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

Саяно-Шушенский филиал
институт
Гидротехнических сооружений
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Б.Затеев
подпись
«16» 03 2017г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Лебедевой Марине Петровне.
Группа СБ13-01Б. Направление (специальность) 08.03.01 «Строительство».
Тема бакалаврской работы: Проектирование Заречного гидроузла на реке Чусовая. Технология монтажа каркаса машинного зала ГЭС.
Утверждена приказом по университету № 41/17-С от 16.03.2017г
Руководитель БР Н.А. Эклер к.т.н.
Исходные данные для БР среднемесячные расходы реки Гилюй; отметка НПУ 205 м; отметка ДНА 155 м.
Перечень разделов БР 1.Общая часть; 2.Водно-энергетический расчет; 3.Выбор основного и вспомогательного оборудования; 4. Компоновка и состав сооружений; 5.Организация строительства; 6. Экология Заречного гидроузла; 7.Технико-экономические показатели; 9. Технология монтажа каркаса машинного зала ГЭС.
Перечень графического материала Генеральный план Заречного гидроузла на реке Чусовая; Строительный генеральный план; Поперечный разрез станционной части плотины со зданием ГЭС; Разрез по водосливной плотине. План водосливной плотины; Конструкция каркаса машинного зала ГЭС; Этапы возведения строительства Заречного гидроузла.

Руководитель БР _____ Н.А. Эклер
подпись инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению _____ М.П.Лебедева
подпись инициалы и фамилия

«16» 07 2017 г.

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

Кафедра «Гидротехнических сооружений и ГМ»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Б. Затеев
«09» 06 2017г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

08.03.01 – Строительство

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАРЕЧНОГО ГИДРОУЗЛА НА РЕКЕ ЧУСОВАЯ. ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА КАРКАСА МАШИННОГО ЗАЛА ГЭС

Руководитель _____ 9.06.17 _____ к.т.н. _____ Н.А. Эклер
подпись, дата — должность, ученая степень — инициалы, фамилия

Выпускник _____ 16.06.17г. _____ М.П. Лебедева
подпись, дата — инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2017

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Заречного гидроузла на реке Чусовая. Технология монтажа каркаса машинного зала ГЭС»

Консультанты по
разделам:

Общая часть	9.06.17 подпись, дата	Н.А. Эклер инициалы, фамилия
Водноэнергетический расчет	9.06.17 подпись, дата	Е.Ю. Затеева инициалы, фамилия
Основное и вспомогательное оборудование	подпись, дата	А.В. Масленникова инициалы, фамилия
Компоновка и сооружения ГУ	13.06.17 подпись, дата	Л.С. Пермякова инициалы, фамилия
Организация строительства	9.06.17 подпись, дата	Н.А. Эклер инициалы, фамилия
Экология гидроузла	15.06.17 подпись, дата	В.А. Кадычегов инициалы, фамилия
Технико-экономические показатели	09.06.17 подпись, дата	В.В. Лапасова инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	16.06.17 подпись, дата	А.А. Чабанова инициалы, фамилия

Сокращенный паспорт Заречного гидроузла на реке Чусовая

Наименование ГЭС Заречная ГЭС на реке Чусовая,
Местонахождение ГЭС Свердловская область,
Тип проектируемой установки Гидроэлектростанция.

Характерные расходы воды:
а) среднемноголетний 222 м³/с,
б) всех турбин 474 м³/с,
в) максимальный с учетом трансформации паводка обеспеченностью 0,1%, 3328 м³/с,
г) максимальный поверочный расход обеспеченностью 0,01%, 4224 $м^3/с$,

Параметры водохранилища:
а) характер регулирования стока многолетний,
б) отметки: НПУ 205 м; УМО 197,7 м
в) объемы водохранилища: полный 16,1 $км^3$; полезный 4,7 $км^3$.

Напоры ГЭС:
а) максимальный 50 м,
б) расчетный 43,5 м,
в) минимальный 40,5 м.

Энергетические характеристики:
а) мощность установленная 714 МВт; гарантированная 700 МВт;
б) Среднемноголетняя выработка электроэнергии 1,2 млрд. кВт.ч.
в) Число часов использования установленной мощности 8640 час.

Плотины:
а) гравитационная водосливная материал бетон,
б) левобережная гравитационная глухая материал бетон,
в) центральная гравитационная глухая материал бетон,
г) станционная русловая гравитационная материал бетон,
д) правобережная гравитационная глухая материал бетон,
д) общая длина 430 м, максимальная высота 59,2 м.

Водосбросные сооружения
а) тип гашение по типу отлета струи,
б) число пролетов 4 отверстий ,
в) общая длина 44 м,

Здание ГЭС:
а) тип здания русловое число агрегатов 4,
б) размеры: общая длина 132 м ширина 24 м.

Основное оборудование:
а) тип турбины ПЛ50-В-750,
б) тип генератора СВ-1332/179-56 УХЛ4,
в) частота вращения 107,1 об/мин,

Технико-экономические показатели:
а) период окупаемости 5,6 лет,
б) себестоимость энергии 14 коп/кВт·ч,
в) удельные капитальные вложения 91314,1 руб/кВт

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……...6
1. Общие сведения……7
2 Водно – энергетический расчет……9
2.1 Исходные данные 9
2.2 Выбор расчетных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности 10
2.3 Построение кривых связей 13
2.4 Построение графиков нагрузки энергосистемы 15
2.4.1 Построение суточных графиков нагрузки 15
2.4.2 Построение годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок 17
2.5 Водноэнергетический расчет 19
2.5.1 Расчет режимов работы ГЭС без регулирования с учетом требований водохозяйственной системы 19
2.5.2 Водно-энергетические расчеты режима работы ГЭС в маловодном году……21
2.5.3 Водно-энергетические расчеты режима работы ГЭС в средневодном году……21
2.6 Существующие ГЭС энергосистемы Урала 22
2.7 Построение режимного поля 25
3 Выбор числа и типа агрегатов……26
3.1 Построение режимного поля 26
3.1.1 Выбор гидротурбин по главным универсальным характеристикам. 28
3.1.2 Определение отметки установки рабочего колеса гидротурбины 32
3.2 Гидротурбина и её проточная часть 35
3.2.1 Гидравлический расчет и построение плана бетонной спиральной камеры……...35
3.2.2 Расчет отсасывающей трубы 38
3.3 Гидрогенератор 42
3.3.1 Определение параметров и размеров гидрогенератора 42
3.3.2 Определение геометрических размеров машинного зала 42
3.4 Подъёмно – транспортное оборудование 43
3.5 Выбор маслонапорной установки и ЭГР 43
3.5.1 Выбор типа и габаритных размеров маслонапорной установки 43
3.5.2 Выбор электрогидравлического регулятора 43
3.6 Вал и подшипник 44
3.6.1 Расчёт вала на прочность 44
3.6.2 Расчет подшипника 44
3.7 Заглубление водозабора на величину воронкообразования……45
4 Компановка и сооружения гидроузла……46
4.1 Проектирование сооружений напорного фронта 46
4.1.1 Определение отметки гребня бетонной плотины 46
4.2 Гидравлические расчеты 49

4.2.1 Определение ширины водосливного фронта 49
4.2.2 Определение отметки гребня водослива 51
4.2.3 Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае……52
4.2.4 Построение профиля водосливной плотины по координатам Кригера-Офицерова..... 53
4.2.5 Расчет сопряжения потока в нижнем бьефе 55
4.2.6 Гашение энергии с помощью отброшенной струи 56
4.3 Конструирование плотины 58
4.3.1 Определение ширины подошвы плотины 58
4.3.2 Разрезка бетонных плотин швами 59
4.3.3 Быки 59
4.3.4 Устои..... 60
4.3.5 Дренаж тела бетонных плотин..... 60
4.3.6 Галереи в теле плотины 60
4.4 Конструирование подземного контура плотины 61
4.4.1 Цементационная завеса 61
4.4.2 Дренаж основания 61
4.5 Фильтрационные расчеты подземного контура 62
4.5.1 Построение эпюры фильтрационного давления 62
4.6 Определение основных нагрузок на плотину..... 63
4.6.1 Вес плотины и быков 63
4.6.2 Вес плоского затвора 64
4.6.3 Сила гидростатического давления воды..... 65
4.6.4 Равнодействующая взвешивающего давления 66
4.6.5 Сила фильтрационного давления 66
4.6.6 Давление грунта 66
4.6.7 Волновое давление..... 68
4.7 Оценка прочности плотины..... 69
4.8 Критерии прочности плотины..... 73
4.9 Расчет устойчивости плотины на сдвиг по основанию 75
5 Организация строительства 77
5.1 Этапы возведения сооружений и схема пропуска строительных расходов на различных этапах..... 77
5.1.1 Первый этап 77
5.1.2 Второй этап 84
5.1.3 Третий этап 87
6 Экология гидроузла 88
6.1 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства..... 88
6.2 Мероприятия по подготовке ложа водохранилища 89
6.3 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации……...90
7 Оценка объемов реализации энергии и расходов……92

7.1 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации……..92
7.1.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии 92
7.1.2 Текущие расходы по гидроузлу..... 93
7.1.3 Налоговые расходы..... 95
7.2 Оценка суммы прибыли от реализации электроэнергии и мощности……96
7.3 Оценка инвестиционного проекта……..97
7.3.1 Методология, исходные данные..... 97
7.3.2 Коммерческая эффективность 98
7.3.3 Бюджетная эффективность..... 98
7.4 Анализ чувствительности…….99
8 Технология монтажа каркаса машинного зала……...102
8.1 Краткая характеристика каркаса машинного зала 102
8.2 Ведомость монтируемых элементов сборных конструкций..... 103
8.3 Ведомость объёмов работ..... 103
8.4 Выбор методов монтажа конструкций..... 104
8.5 Выбор основных монтажных приспособлений и грузозахватных устройств..... 105
8.6 Определение параметров монтажных кранов 106
8.7 Организация и технология монтажа конструкций здания 109
8.8 Контроль качества монтажных работ..... 109
8.9 Калькуляция трудовых затрат..... 112
8.10 График производства монтажных работ..... 114
8.11 Безопасность труда при производстве монтажных работ..... 115
Заключение……..117
Список использованных источников……119
Приложения А-Д……..121-125

ВВЕДЕНИЕ

Проектируемый речной гидроузел имеет энергетическое назначение. В его составе проектируется бетонная водосливная плотина, глухие бетонные плотины и гидроэлектростанция приплотинного типа с монтажной площадкой.

Задачей проектирования является определение взаимного расположения сооружений гидроузла, их параметров, типа гасителей энергии сбрасываемого потока воды с гребня водосливной плотины, состав подземного контура и размеры его элементов.

Запроектированные сооружения должны отвечать требованиям прочности и устойчивости.

На компоновку гидроузла влияет каждое из входящих в его состав сооружений, при размещение которых должны быть обеспечены оптимальные условия для их функционирования. Приступая к компоновке гидроузла, необходимо определить состав ГТС, назначить класс основных ГТС, их общее конструктивное решение и основные параметры сооружений.

В выбранном створе сооружения располагают в зависимости от топографических условий и несущей способности пород.

Размещение бетонных сооружений необходимо увязать с наиболее удобной в технологическом аспекте и максимально экономичной схемой производства работ.

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

На начальном этапе проектирования, выбрав тип плотины, определяют отметку гребня плотины, ширину водосбросного фронта, отметку порога водослива и напора на нем. На последующих стадиях конструируют профиль водослива, проектируют устройство нижнего бьефа; конструируют элементы самой плотины (дренаж, смотровые галереи), конструкции подземного контура плотины, быки и устои.

1. Общие сведения

Проектируемый гидроузел располагается на реке Чусовая, которая протекает по Среднему Уралу и является левым притоком Камы. Ее притоки: Ревда, Большая Шайтанка, Каменка, Дикая Утка, Кын. Створ гидроузла располагается в 15 км от поселка Заречный вверх по течению (рис.1.1).

