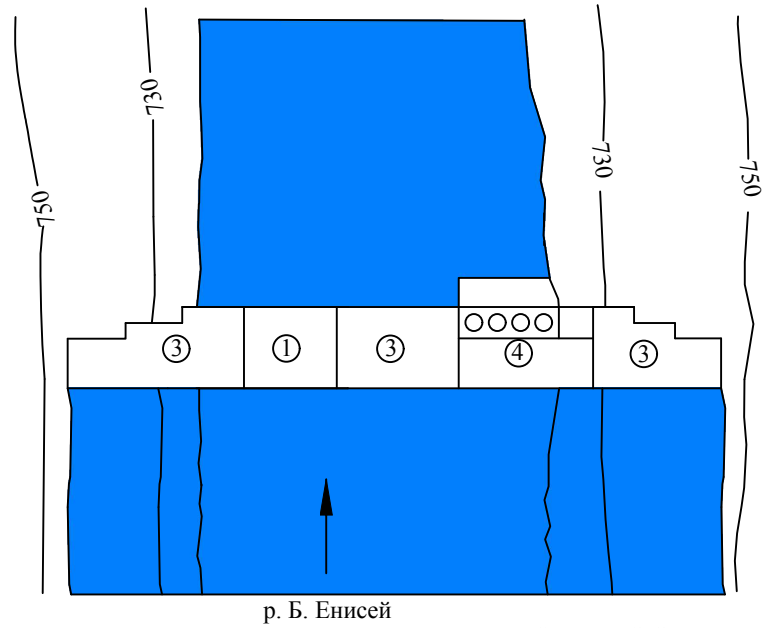
Этап 1



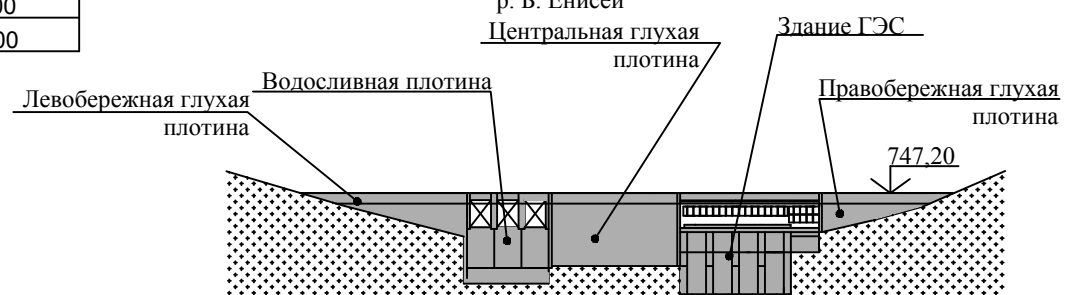
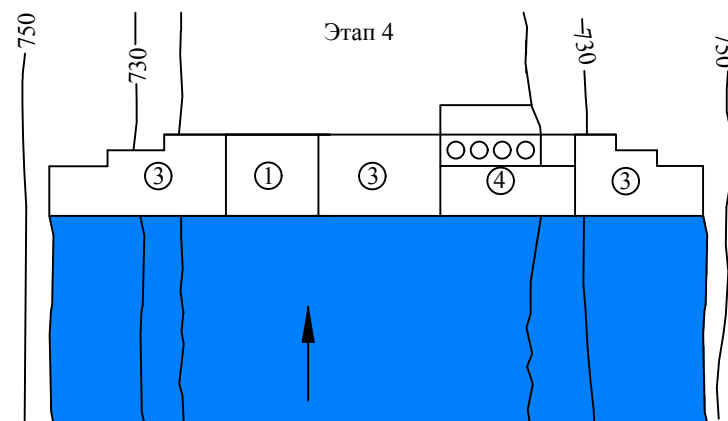
Этап 2