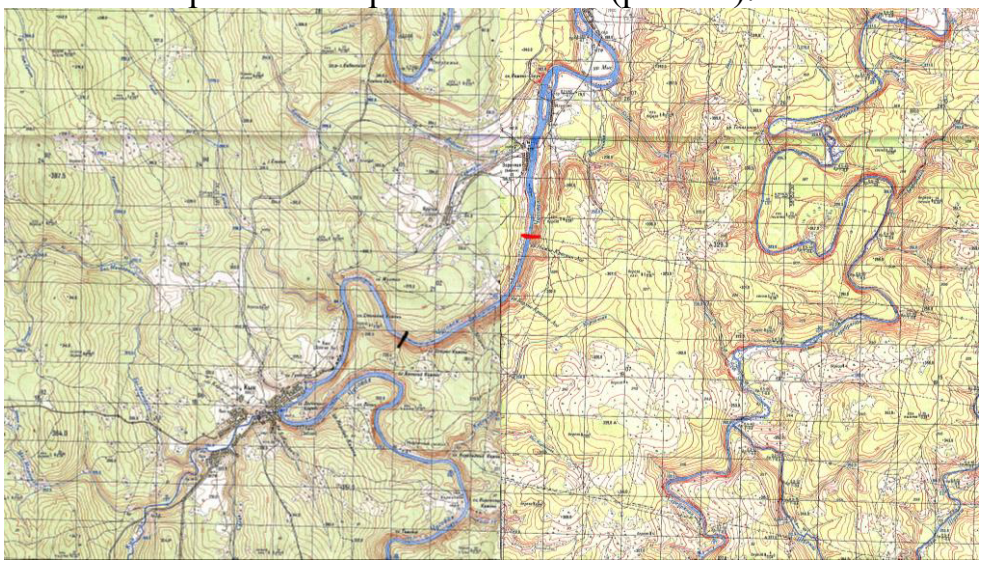


Рисунок 1.1 – Расположение створа на карте

Питание реки смешанное с преобладанием снегового (55 %), дождевое составляет 29 %, подземное 18 %. Длина реки – 735м, площадь водосбора – 47600 км^2. Характер течения: в верховьях – предгорный, в среднем и нижнем течении – равнинный. Максимальный расход воды $Q_{max} = 4570 \text{м}^3/\text{с}$, минимальный расход $Q_{min} = 8{,}4 \text{м}^3/\text{с}$, среднегодовой расход $Q_{\text{ср}} = 222 \text{м}^3/\text{с}$. Климат типично континентальный, среднегодовая температура +3 °С, средняя температура января −12,6 °С с абсолютным минимумом −46,7 °С. Средняя температура июля +19 °С с абсолютным максимумом +38,8 °С. Многолетняя среднемесячная температура наружного воздуха изменяется с амплитудой 33 °С.

Преобладающее направление ветра западное и юго-западное, типичное для средних широт. Скорость ветра при 2% обеспеченности $v_w = 20 \text{м/с}$, при 20% обеспеченности $v_w = 16 \text{м/с}$. Максимум осадков приходится на теплый сезон, в течение которого выпадает около 60-70 % годовой суммы.

Створ гидроузла характеризуется относительной шириной $\frac{l_{ch}}{h} = \frac{430}{52} = 8$, и является симметричным (рис.1.2).

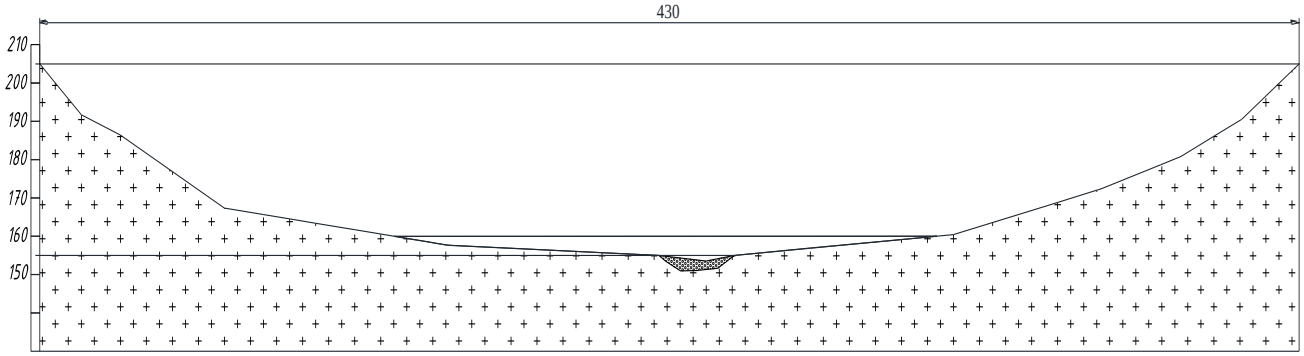


Рисунок 1.2 – Продольный разрез по створу гидроузла

В основании русла залегает гранит - магматическая горная порода, является одной из самых плотных, твёрдых и прочных пород. Плотность гранита — 2600 кг/м³, прочность на сжатие до 300 МПа.

Основными источниками загрязнения реки Чусовая в рассматриваемом створе является сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод с коммунальных, промышленных, сельскохозяйственных объектов, находящихся выше по течению от створа строительства.

Основными загрязняющими веществами, поступающими в реку со сточными водами промышленных предприятий, предприятий коммунального хозяйства и с ливневыми водами с территорией населенных пунктов, являются: нефтепродукты, нитриты, нитраты, фосфаты, азот аммонийный, взвешенные вещества.

В верхнем течении берега Чусовой в основном заняты болотными и луговыми природными сообществами, леса (по большей части сосновые) встречаются лишь местами. В среднем течении берега реки в основном покрыты таёжными хвойными лесами (основные породы — ель, сибирский кедр, лиственница, сосна). В низовьях леса вновь встречаются реже, причём на смену хвойным приходят смешанные и лиственные (основные породы здесь — осина, берёза, рябина, черёмуха, ива).

Из рыб в Чусовой водятся: гольян, окунь, ёрш, плотва, щука, язь, голавль, лещ. На притоках имеются следы деятельности бобров; в бассейне реки водится ондатра. В осеннее время на реке находят пристанище утки и гуси, имеется и другая водоплавающая птица. Встречаются колонии раков.

Окружающие Чусовую леса населены многочисленными животными, среди которых лось, бурый медведь, волк, рысь, лиса, заяц, белка, бурундук. Часто встречаются тетерева, рябчики.

Воздействие Заречной ГЭС на окружающую среду будет оказываться в период строительства и в период дальнейшей эксплуатации станции.

2 Водно – энергетический расчет

2.1 Исходные данные

-▼ НПУ – 205,00 м;
- β=0,8;
- Потери напора в водоподводящих сооружениях Δh=0,6;
- Энергосистема : ОДУ Урала, створ находится в Свердловском РДУ ($Э_{год}$ = 46,88 млрд. кВтч ; $N_{уст}$ = 10712,9 МВт);
- гидрологический ряд расходов воды за период 1923-1972 гг.(табл.2.1).

Таблица 2.1 – Среднемесячные и среднегодовые расходы воды ($м^3/с$) в створе

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	$Q_{ср.год}$
1923	38,1	33,3	64	858	567	541	278	131	95	162	89	61	243
1924	16,7	13,3	133	380	448	776	449	230	189	224	48	33	245
1925	30,7	26,7	43	343	625	443	361	308	282	175	76	56	231
1926	36,7	33,3	58	478	772	416	323	199	201	253	73	55	241
1927	28,0	23,3	34	302	574	538	248	98	68	67	34	22	170
1928	10,0	6,7	28	463	503	418	166	119	75	67	47	41	162
1929	38,5	30,3	42	425	497	417	268	171	165	217	105	57	203
1930	35,0	32,9	55	331	476	442	342	202	188	134	55	48	195
1931	35,0	30,3	48	713	639	590	263	172	152	139	92	49	243
1932	29,1	27,3	103	281	600	483	240	131	111	165	42	31	187
1933	32,6	29,6	39	276	940	591	295	226	177	212	68	37	244
1934	38,3	31,3	50	370	493	979	306	171	193	141	51	41	239
1935	37,3	34,5	59	351	549	433	231	291	201	217	98	54	213
1936	35,2	33,3	53	285	422	437	341	256	145	160	38	33	187
1937	37,4	32,2	50	612	685	676	372	229	193	177	67	51	265
1938	32,0	27,9	38	262	1005	589	207	179	125	116	51	39	223
1939	23,7	20,0	28	451	861	602	442	214	197	136	58	11	254
1940	41,8	32,2	45	534	628	792	337	183	222	226	123	47	267
1941	38,3	33,8	51	399	632	582	315	258	205	242	147	58	247
1942	38,7	31,5	40	373	613	730	286	181	143	242	94	66	237
1943	43,7	40,9	68	1104	1092	621	349	236	194	249	128	62	349
1944	35,7	25,3	29	672	697	716	412	265	244	241	141	48	294
1945	41,4	33,3	37	672	646	272	231	133	127	133	123	57	209
1946	13,3	10,0	48	959	694	537	304	202	135	195	66	43	267
1947	30,7	26,7	48	286	573	570	247	210	230	256	162	44	223
1948	26,7	23,3	42	297	709	630	316	152	144	185	66	36	219
1949	37,6	30,7	51	631	1056	699	356	242	156	165	119	70	301
1950	30,8	23,7	90	660	976	659	385	243	221	210	182	29	309
1951	38,3	33,1	46	283	965	434	313	200	189	190	50	50	233
1952	39,0	33,1	48	335	1109	701	499	287	220	186	87	55	300
1953	38,3	31,9	38	170	874	627	276	130	111	126	102	67	216
1954	47,9	36,9	50	240	900	1056	563	385	224	264	125	55	329
1955	46,5	38,0	59	1109	902	674	435	299	295	303	123	81	364
1956	47,9	41,1	67	791	1050	675	406	232	204	253	165	63	333

Окончание таблицы 2.1

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	$Q_{ср.год}$
1957	38,0	31,2	47	691	865	473	349	205	182	152	63	44	262
1958	44,2	38,7	59	459	1068	549	408	221	232	204	107	54	287
1959	40,4	33,4	46	315	726	932	462	264	220	206	72	51	281
1960	36,7	31,0	41	627	1095	613	374	211	183	176	78	32	292
1961	32,2	23,2	80	515	747	406	209	95	86	128	30	50	200
1962	36,7	35,0	54	1265	917	516	413	255	208	233	81	47	338
1963	37,1	31,3	41	634	606	191	144	202	120	131	93	39	189
1964	38,8	20,0	42	791	443	504	302	131	134	187	136	108	236
1965	37,6	33,8	45	694	874	386	238	208	180	198	78	56	252
1966	36,7	16,7	48	769	770	581	343	217	155	217	63	48	272
1967	34,7	30,5	44	255	561	435	314	232	204	182	43	32	197
1968	36,4	26,3	27	352	882	559	241	124	95	101	64	58	214
1969	36,2	33,8	51	303	826	424	245	361	242	155	91	31	233
1970	48,8	41,4	65	772	1115	683	485	442	278	293	84	96	367
1971	47,0	40,1	56	773	741	670	403	381	316	254	159	59	325
1972	38,1	31,3	43	669	621	610	433	260	251	207	102	48	276

2.2 Выбор расчетных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности

Месяцы, относящие к периоду межени – I,II,III,VIII, IX, X, XII;

Месяцы, относящие к периоду половодья – IV, V, VI, VII.

Определив границы сезонов, для всех лет ряда вычисляем средние доходы за год, лимитирующий сезон и период половодья. Ранжируем каждую последовательность в порядке убывания , вычисляем обеспеченность, результаты заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Данные для выбора расчетного средневодного года и маловодного года

m	P,%	$Q_{ср}$, $м^3/с$	Год	$Q_{п}$, $м^3/с$	Год	$Q_{м}$, $м^3/с$	Год
1	2	367	1970	792	1943	169	1970
2	4	364	1955	780	1955	164	1971
3	6	349	1943	778	1962	156	1955
4	8	338	1962	764	1970	148	1954
5	10	333	1956	731	1956	134	1956
6	12	329	1954	690	1954	129	1941
7	14	325	1971	686	1949	129	1950
8	16	309	1950	677	1960	129	1944
9	18	301	1949	670	1950	128	1943
10	20	300	1952	661	1952	126	1947
11	22	294	1944	647	1971	125	1969
12	24	292	1960	624	1944	125	1925
13	25	287	1958	624	1946	124	1935

Окончание таблицы 2.2

m	P,%	$Q_{ср}$, $м^3/с$	Год	$Q_{п}$, $м^3/с$	Год	$Q_{м}$, $м^3/с$	Год
14	27	281	1959	621	1958	123	1972
15	29	276	1972	616	1966	120	1958
16	31	272	1966	609	1959	119	1952
17	33	267	1940	595	1957	119	1962
18	35	267	1946	589	1939	117	1959
19	37	265	1937	586	1937	115	1940
20	39	262	1957	583	1972	114	1926
21	41	254	1939	573	1940	111	1924
22	43	252	1965	561	1923	109	1949
23	45	247	1941	551	1931	105	1937
24	47	245	1924	548	1965	105	1965
25	49	244	1933	537	1934	105	1942
26	51	243	1923	526	1933	103	1929
27	53	243	1931	516	1938	103	1933
28	55	241	1926	513	1924	100	1967
29	57	239	1934	510	1964	100	1966
30	59	237	1942	509	1968	100	1964
31	61	236	1964	501	1942	100	1951
32	63	233	1951	499	1951	99	1960
33	65	233	1969	497	1926	95	1957
34	67	231	1925	488	1948	94	1936
35	69	223	1938	487	1953	94	1930
36	71	223	1947	482	1941	90	1931
37	73	219	1948	469	1961	90	1934
38	75	216	1953	455	1945	89	1946
39	76	214	1968	450	1969	87	1963
40	78	213	1935	443	1925	86	1939
41	80	209	1945	419	1947	86	1945
42	82	203	1929	416	1927	84	1948
43	84	200	1961	402	1929	84	1923
44	86	197	1967	401	1932	81	1953
45	88	195	1930	398	1930	80	1932
46	90	189	1963	394	1963	76	1938
47	92	187	1932	391	1967	66	1968
48	94	187	1936	391	1935	66	1961
49	96	170	1927	388	1928	49	1928
50	98	162	1928	371	1936	47	1927

Расчетные значения обеспеченности для выбора маловодного и средневодного года принимаются равными 90% и 50% соответственно.