Этап 3



Этап 4



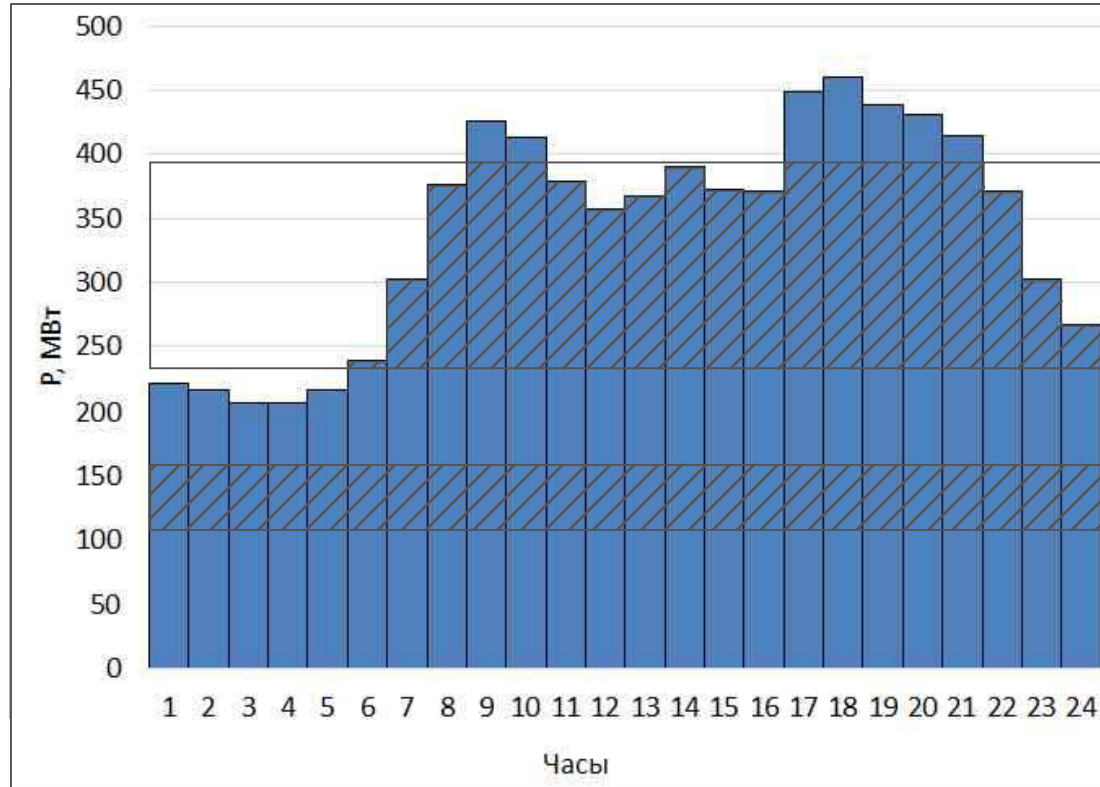
Экспликация зданий и сооружений

№	Наименование	Длина, м
1	Водосливная плотина	46,50
2	Станционная плотина	77,00
4	Левобережная глухая плотина	96,50
2	Русловая глухая плотина	78,00
2	Правобережная глухая плотина	74,00

1. Размеры и отметки на чертеже даны в м.
2. Ведомость проекта см. на чертеже ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ГП.

ВКР - 08.03.01.02 - 541312616 - ПОС					
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета					
Изм.	Кол. у.	Лист №	Подпись	Дата	
Разраб.	Лактионов				Проектирование Бий-Хемской ГЭС
Провер.	Эклер				на р. Большой Енисей
Т. контр.					Этапы возведения сооружений (1-4), Экспликация зданий и сооружений
Н. контр.	Затеев				Кафедра ГТС, 2017
Утв.	Затеев				