Выбор расчетного средневодного года (P=50%)

Вычисляем коэффициенты приведения по межени и половодью. Принимаем тот год, который будет иметь коэффициент приведения ближе к единице.

$$k_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{м1929}}}{Q_{\text{м1923}}} = \frac{103}{84} = 1{,}23 \quad (2.1)$$

$$k_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{м1933}}}{Q_{\text{м1923}}} = \frac{526}{561} = 0{,}94 \quad \ldots \quad (2.2)$$

$$k_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{м1942}}}{Q_{\text{м1933}}} = \frac{105}{103} = 1{,}02 \quad (2.3)$$

$$k_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{м1934}}}{Q_{\text{м1933}}} = \frac{537}{526} = 1{,}02 \quad (2.4)$$

В качестве расчетного средневодного года принимаем 1923г. Результаты применения коэффициентов занесены в таблицы 2.3,2.4 и изображены на рис.2.1.

Таблица 2.3 – Расчетный средневодный год без корректировки и с корректировкой

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$Q_{ср.}$, $м^3/с$
$Q_{50\%}$, $м^3/с$	38	33	64	858	567	541	278	131	95	162	89	61	243
$Q_{пр50\%}$, $м^3/с$	47	41	78	804	531	500	260	159	114	196	110	76	243

Таблица 2.4 – Расчетный маловодный год (корректировка не требуется)

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$Q_{ср}$, $м^3/с$
$Q_{90\%}$,$м^3/с$	37	31	41	634	606	191	144	202	120	131	93	39	189

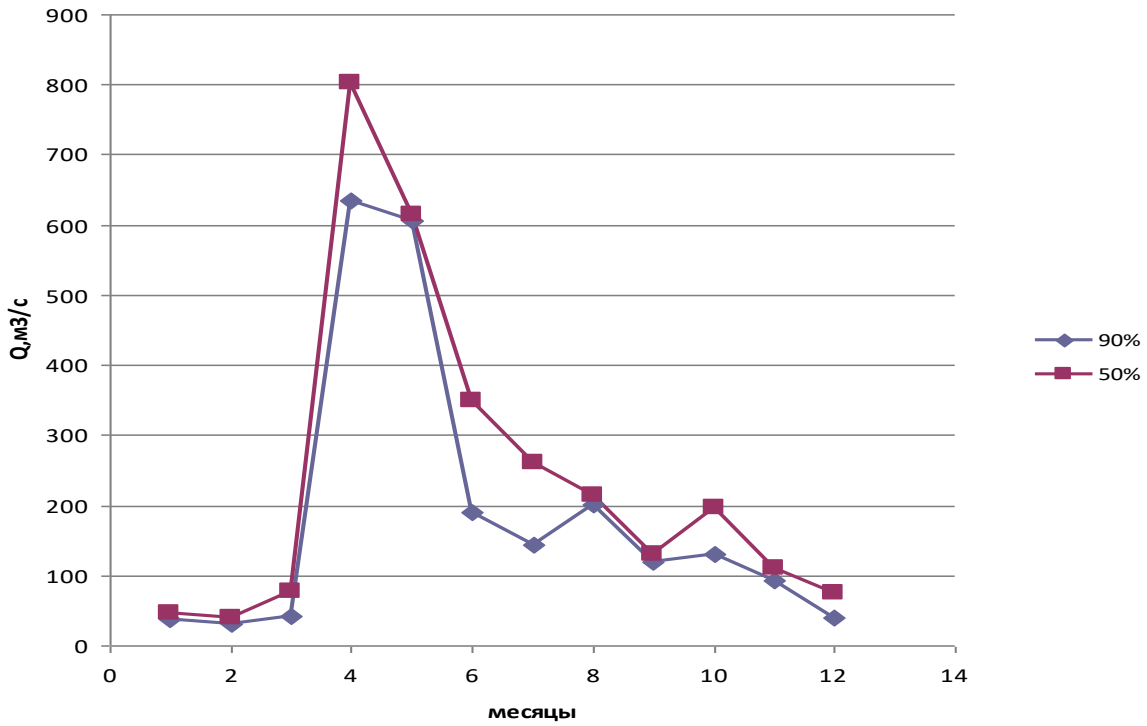


Рисунок 2.1 – Кривые расчетного маловодного года и средневодного года

2.3 Построение кривых связей

Выбрав створ на реке Чусовая, определили отметку ∇НПУ=205,0м и отметку ∇Дна =155,0м.

Для выбранного створа характерны следующие кривые связи для верхнего и нижнего бьефов изображенные на рисунках 2.2 и 2.3. Данные для построения кривых связей указаны в таблицах 2.5 и 2.6.

Кривая связи ВБ

Таблица 2.5 – Характеристики верхнего бьефа

V, км^3	$Z_{вб}$,м	$Z_{расч}$,м	ΔZ
0,0	155,00	155,00	0,00
2,0	172,77	172,77	0,00
4,0	184,14	184,14	0,00
6,2	193,65	193,65	0,00
7,6	198,46	198,46	0,00
10,2	205,00	205,01	-0,01
12,0	208,35	208,34	0,01
13,8	211,25	211,25	0,00
16,1	212,62	212,62	0,00

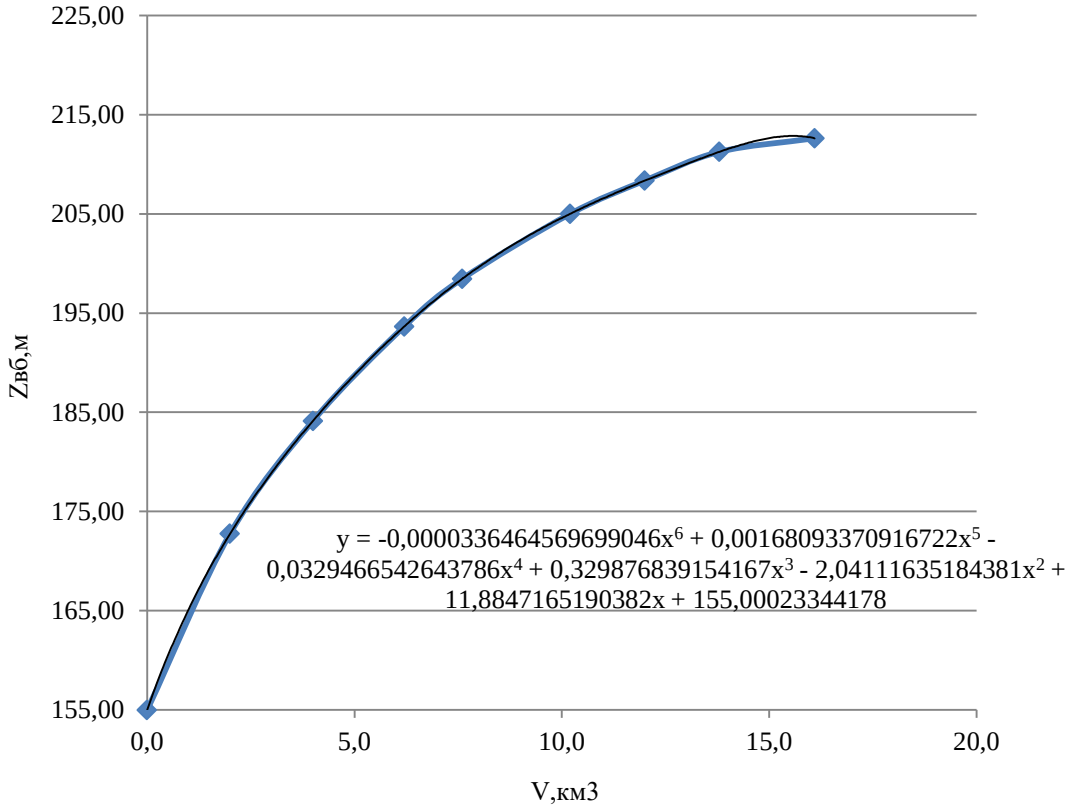


Рисунок 2.2 – Зависимость уровня верхнего бьефа от объема водохранилища

Кривые связи НБ

Таблица 2.6 – Характеристика нижнего бьефа

$Q_{(лето)}$,м^3/с	$Z_{нб}$,м	$Z_{расч\ (лето)}$,м	$\Delta Z_{(лето)}$	$Q_{(зима)}$,м^3/с	$Z_{расч(зима)}$,м	$\Delta Z_{(зима)}$
0	155,0	155,00	0,00	0	155,00	0,00
1025	156,0	155,99	0,00	820	155,99	0,00
2680	157,1	157,13	0,00	2144	157,13	0,00
4217	157,9	157,91	0,00	3373,6	157,91	0,00
8435	159,6	159,58	0,00	6747,68	159,58	0,00
10368	160,3	160,26	0,00	8294,4	160,26	0,00
12652	161,0	160,99	0,00	10121,52	160,99	0,00
14582	161,6	161,55	0,00	11665,6	161,55	0,00
16868	162,2	162,16	0,00	13494,64	162,16	0,00
21086	163,4	163,35	0,00	16868,48	163,35	0,00
25303	164,4	164,37	0,01	20242,32	164,36	0,00

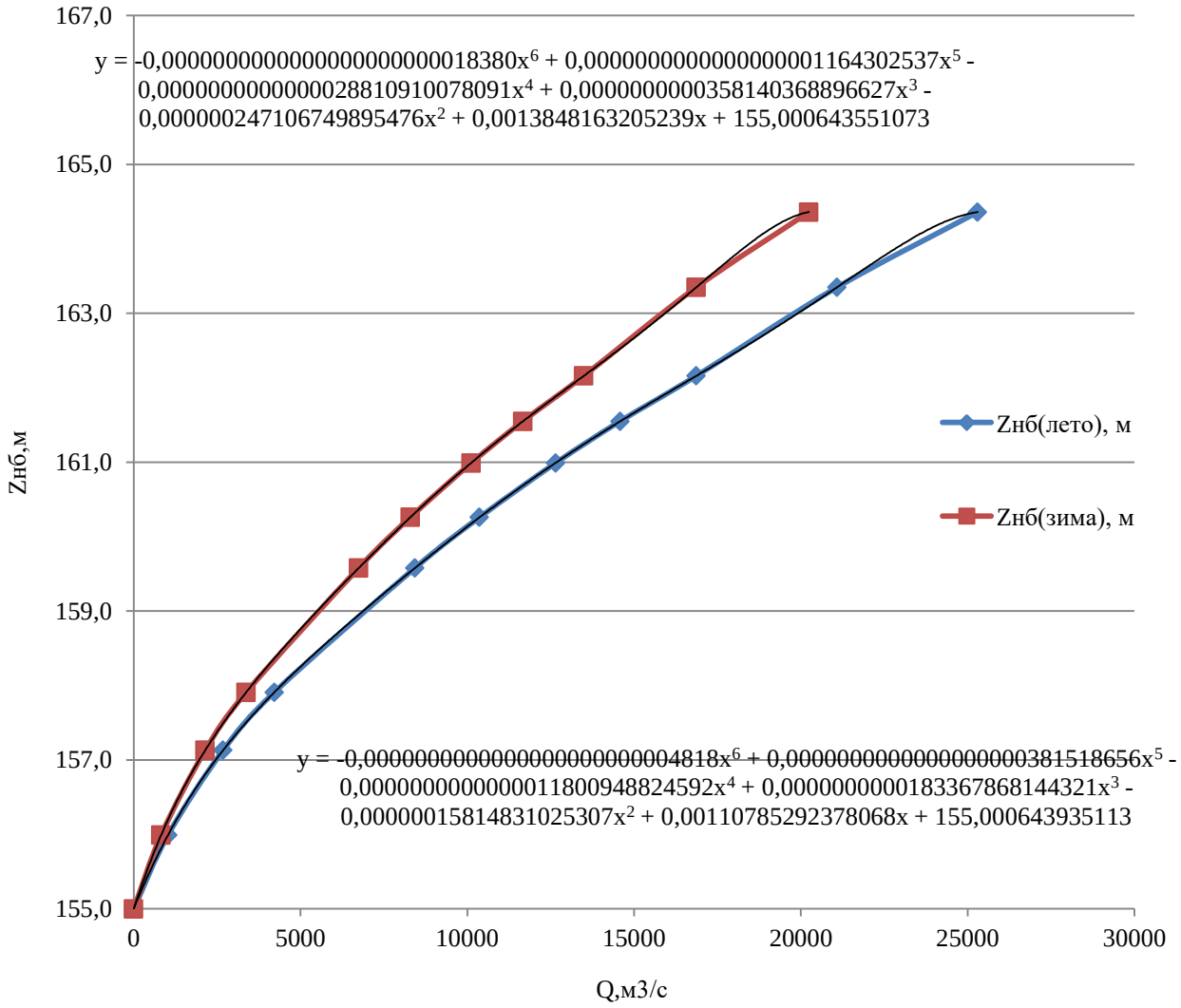


Рисунок 2.3 – Зависимость уровня нижнего бьефа от расхода

2.4 Построение графиков нагрузки энергосистемы

Энергосистема: ОДУ Урала.
Проектируемая ГЭС работает на Свердловское РДУ.