Суточный график для зимы

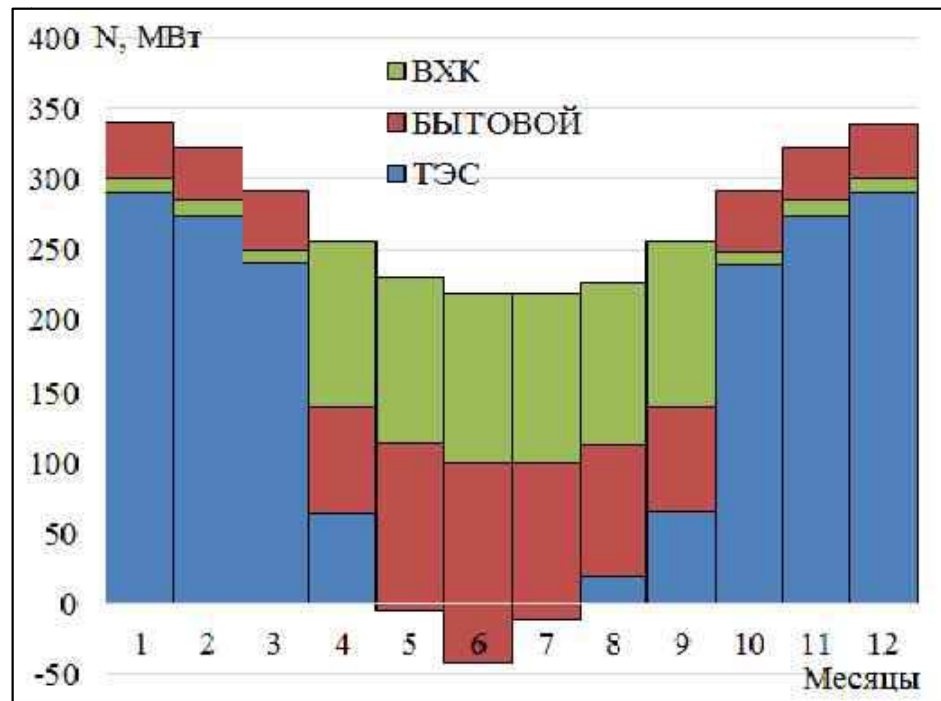


ИКН для зимы



НПУ = 740,00 м
 УМО = 732,40 м
 Нуст = 212 МВт
 $\bar{\Xi}$ = 1,0 млрд кВт·ч

Баланс энергий



Баланс мощностей

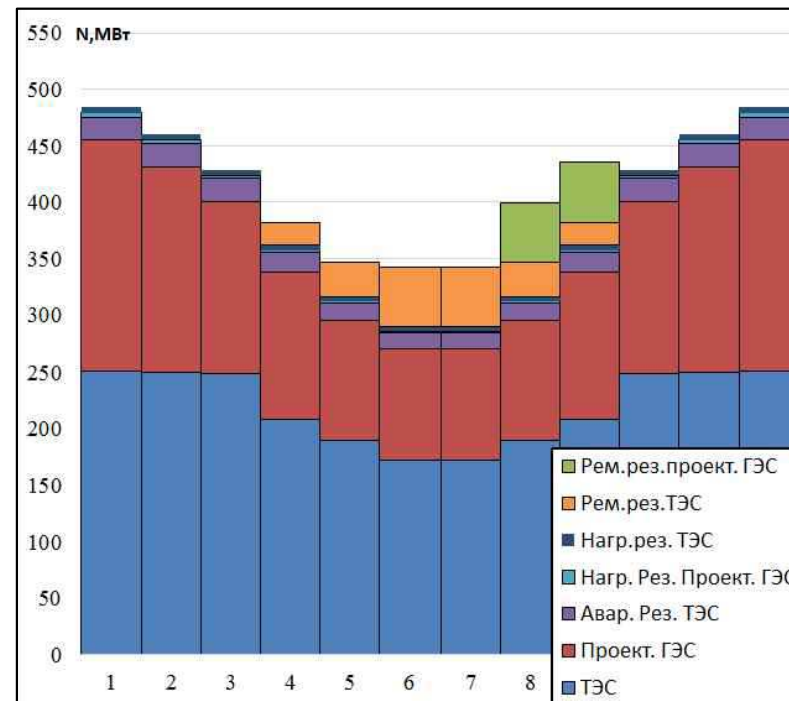
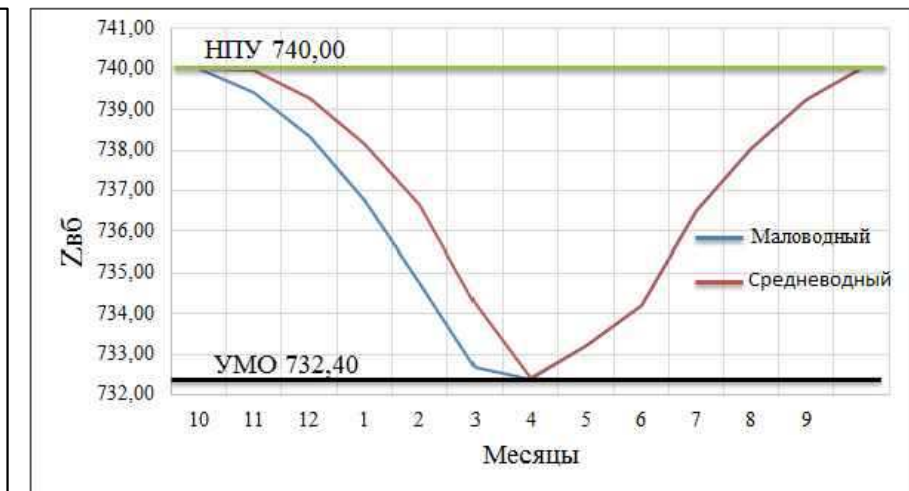
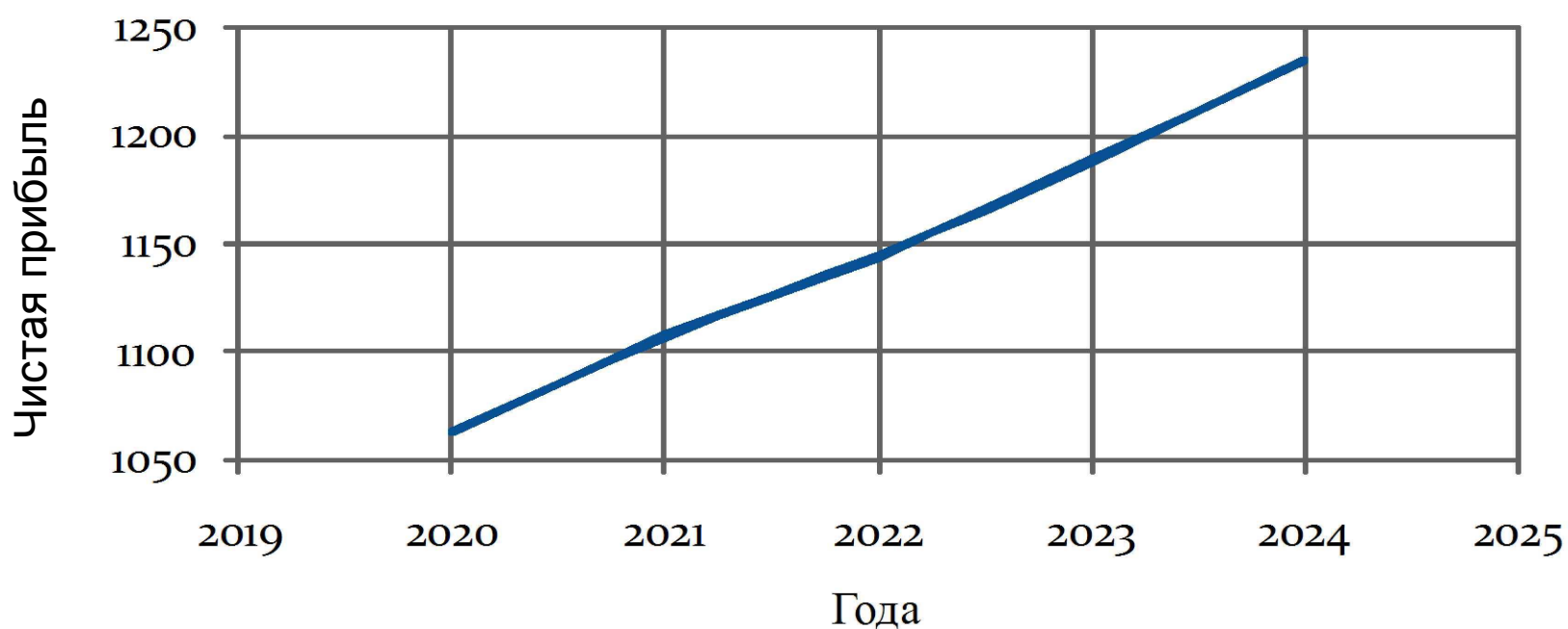