2.4.1 Построение суточных графиков нагрузки

Для энергосистемы ОДУ Урала, Свердловского РДУ характерны следующие графики нагрузки представленные на рисунке 2.4 и 2.5. Данные для построения суточных графиков нагрузки представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Суточный график и интегральная кривая нагрузки энергосистемы

Часы	Зима				Лето					Зима	Лето
	$a_t^з$	$b_{сут}^з$	$b_t^з$	$P_t^з$, МВт	$a_{лет}$	$a_t^л$	$b_{сут}^л$	$b_t^л$	$P_t^л$, МВт	$Э_S$, млн. кВт.ч	$Э_S$, млн. кВт.ч
1	1,72	0,8	-0,715	1507	0,61	2,25	0,8	-1,18	862	0	0
2	1,95		-0,93	1436		2,21		-1,19	804	0,12	0,03
3	2		-0,983	1407		2,39		-1,37	754	0,22	0,17
4	2,04		-1,08	1259		2,39		-1,37	754	0,30	0,19
5	2,04		-1,02	1395		2,39		-1,36	768	0,58	0,22
6	2		-0,978	1418		2,39		-1,36	768	0,59	0,27
7	1,76		-0,748	1505		2,12		-1,11	815	0,91	0,29
8	1,33		-0,31	1719		1,49		-0,485	983	0,95	0,29
9	0,66		0,325	1945		0,856		0,14	1147	1,02	0,40
10	0,52		0,467	2013		0,45		0,55	1266	1,28	0,40
11	0,467		0,51	2015		0,45		0,57	1293	1,45	0,40
12	0,713		0,27	1916		0,36		0,632	1280	1,55	0,55
13	0,761		0,2	1844		0,54		0,448	1224	2,10	0,64
14	0,761		0,22	1890		0,45		0,54	1252	2,28	0,73
15	0,666		0,3	1899		0,406		0,6	1286	3,42	0,92
16	0,571		0,4	1954		0,45		0,54	1252	3,54	1,86
17	0,666		0,27	1830		0,54		0,438	1210	3,89	4,48
18	0,381		0,61	2086		0,315		0,66	1268	7,49	6,54
19	0		1	2280		0,36		0,612	1252	7,53	7,39
20	0,142		0,65	1741		0,45		0,525	1231	8,83	7,60
21	0,285		0,72	2161		0,36		0,622	1266	9,20	8,33
22	0,333		0,66	2112		0,09		0,908	1363	9,44	8,33
23	0,762		0,25	1960		0		1	1391	9,69	8,63
24	1,24		-0,225	1749		0,36		0,602	1238	41,78	25,97

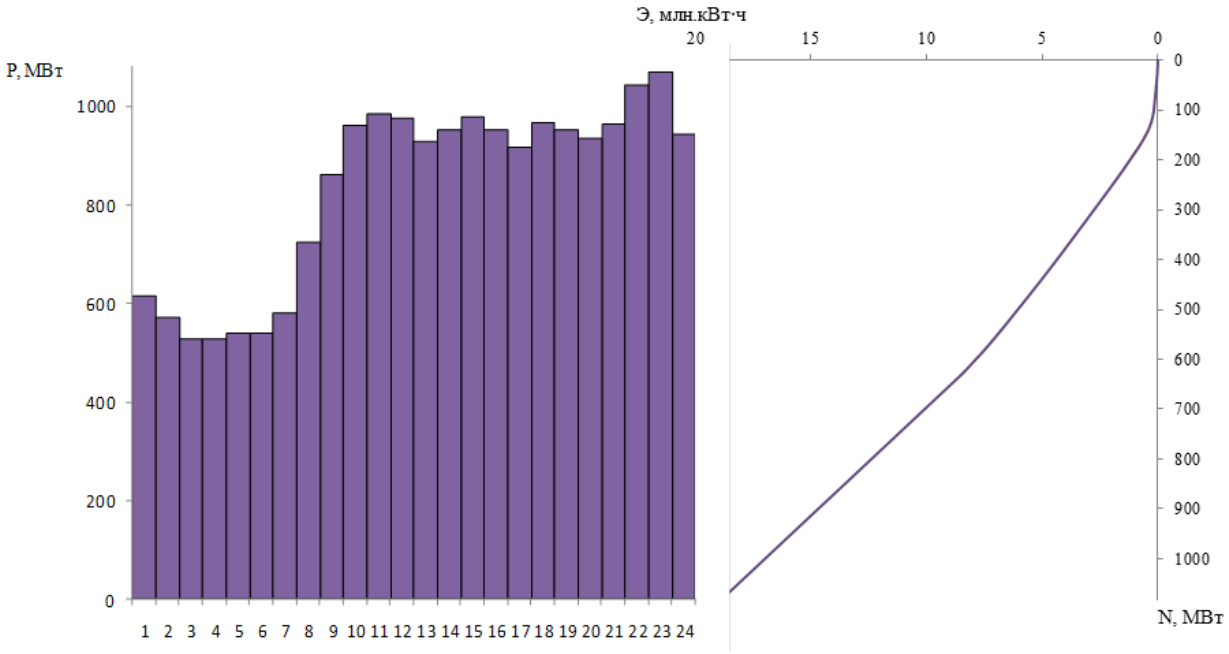


Рисунок 2.4 – Суточный график нагрузки и ИКН для летнего периода

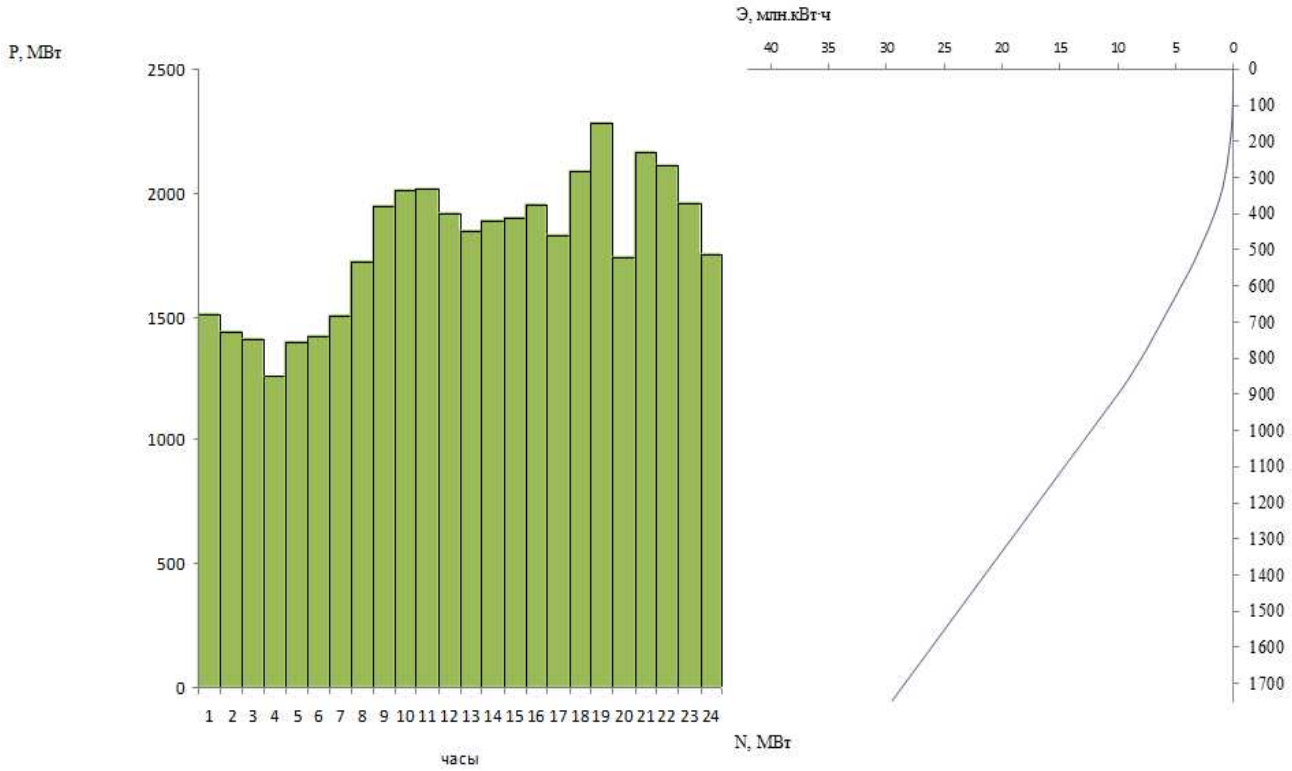


Рисунок 2.5 – Суточный график нагрузки и ИКН для зимнего периода

2.4.2 Построение годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок

Используя данные из суточного графика P(t) (табл.2.8), построим годовые графики максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы(рис.2.6,2.7).

Максимальная нагрузка энергосистемы для рабочего дня каждого месяца определяется по формуле:

$$P_t = a + b \cdot \cos(30°t - 15°), \quad (2.5)$$

где t – порядковый номер месяца в году;

a, b, – коэффициенты, которые определяются по формулам.

Таблица 2.8 – Годовой график максимальных и среднемесячных нагрузок

Месяц	P_{max}, МВт	$P_{ср}$, МВт
1	2263	1729
2	2130	1627
3	1900	1451
4	1634	1249
5	1404	1073
6	1271	971

Окончание таблицы 2.8

Месяц	P_{max}, МВт	$P_{ср}$, МВт
7	1271	971
8	1404	1073
9	1634	1249
10	1900	1451
11	2130	1627
12	2263	1729

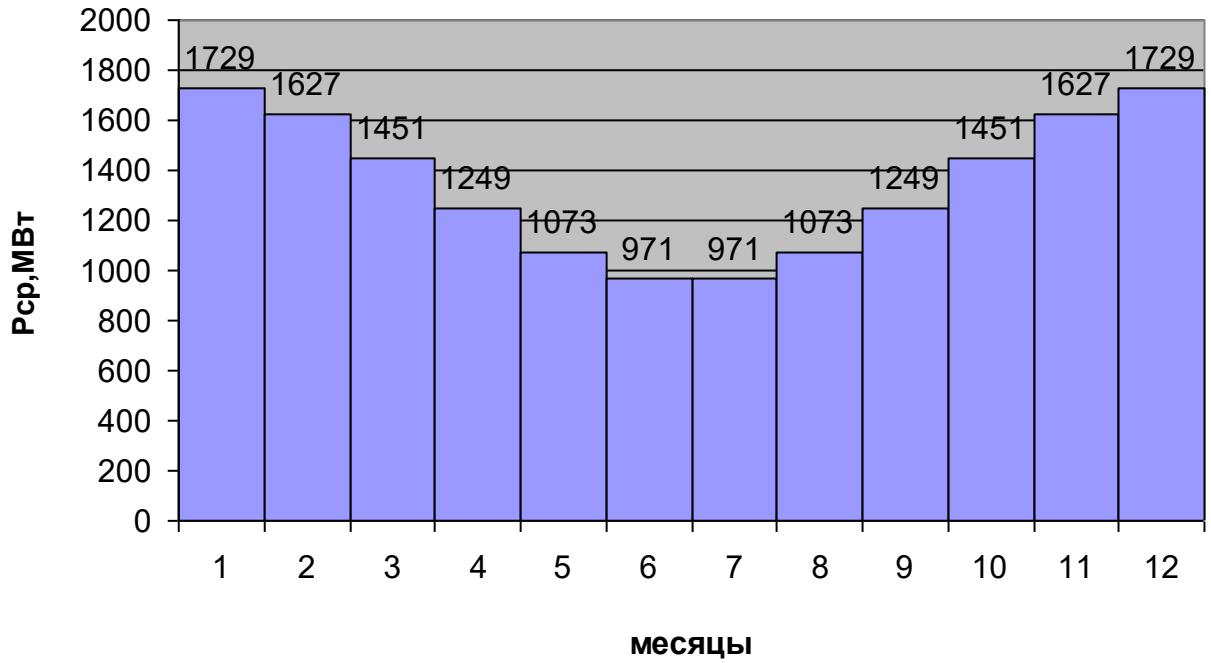


Рисунок 2.6 – График среднемесячных нагрузок энергосистемы

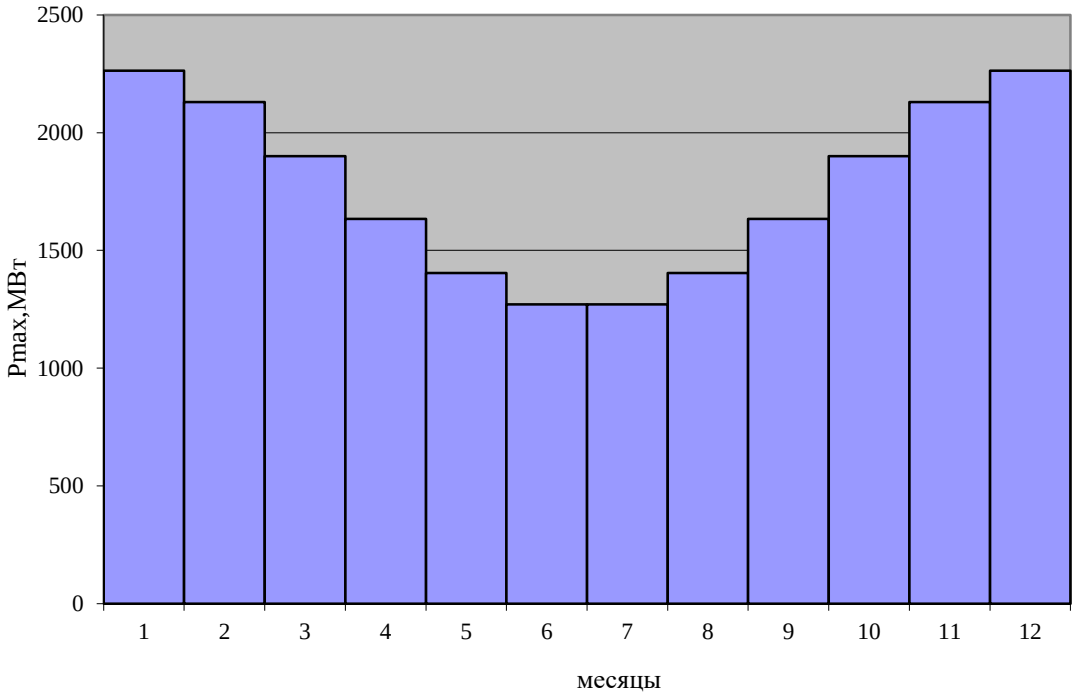


Рисунок 2.7 – График максимальных нагрузок энергосистемы

2.5 Водноэнергетический расчет

Основная задача водноэнергетического расчёта (далее - ВЭР) - по известным расчётным гидрографам маловодного и средневодного года, требованиям водохозяйственного комплекса, годовому графику среднемесячных мощностей определить: гарантированные мощности для каждого месяца, минимальный уровень сработки водохранилища (т.е. уровня мёртвого объёма (далее - УМО)), среднемноголетнюю выработку. Так же на основе ВЭР производится определение вытесняющей рабочей мощности и, как следствие, установленной мощности проектируемой станции.

2.5.1 Расчет режимов работы ГЭС без регулирования с учетом требований водохозяйственной системы

Для выбранного расчетного маловодного года вычисляем значение мощности на полезном бытовом стоке для каждого месяца года по формуле:

$$N_{ГЭС} = k_N \cdot Q_i^{пр90\%} \cdot H_{ГЭС}^{подв}, \quad (2.6)$$

где k_N – коэффициент мощности, k_N=8,5 ;

$Q_i^{пр90\%}$ - полезный бытовой расход расчетного маловодного года , м^3/с;

$H_{ГЭС}^{подв}$ - подведенный напор ГЭС, м.

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

$$N_{ВХК} = k_N \cdot Q_{ВХК} \cdot H_{ГЭС}^{подв}, \quad (2.7)$$

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

Результаты расчетов приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Расчет режимов работы ГЭС с учетом требований ВХК

Водноэнергетический расчет для маловодного года при 90%												
ВХК												
месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{быт90\%}$	37	31	41	634	606	191	144	202	120	131	93	39
$Q_{ВХК}$	70	70	70	140	140	140	140	140	140	160	140	70
$Q_{фильтр}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Q_{испарен}$						6	7					
$Q_{лед}$	4	2	1	-7	-4						1	3
сум.потерь	5	3	0	-6	-3	7	8	1	1	1	2	4
$Q_{пол.быт}$	32	28	41	640	609	184	136	201	119	130	91	35
Расчет режима работы по водотоку												
$Z_{ВБ}$, м	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205
$Z_{НБ}$, м	155	155	155	156	156	155	155	155	155	155	155	155
$H_{пол}$, м	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
$N_{водот(быт)}$	16	14	20	308	294	89	66	98	58	63	44	17
Работа по ВХК												
$Q_{вхк}$	70	70	70	140	140	140	140	140	140	160	140	70
$Z_{ВБ}$, м	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205
$Z_{НБ}$, м	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
$H_{ВХК}$	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
$N_{ВХК}$	31	31	31	62	62	62	62	62	62	71	62	31
$N_{водо}$-$N_{ВХК}$	-15	-17	-11	246	232	28	4	36	-4	-7	-18	-14

Определяем положение линии гарантированной мощности проектируемой ГЭС на годовом графике среднемесячных нагрузок.

Построим годовой график среднемесячных нагрузок с учетом всех проведенных расчетов.

Теперь стало возможным определение мощностей, с которыми проектируемая ГЭС должна работать в заданной энергосистеме. Все месяцы, лежащие выше линии гарантированной мощности и не пересекающие $N_{вхк}$

будут работать по гарантированной мощности, оставшиеся месяцы будут работать с мощностью, обеспечивающей расход ВХК.

2.5.2 Водно-энергетические расчеты режима работы ГЭС в маловодном году

Исходными данными являются:
- гидрограф маловодного года;
- потери воды из водохранилища;
- требования ВХК;
- кривые зависимости объема водохранилища от отметки верхнего бьефа;
- кривые зависимости отметки нижнего бьефа от расхода;

Расчет начинаем с момента, когда водохранилище наполнено.

Водно-энергетические расчеты режима работы ГЭС в маловодном году сведены в Приложение А.

2.5.3 Водно-энергетические расчеты режима работы ГЭС в средневодном году

Исходными данными являются:
- гидрограф средневодного года;
- потери воды из водохранилища;
- требования ВХК;
- кривые зависимости объема водохранилища от отметки верхнего бьефа;
- кривые зависимости отметки нижнего бьефа от расхода;

Расчет начинаем с момента, когда водохранилище наполнено .

Отметка уровня воды в ВБ на конец месяца определяется исходя из известного объёма воды в водохранилище по кривой связи (рис. 2.2).

Отметка уровня воды в НБ определяется по кривым связи в НБ (рис. 2.3), исходя из известного расхода в НБ.

Результаты расчётов сведены в Приложение Б. По результатам расчетов представим сработки - наполнения водохранилищ маловодного (90% обеспеченности) и средневодного (50% обеспеченности) лет на одном графике (рис. 2.8)

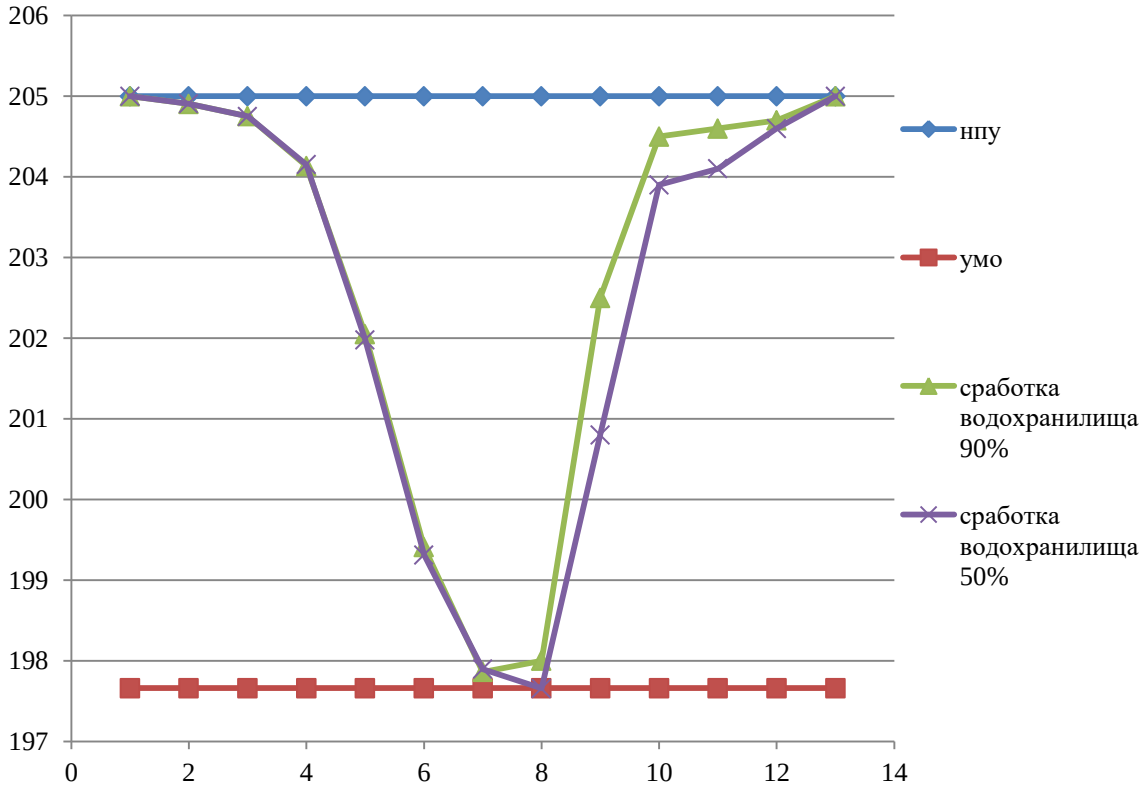


Рисунок 2.8 – Сработка - наполнение водохранилищ маловодного (90% обеспеченности) и средневодного (50% обеспеченности) лет.

2.6 Существующие ГЭС энергосистемы Урала

По известным данным (установленная мощность и выработка) были построены треугольники мощности для ГЭС. Разместили на ИКН проектируемую Заречную ГЭС (рис.2.9). Разделяя треугольник проектируемой ГЭС на два, на интегральной кривой нагрузки будет наблюдаться следующее:

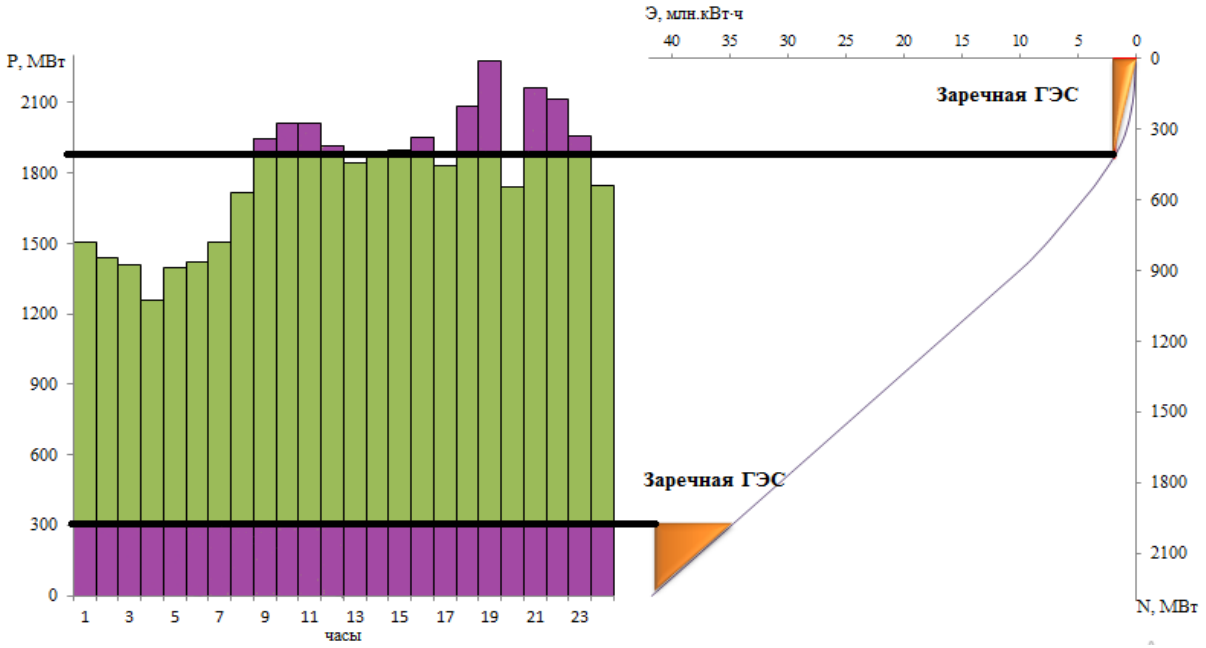


Рисунок 2.9 - Суточный график нагрузки и ИКН для зимнего периода

Подбирая катеты по длине, рабочая мощность проектируемой ГЭС получилась 700 МВт в зимний период.

Прибавив к этому значению резервную мощность (1,5 – 2 %) получаем установленную мощность проектируемой Заречной ГЭС $N_{уст}$=714 МВт.

В таблице 2.10 и на рисунке 2.10 представлен баланс мощности энергосистемы. Покрытие годового графика среднемесячных нагрузок энергосистем представлен на рисунке 2.11.