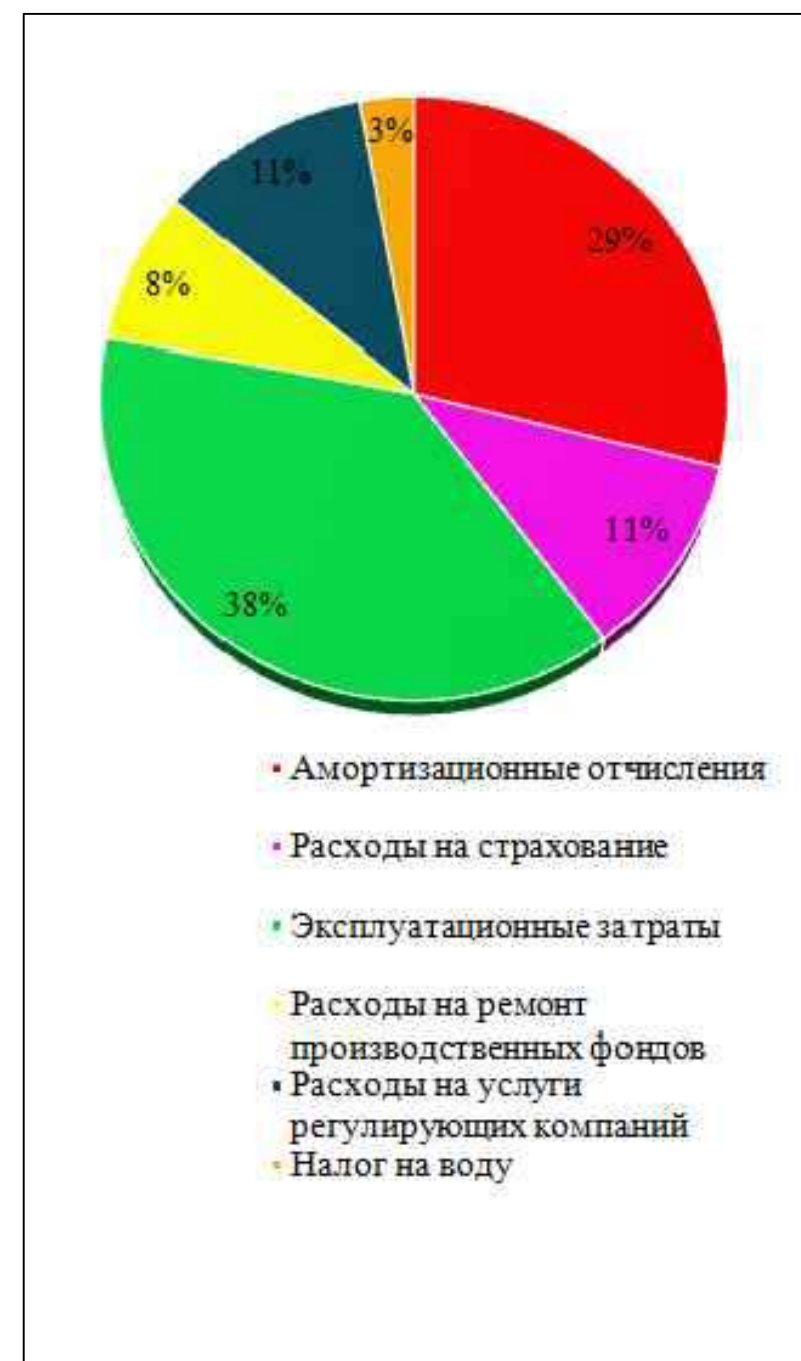
График сработки - наполнения водохранилища