Таблица 2.10 – Баланс мощности энергосистемы в маловодном году

Месяц	ЭС			Проектируемая ГЭС			ТЭС		
	P_{tmax}	$N_н$	$N_{ав}$	$N_{раб}$	$N_н$	$N_р$	$N_{раб}$	$N_{ав}$	$N_н$
1	2263	57	170	255	6		2008	151	50
2	2130	53	160	120	3		2009	151	50
3	1900	47	142	38	1		1862	140	47
4	1634	41	123	77	2	17	1557	117	39
5	1404	35	105	81	2		1323	99	33
6	1271	32	95	83	2		1189	89	30
7	1271	32	95	83	2		1188	89	30
8	1404	35	105	83	2		1321	99	33
9	1634	41	123	83	2	15	1551	116	39
10	1900	47	142	95	2		1804	135	45
11	2130	53	160	120	3		2010	151	50

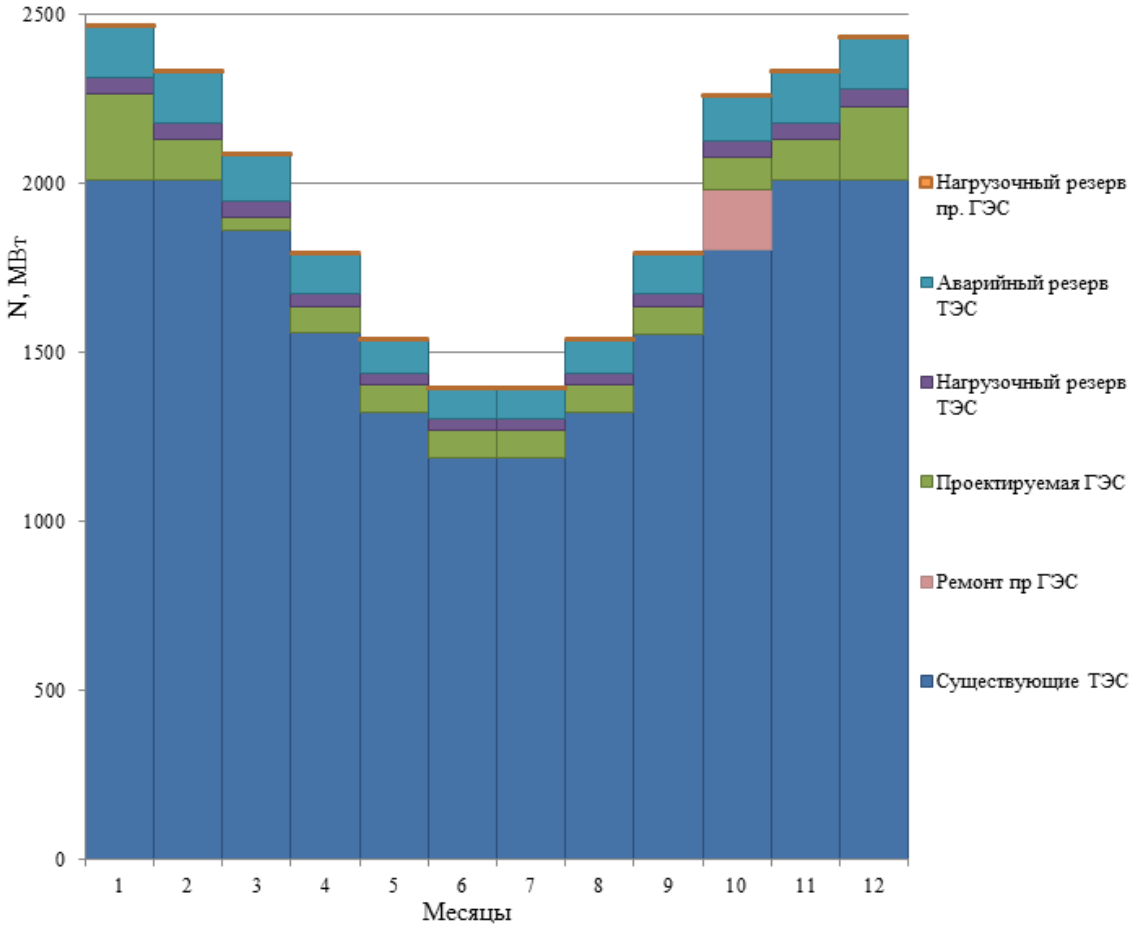


Рисунок 2.10 – Баланс мощности энергосистемы

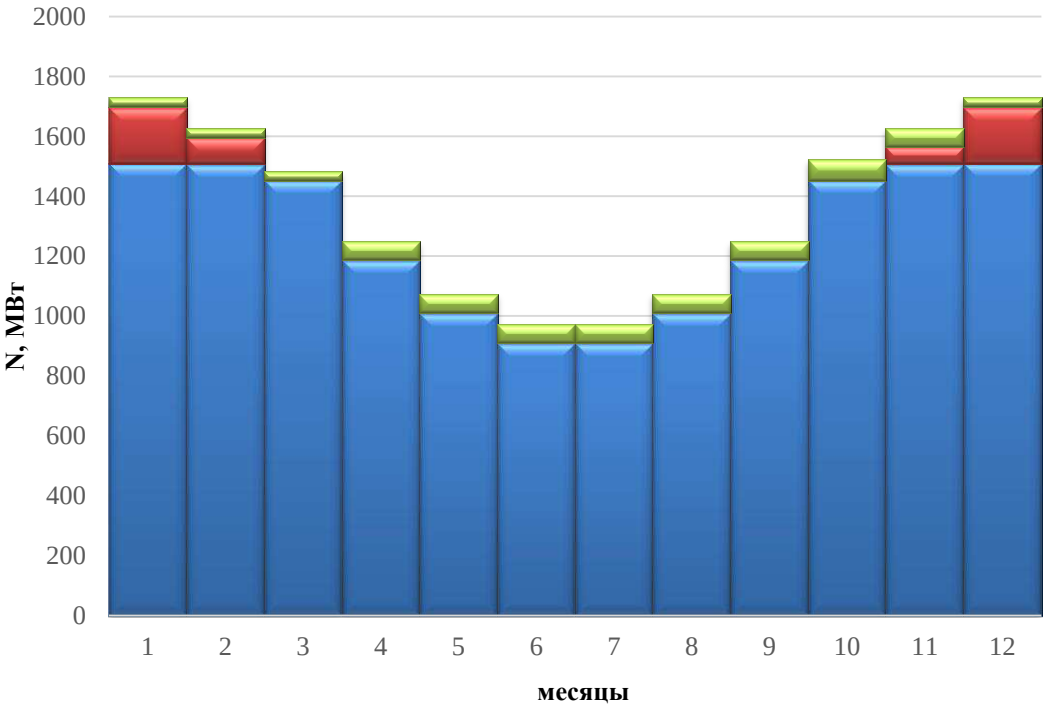


Рисунок 2.11 – Покрытие годового графика среднемесячных нагрузок энергосистем

2.7 Построение режимного поля

Режимное поле – область допустимых режимов работы проектируемой ГЭС. Верхней границей режимного поля является напорная характеристика при работе ГЭС с водохранилищем, наполненным до отметки НПУ, нижней - при работе ГЭС с водохранилищем, сработанным до отметки УМО.

Результаты расчета представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Результаты расчета режимного поля проектируемой ГЭС

Кривые связи НБ для зимы и лета		Напорные характеристики			Линии ограничения по расчету установленной мощности		Линия ограничения по пропускной способности ГЭС	
$Q_{НБ}$, м3/с	$Z_{НБ}$, м	$H_{НПУ}$, м	$H_{УМО}$, м	$H_{ZВБ}$, м	H, м	Q, м3/с	H, м	Q, м^3/с
0	155	49,5	42,16	45,15	50	526	44,5	592
1025	155,99	48,51	41,17	44,16	49,5	532	43,7	586
2680	157,13	47,37	40,03	43,02	48,9	538	42,9	581
4217	157,91	46,59	39,25	42,24	48,4	544	42,1	575
8434,6	159,58	44,92	37,58	40,57	47,8	551	41,3	570
10368	160,26	44,24	36,9	39,89	47,3	557	40,5	564
12651,9	160,99	43,51	36,17	39,16	46,7	564	39,7	559
14582	161,55	42,95	35,61	38,6	46,2	570	38,9	553
16868,3	162,16	42,34	35	37,99	45,6	577	38,1	547
21085,6	163,35	41,15	33,81	36,8	45,1	584	37,3	542
25302,9	164,36	40,14	32,8	35,79	44,5	592	36,5	536

По данным таблицы 2.11 строится режимное поле проектируемой станции (рис.2.12).

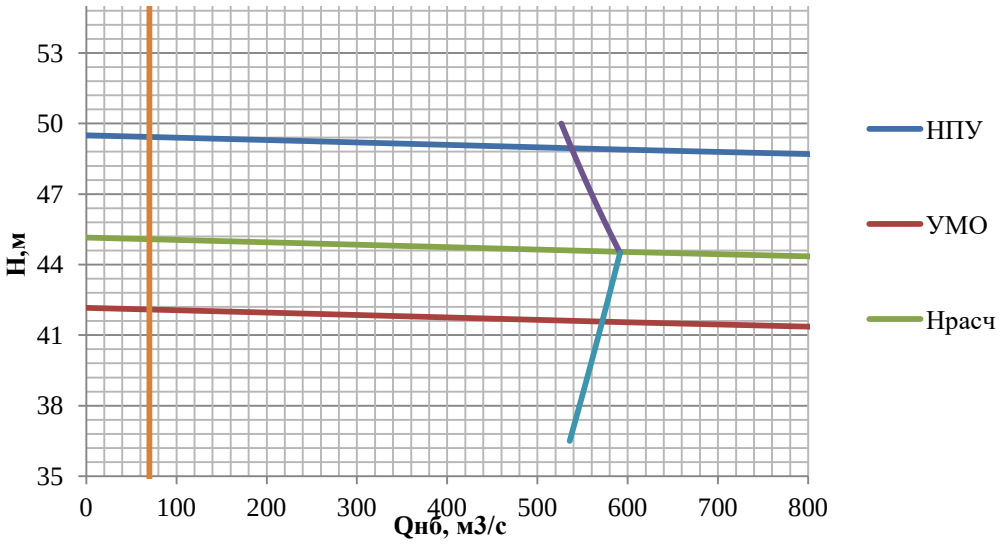


Рисунок 2.12 – Режимное поле проектируемой станции

3 Выбор числа и типа агрегатов

3.1 Построение режимного поля

Режимное поле – область допустимых режимов работы проектируемой ГЭС. Верхней границей режимного поля является напорная характеристика при работе ГЭС с водохранилищем, наполненным до отметки НПУ, нижней - при работе ГЭС с водохранилищем, сработанным до отметки УМО.

Построение этих характеристик выполняется по следующему уравнению:

$$H_{\text{ГЭС}}(Q_{\text{ГЭС}}) = \nabla\text{ВБ} - z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}) - \Delta h\,, \tag{3.1}$$

где ∇ВБ – отметка уровня воды в верхнем бьефе, для верхней границы $\nabla\text{ВБ} = \nabla\text{НПУ} = 205$ м, для линии расчётного напора $\nabla\text{ВБ} = \nabla\text{ВБ}_{\text{р}} = 198{,}5$ м, для нижней границы $\nabla\text{ВБ} = \nabla\text{УМО} = 197{,}7$ м;

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

Δh –потери напора в водоподводящих сооружениях.

Ограничением слева на режимном поле является минимальный расход воды, определяемый заданным ограничением по условиям санитарного попуска: $Q_{min} = 457{,}7\ {}^{\text{м}^3}/_{\text{с}}$.

Уравнение линии ограничения по расчетной установленной мощности имеет следующий вид:

$$Q_{\text{ГЭС}} = \frac{N_{\text{уст}}}{k_N \cdot H_{\text{ГЭС}}}\,, \tag{3.2}$$

где $N_{\text{уст}}$ – установленная мощность Заречной ГЭС из выражения;

k_N – коэффициент мощности;

$H_{\text{ГЭС}}$ – напор на ГЭС выбирается произвольно.

Уравнение линии ограничения по пропускной способности ГЭС:

$$Q_{\text{ГЭС}} = Q_{\text{ГЭС}}^{max} \cdot \sqrt{\frac{H_{\text{ГЭС}}}{H_{\text{р}}}}\,, \tag{3.3}$$

где $Q_{\text{ГЭС}}^{max}$ – максимальный расход через ГЭС. Определяется в точке пересечения линии ограничения по расчетной установленной мощности с линией расчётного напора;

$H_{\text{р}}$ – расчётный по мощности напор. Определяется в точке пересечения линии ограничения по расчетной установленной мощности с линией расчётного напора.

Результаты расчёта режимного поля представлены в таблице 3.1 и изображены на рисунке 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчёта режимного поля проектируемой станции

Кривые связи НБ для зимы и лета		Напорные характеристики			Линии ограничения по расчету установленной мощности		Линия ограничения по пропускной способности ГЭС	
$Q_{НБ}$, м^3/с	$Z_{НБ}$, м	$H_{НПУ}$, м	$H_{УМО}$, м	$H_{ZВБ1}$, м	H, м	Q, м^3/с	H, м	Q, м^3/с
0	155	50	42,16	45,15	50	526	44,5	592
1025	155,99	48,51	41,17	44,16	49,5	532	43,7	586
2680	157,13	47,37	40,03	43,02	48,9	538	42,9	581
4217	157,91	46,59	39,25	42,24	48,4	544	42,1	575
8434,6	159,58	44,92	37,58	40,57	47,8	551	41,3	570
10368	160,26	44,24	36,9	39,89	47,3	557	40,5	564
12651,9	160,99	43,51	36,17	39,16	46,7	564	39,7	559
14582	161,55	42,95	35,61	38,6	46,2	570	38,9	553
16868,3	162,16	42,34	35	37,99	45,6	577	38,1	547
21085,6	163,35	41,15	33,81	36,8	45,1	584	37,3	542
25302,9	164,36	40,14	32,8	35,79	44,5	592	36,5	536

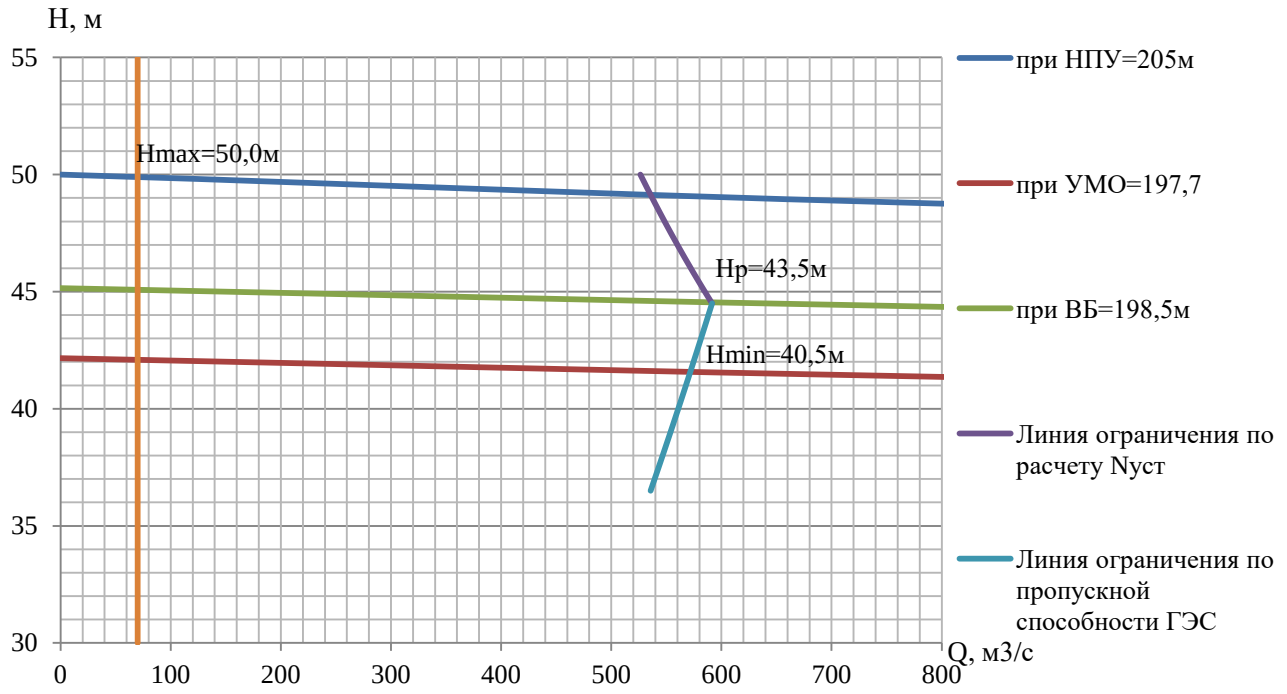


Рисунок 3.1 – Режимное поле Заречной ГЭС

Из построенного режимного поля определяем:

– максимальный напор. Определяется в точке пересечения напорной характеристики при НПУ и линии ограничения по минимальному расходу:$H_{max} = 50{,}0$ м.

– максимальный расход. Определяется в точке пересечения линии ограничения по расчетной установленной мощности с линией расчётного напора: $Q_{max} = 540\ {}^{м^3}/_{с}$;

– расчётный напор. Определяется в точке пересечения линии ограничения по расчетной установленной мощности с линией расчётного напора: $H_р = 43{,}5$ м;

– минимальный напор. Определяется в точке пересечения напорной характеристики при УМО и линии ограничения по пропускной способности ГЭС: $H_{min} = 40{,}5$ м.

3.1.1 Выбор гидротурбин по главным универсальным характеристикам

Гидротурбины выбираем, исходя из величины максимального напора на станции и отношения минимального напора к предельному напору турбины. При этом если это отношение выбранной турбины больше, значит, данный тип турбины не подходит.

В таблице 3.2 представлены характеристики модельных гидротурбин, подходящих по вышеперечисленным условиям.

Таблица 3.2 – Параметры выбранных типов модельных гидротурбин

Параметр		ПЛ50-В	ПЛД50-В
Максимальный напор гидротурбин	$H_{пред}$, м	50	50
Диапазон регулирования	H_{min}/H_{max}	0,5	0,5
Оптимальная приведенная частота вращения	$n'_{1\,opt}$, об/м	116	113
Оптимальный приведенный расход	$Q_{1\,opt}$, л/с	1000	1100
Оптимальный КПД модели	$\eta_{м\ opt}$	0,916	0,910
Приведенный максимальный расход	Q'_{1max}, л/с	1500	1650
Коэффициент кавитации	$\sigma\ (Q'_{1max})$	0,6	0,6
Приведенный диаметр рабочего колеса	$D_{1\,m}$, м	0,46	0,35

Окончание таблицы 3.2

Параметр		ПЛ50-В	ПЛД50-В
Напор модельной турбины	$H_{\text{мод}}$, м	12	5
Температура	$t_{\text{мод}}$, ℃	21	16
Коэффициент вязкости	$\nu_{\text{мод}}$	0,99	1,1

Коэффициент полезного действия натурной гидротурбины определяем по формуле:

$$\eta_{\text{Т}} = 1 - (1 - \eta_{\text{М 0}}) \cdot \left((1 - \varepsilon) + \varepsilon \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{D_{1\,\text{М}}}{D_1}\right)^2} \cdot \sqrt[10]{\frac{H_{\text{М}}}{H_{\text{р}}}} \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{\nu_{\text{Н}}}{\nu_{\text{М}}}\right)} \right), \qquad (3.4)$$

где $\eta_{\text{М 0}}$ – коэффициент полезного действия модельной гидротурбины в точке оптимума (таблица 3.2);

ε – коэффициент, выражающий отношение потерь трения ко всем гидравлическим потерям;

$D_{1\,\text{М}}$ – диаметр модельной гидротурбины (таблица 3.2);

D_1 – диаметр натурной гидротурбины, по справочным данным [1];

$H_{\text{М}}$ – напор на модельной гидротурбине (таблица 3.2);

$H_{\text{р}}$ – расчётный напор натурной гидротурбины;

$\nu_{\text{Н}}$ – кинематический коэффициент вязкости воды натурной гидротурбины;

$\nu_{\text{М}}$ – кинематический коэффициент вязкости воды модельной гидротурбины (таблица 3.2).

Для поворотно – лопастных гидротурбин коэффициент, выражающий отношение потерь трения ко всем гидравлическим потерям, $\varepsilon = 0{,}75$.

Кинематический коэффициент вязкости зависит от температуры воды при испытаниях и определяется по справочным данным [1]. Для модельных гидротурбин - таблица 3.2. Средняя температура: $t_{\text{Н}} = 21$ ℃.

По справочным данным [1] определяем кинематический коэффициент вязкости $\nu_{\text{Н}} = 1{,}06$.

Принимаем коэффициент полезного действия гидрогенератора $\eta_{\text{г ср}} = 0{,}97$.

Мощность агрегата в расчётной точке:

$$N'_{\text{а}} = 9{,}81 \cdot Q'_{I\,\text{р}} \cdot D_1^2 \cdot H_{\text{р}}^{1{,}5} \cdot \eta_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{г ср}} \,. \qquad (3.5)$$

Число агрегатов:

$$z'_{\text{а}} = \frac{N_{\text{уст}}}{N'_{\text{а}}}, \qquad (3.6)$$

где $N'_{\text{а}}$ – мощность агрегата из выражения (3.5).

Число агрегатов рекомендуется принимать кратное 2 или 3 для того, чтобы главная схема электрических соединений была симметричной.

Частота вращения турбины:

$$n = n'_{I\,\text{р}} \cdot \frac{\sqrt{H_\text{р} \cdot \Delta}}{D_1}, \tag{3.7}$$

где $n'_{I\,\text{р}}$ – приведённая частота вращения модельной гидротурбины в расчётной точке (табл. 3.2);

Δ - поправка на приведённую частоту вращения при переходе от модели к натуре, равная отношению КПД натурной турбины к КПД модели расчетной точке.

По полученной синхронной частоте вращения необходимо принять ближайшее большее стандартное значение синхронной частоты вращения по известному стандартному ряду [1].

Для выбранного максимального диаметра турбины и стандартного значения синхронной частоты вращения необходимо нанести на главную универсальную характеристику линии приведённой частоты вращения, соответствующие известным напорам турбины H_{max}, $H_\text{р}$ и H_{min}, предварительно вычислив три значения приведенной частоты вращения для указанных напоров по формуле:

$$n'_I = \frac{n_\text{с} \cdot D_1}{\sqrt{H \cdot \Delta}}, \tag{3.8}$$

где $n_\text{с}$ – стандартное значение синхронной частоты вращения;

H – напор на станции, соответствует H_{max}, $H_\text{р}$ и H_{min}.

Произведение приведённого расхода в расчётной точке на КПД:

$$Q'_I \cdot \eta_\text{Т} = \frac{N_\text{а}}{9{,}81 \cdot D_1^2 \cdot H_\text{р}^{1{,}5} \cdot \eta_{\text{г ср}}}. \tag{3.9}$$

Правая часть уравнения (3.9) является константой при всех известных его параметрах, а левая часть определяется подбором такой точки на линии $n'_{I\,\text{р}}$, чтобы произведение $Q'_I \cdot \eta_\text{Т}$ в этой точке обеспечивало выполнение указанного равенства.

Необходимо сделать перерасчёт режимного поля на координаты универсальной характеристики.

Верхняя и нижняя граница режимного поля есть горизонтальные линии, соответствующие максимальному и минимальному напору, посчитанные по формуле (3.8).

Левая граница режимного поля – линия ограничения по минимальному расходу. Приведённый расход определяем по формуле:

$$Q'_I = \frac{Q_{min}}{D_1^2 \cdot \sqrt{H \cdot \Delta}}, \quad (3.10)$$

где Q_{min} – минимальный расход через станцию.

Правая граница пересчитанного режимного поля состоит из двух линий. Верхняя линия проводится параллельно линиям открытия направляющего аппарата. Нижняя линия строятся по двум точкам, одна из которой – расчётная точка, а другая – точка, определённая по формуле (3.9), подстановкой в формулу не расчётного напора, а максимального.

Рассчитанные по формулам (3.5) - (3.9) величины для разных диаметров натурных турбин сводим в таблицы 3.3 и 3.4.

Таблица 3. 3 – Рассчитанные величины для разных диаметров турбины ПЛ50-В

ПЛ 50 – В					
D_1	6,0	7,1	7,5	8,0	8,5
$\eta_н$	0,919	0,9202	0,920	0,920809	0,919
$N'_{агр}$, кВт	137338	192494	214860	244550	276166
Z'	5,20	3,71	3,32	2,92	2,59
z_a	6	4	4	3	3
$N_{агр}$, кВт	119000	178500	178500	238000	238000
Δ_1	1,038	1,039	1,039	1,039	1,040
$n'_с$	129,89	109,82	103,98	97,49	91,77
$n_{синх}$	130,4	115,4	107,1	100	93,8
n'_{Hmin}	109	114	111	111	111
$n'_{Нрасч}$	116	122	119	119	119
n'_{Hmax}	121	126	124	123	123
$Q^*\eta_{расч}$	1,124	1,204	1,079	1,264	1,120
Q_a	1,235	1,33	1,18	1,4	1,23
n'	0,911	0,905	0,914	0,9	0,911
Q_{Hmax}	103	73	66	58	51
Q_{Hmin}	114	82	73	64	57

Таблица 3.4–Рассчитанные величины для разных диаметров турбины ПЛД50-В

ПЛД 50 – В					
D_1	7,1	7,5	8,0	8,5	9
$\eta_н$	0,915031	0,915	0,916	0,916	0,916214
$N'_{агр}$, кВт	214080	238953,2	271971,6	307131,5	344433,5
Z'	3,34	2,99	2,63	2,32	2,07
z_a	4	3	3	3	3
$N_{агр}$, кВт	178500	238000	238000	238000	238000

Окончание таблицы 3.4

ПЛД 50 – В					
Δ_1	1,062	1,062	1,062	1,063	1,063
n'_c	108,2	102,4	96,0	90,4	85,4
$n_{синх}$	115,4	107,1	100	93,8	88,2
n'_{Hmin}	112	110	110	109	109
$n'_{Нрасч}$	121	118	118	117	117
n'_{Hmax}	125	122	122	122	121
$Q*П_{расч}$	1,204	1,438	1,264	1,120	0,999
Q_a	1,34	1,66	1,42	1,24	1,1
n'	0,9	0,865	0,891	0,903	0,908
Q_{Hmax}	218	195	172	152	135
Q_{Hmin}	242	217	191	169	151

Произведения $Q'_I \cdot \eta_T$, в таблицах 3.3 и 3.4 представлены в о. е. $\cdot {}^{л}/_{с}$ для удобства определения их на универсальных характеристиках.

Выбор подходящего типа гидротурбин производим исходя из следующих положений:

– число агрегатов должно быть кратно 2 или 3, что упрощает главную схему электрических соединений;

– необходимо стремиться к выбору минимального числа агрегатов при возможно большей мощности каждого из них;

– число агрегатов, устанавливаемых на ГЭС, не должно быть меньше двух;

– исключаем типы турбины, в которых точка оптимума не входит в рабочую зону.