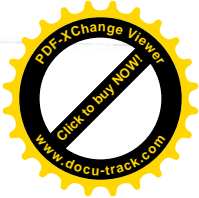
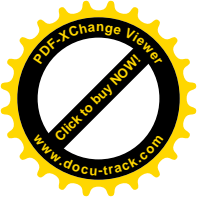
Основные технико-экономические показатели строительства Бий-Хемской ГЭС на р. Большой Енисей



Структура текущих затрат по гидроузлу



Наименование	2016
Ставка дисконтирования	11,60
Дисконтированный период окупаемости - DPB, мес	88
Средняя норма рентабельности - ARR, %	37,66
Чистый приведенный доход – NPV, млн.руб	6962,8
Индекс прибыльности – PI, руб.	2,91
Себестоимость эл.энергии, руб/Квт*ч	0,15
Удельные капиталовложения, руб/Квт	75314,1



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

Кафедра «Гидротехнических сооружений»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.Б. Затеев В.Б. Затеев
«13» 06 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

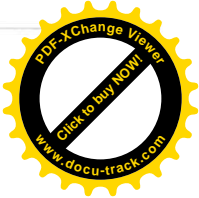
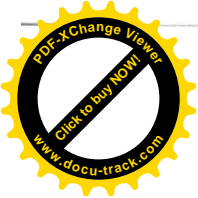
08.03.01- Строительство

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИЙ-ХЕМСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ БОЛЬШОЙ
ЕНИСЕЙ. МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОСТИ ДАМБ
ХВОСТОХРАНИЛИЩ**

Руководитель *Ульянова* 13.06.17 *старшей преподаватель* Н.П. Ульянова
подпись, дата должность, ученая степень

Выпускник *Лактионов* 13.06.17 В.Е. Лактионов
подпись, дата

Саяногорск 2017



Продолжение титульного листа БР по теме: Проектирование Бий-Хемской ГЭС на реке Большой Енисей. Мониторинг безопасности дамб хвостохранилищ

Консультанты
по разделам:

Общая часть

Ульянова 13.06.17
подпись, дата

Н.П. Ульянова

Водно-энергетические
расчеты

Затеева 9.06.17
подпись, дата

Е.Ю. Затеева

Выбор основного и
вспомогательного
оборудования

Масленникова 13.06.17
подпись, дата

А.В. Масленникова

Технология ГТС

Эклер 14.06.17
подпись, дата

Н.А. Эклер

Компоновка гидроузла,
выбор типа и расчет основных
сооружений

Пермякова 13.06.17
подпись, дата

Л.С. Пермякова

Мероприятия по охране природы

Кадычegov 15.06.17
подпись, дата

В.А. Кадычegov

Технико-экономические показатели

Лапасова 09.06.17
подпись, дата

В.В. Лапасова

Спецвопрос

Ульянова 13.06.17
подпись, дата

Н.П. Ульянова

Нормоконтролер

Чабанова 22.06.17
подпись, дата

А.А. Чабанова