Из анализа таблиц 3.3 и 3.4 было отдано предпочтение гидротурбине ПЛ 50-В, так как для всех диаметров гидротурбины ПЛД 50-В кпд меньше, чем у ПЛ 50-В. В таблице 3.3 представлены подходящие диаметры рабочих колес гидротурбины ПЛ 50-В по количеству агрегатов ($D_1 = 6{,}0$ м; $D_1 = 7{,}1$м; $D_1 = 7{,}5$м; $D_1 = 8{,}0$м; $D_1 = 8{,}5$м). Турбины $D_1 = 6{,}0$ м; $D_1 = 7{,}1$ м; $D_1 = 8{,}0$ м; $D_1 = 8{,}5$ м не берем в расчет, так как у $D_1 = 7{,}5$м самый максимальный КПД среди перечисленных.

В результате анализа таблицы 3.3 была принята гидротурбина со следующими параметрами: $D_1 = 7{,}5$ м ; $D_0 = 1{,}25 \cdot D_1 = 1{,}25 \cdot 7{,}5 = 9{,}375$ м ; $z_0 = 24$.

Главная универсальная характеристика турбины ПЛ50-В с построенной рабочей зоной представлена в ПРИЛОЖЕНИИ В

3.1.2 Определение отметки установки рабочего колеса гидротурбины

Определение заглубления рабочего колеса гидротурбины производится с целью обеспечения ее бескавитационной работы.

Расчетное значение высоты отсасывания определяется наиболее неблагоприятным с точки зрения кавитации режимом работы гидротурбинного оборудования. Полное представление о таких режимах дает кавитационная характеристика, которая представляет собой совмещение кривой связи нижнего бьефа и характеристики $H_S(Q_{\text{НБ}})$ при различном числе работающих агрегатов ГЭС. Для поворотно-лопастных гидротурбин $Z_{\text{Х.ПЛ.}} = 0$. Дополнительное заглубление рабочего колеса: $H_s = 1{,}5$.

Высота отсасывания:

$$H_S = B - \frac{Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}})}{900} - \sigma \cdot H - \Delta H_s + Z_{\text{Х.ПЛ.}}\,, \tag{3.11}$$

где $B = 10{,}3$ м – барометрическое давление;

$Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}})$ – отметка НБ в зависимости от расхода в НБ;

H_s – дополнительное заглубление рабочего колеса, учитывающее неточности определения σ при модельных испытаниях, масштабный эффект и антикавитационный запас;

σ – коэффициент кавитации, определяемый по главной универсальной характеристике для расчётных условий;

H – напор на турбине, определяемый уровнем верхнего бьефа и $Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}})$;

$Z_{\text{Х.ПЛ.}}$ – разность высотных отметок двух характерных плоскостей модельной и натурной турбин.

Пересчитаем точку пересечения напорной характеристики при НПУ и линии ограничения по пропускной способности в координаты главной универсальной характеристики, используя формулу (3.8):

$$n'_I = \frac{130{,}4 \cdot 7{,}5}{\sqrt{50{,}0 \cdot 1{,}038}} = 109 \text{ мин}^{-1}. \tag{3.12}$$

На главной универсальной характеристике (рисунок 3.2) находим точку пересечения горизонтальной прямой, посчитанной частоты, и линии ограничения по генератору. В этой точке (точка 1) определяем: $\sigma = 0{,}20$; $Q' = 0{,}88$ м^3/с;

$$Q = Q' \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{\Delta_1 \cdot H} = 0{,}88 \cdot 7{,}5^2 \cdot \sqrt{1{,}038 \cdot 50} = 354{,}8 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}\,. \tag{3.13}$$

По кривой связи НБ: $Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}) = 155{,}5$ м. Пользуясь формулой (3.9) определяем высоту отсасывания:

$$H_S = 10{,}3 - \frac{155{,}5}{900} - 0{,}20 \cdot 50 - 1{,}5 = -1{,}4 \text{ м}. \tag{3.15}$$

Определяем отметку расположения рабочего колеса:

$$\nabla\text{РК} = Z_{\text{НБ}} + H_S = 155{,}5 - 1{,}4 = 154{,}1 \text{ м}. \tag{3.16}$$

Пересчитаем точку в координаты главной универсальной характеристики, используя формулу (3.8):

$$n'_I = \frac{130{,}4 \cdot 7{,}5}{\sqrt{43{,}5 \cdot 1{,}038}} = 116 \text{ мин}^{-1}. \quad (3.17)$$

На главной универсальной характеристике (рисунок 3.2) находим точку пересечения горизонтальной прямой, посчитанной частоты, и линии ограничения по генератору. В этой точке определяем: $\sigma = 0{,}34$; $Q' = 1{,}18$ м^3/с;

$$Q = Q' \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{\Delta_1 \cdot H} = 1{,}18 \cdot 7{,}5^2 \cdot \sqrt{1{,}038 \cdot 43{,}5} = 446{,}2 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (3.18)$$

По кривой связи НБ: $Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}) = 155{,}5$ м.
Пользуясь формулой (3.9) определяем высоту отсасывания:

$$H_S = 10{,}3 - \frac{10{,}3}{900} - 0{,}34 \cdot 43{,}5 - 1{,}5 = -6{,}2 \text{ м}. \quad (3.19)$$

Определяем отметку расположения рабочего колеса:

$$\nabla\text{РК} = Z_{\text{НБ}} + H_S = 155{,}5 - 6{,}2 = 149{,}3 \text{ м}. \quad (3.20)$$

Пересчитаем эту точку в координаты главной универсальной характеристики:

$$n'_I = \frac{130{,}4 \cdot 7{,}5}{\sqrt{40{,}5 \cdot 1{,}038}} = 121 \text{ мин}^{-1}. \quad (3.21)$$

На главной универсальной характеристике (рис.3.2) находим точку пересечения горизонтальной прямой, посчитанной частоты, и линии ограничения по генератору. В этой точке определяем: $\sigma = 0{,}31$; $Q' = 1{,}12$ м^3/с;

$$Q = Q' \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{\Delta_1 \cdot H} = 1{,}12 \cdot 7{,}5^2 \cdot \sqrt{1{,}038 \cdot 40{,}5} = 474{,}3 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.22)$$

По кривой связи НБ: $Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}) = 155{,}6$ м. Пользуясь формулой определяем высоту отсасывания:

$$H_S = 10{,}3 - \frac{155{,}6}{900} - 0{,}31 \cdot 40{,}5 - 1{,}5 = -3{,}9 \text{ м}. \quad (3.24)$$

Определяем отметку расположения рабочего колеса:

$$\nabla\text{РК} = Z_{\text{НБ}} + H_S = 155{,}6 - 3{,}9 = 151{,}7 \text{ м}. \quad (3.25)$$

Из условия обеспечения бескавитационной работы высоту отсасывания выбирают такой, чтобы обеспечить бескавитационную работу во всех режимах: $H_S = -6{,}2$ м .

Отметка рабочего колеса при такой высоте отсасывания равна: $\nabla РК = 149{,}3$ м.

3.2 Гидротурбина и её проточная часть

3.2.1 Гидравлический расчет и построение плана бетонной спиральной камеры

В основу гидромеханического расчёта спиральной камеры заложены три условия, которым должен подчиняться поток протекающей в ней жидкости:

1. Равномерное распределение расхода по окружности направляющего аппарата. Это условие обеспечивается, если в любом радиальном сечении будут одинаковы радиальные составляющие скорости υ_r.
2. Одинаковая закрутка потока (постоянство момента скорости) перед направляющим аппаратом, т.е. $\upsilon_u r$ = const, где υ_u – окружная составляющая скорости в любой точке потока; r – радиус расположения точки.
3. Размеры радиальных сечений спиральной камеры должны быть такими, чтобы средние скорости потока в них не превосходили предельных значений, определяемых уровнем допустимых потерь.

По чертежу проточной части модельной гидротурбины определяем основные геометрические размеры гидротурбины.

Диаметр спиральной камеры на входе:

$$D_{\text{с.к.вх}} = 1{,}739 \cdot D_1 = 1{,}739 \cdot 7{,}5 = 13{,}04 \text{ м} . \quad (3.26)$$

Угол охвата спиральной камеры: $\varphi_{\text{с.к}} = 225°$.

Ширина спиральной камеры:

$$B_{\text{сп}} = 2{,}928 \cdot D_1 = 2{,}928 \cdot 7{,}5 = 21{,}96 \text{ м} . \quad (3.27)$$

Полный расход через турбину при расчётных значениях напора и мощности:

$$Q_0 = \frac{N}{9{,}81 \cdot \eta \cdot H_{\text{р}}} = \frac{178500}{9{,}81 \cdot 0{,}914 \cdot 43{,}5} = 457{,}7 \text{ м}^3/\text{с} . \quad (3.28)$$

Расход через входное сечение спиральной камеры:

$$Q_{\text{вх}} = \frac{Q_0 \cdot 225}{360} = \frac{457{,}7 \cdot 180}{360} = 228{,}8 \text{ м}^3/\text{с} . \quad (3.29)$$

Средняя скорость во входного сечения равна $V_{\text{ср}} = 5{,}5$ м/с, при этом скоростной коэффициент:

$$k_{\text{с}} = \frac{V_{\text{ср}}}{\sqrt{H_{\text{р}}}} = \frac{5{,}5}{\sqrt{43{,}5}} = 0{,}83\ . \tag{3.30}$$

Площадь входного сечения спиральной камеры:

$$F_{\text{вх}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{V_{\text{ср}}} = \frac{228{,}8}{5{,}5} = 41{,}6\ \text{м}^2\ . \tag{3.31}$$

Радиус входного сечения принимаем из ГУХ: $r_{\text{вх}} = 9{,}375$ м. Размеры статора: $r_a = 5{,}65$ м ; $r_b = 4{,}925$ м ; $D_0 = 9{,}375$ м ; $\gamma = 15°$;

$$a_{\text{вх}} = r_{\text{вх}} - r_a = 9{,}375 - 5{,}65 = 3{,}725\ \text{м}. \tag{3.32}$$

Высота направляющего аппарата по эскизу ГУХ:

$$b_0 = 0{,}35 \cdot D_1 = 0{,}35 \cdot 7{,}5 = 2{,}625\ \text{м}\ . \tag{3.33}$$

Высота входного сечения: $b_{\text{вх}} = 15$ м .

Дальнейший расчет спиральной камеры выполнен аналитическим методом. Весь результат расчёта сводится в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Расчёт спиральной камеры

Величина	Сечения									
	Вх	1	2	3	4	5	6	7	8	Вых
r_i	9,38	8,88	8,39	7,89	7,40	6,90	6,41	5,91	5,42	4,93
b_i	15,0	13,63	12,25	10,88	9,50	8,13	6,75	5,38	4,00	2,625
r_k	3,1	3,03	2,97	2,90	2,84	2,77	2,70	2,64	2,57	2,51
r_k/r_a	1,24	1,21	1,19	1,16	1,13	1,11	1,08	1,06	1,03	1,00
$\ln (r_k/r_a)$	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,10	0,08	0,05	0,03	0,00
r_i/r_a	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
$\ln (r_i/r_a)$	0,51	0,45	0,39	0,33	0,27	0,20	0,13	0,05	-,04	-0,14
$b_i*\ln (r_i/r_a)$	5,01	4,11	3,27	2,50	1,80	1,17	0,64	0,19	-0,14	-0,36
$r_k*ctg\gamma$	11,56	11,32	11,07	10,82	10,58	10,33	10,09	9,84	9,59	9,35
$r_k*ctg\gamma*\ln(r_k/r_a)$	2,49	2,19	1,90	1,61	1,33	1,06	0,79	0,53	0,27	0,02
m_i	2,31	2,06	1,80	1,55	1,30	1,05	0,79	0,54	0,29	0,0
J_i	4,98	4,12	3,32	2,58	1,90	1,30	0,82	0,49	0,11	0,1
φ_i	462	382	308	239	177	121	72	32	1	0,0
Q_i	93,71	77,55	62,45	48,50	35,80	24,48	15,44	9,23	2,07	1,88
F_i	31,69	25,67	20,27	15,51	11,36	7,84	4,94	2,67	1,02	0,00
$V_{ср}$	5,5									

$$a_i = r_i - r_a. \tag{3.34}$$

$$m_i = k_2 \cdot a_i. \quad (3.35)$$

$$k_2 = \frac{m_{вх}}{a_{вх}}. \quad (3.36)$$

$$b_i = m_i + b_0\ . \quad (3.37)$$

$$r_k = r_a + m_i \cdot tg15°. \quad (3.38)$$

Значения интеграла для любого сечения вычислены по формуле:

$$J_i = b_0 \cdot \ln\frac{r_a}{r_b} + b_i . \ln\frac{r_i}{r_a} - r_k \cdot ctg\gamma \cdot \ln\frac{r_k}{r_a} + m_i\ . \quad (3.39)$$

Величина угла спирали для любого сечения:

$$\varphi_i = \frac{180}{J_{вх}} \cdot J_i\ . \quad (3.40)$$

Величина расхода для любого сечения спирали:

$$Q_i = \frac{Q_{вх}}{J_{вх}} \cdot J_i. \quad (3.41)$$

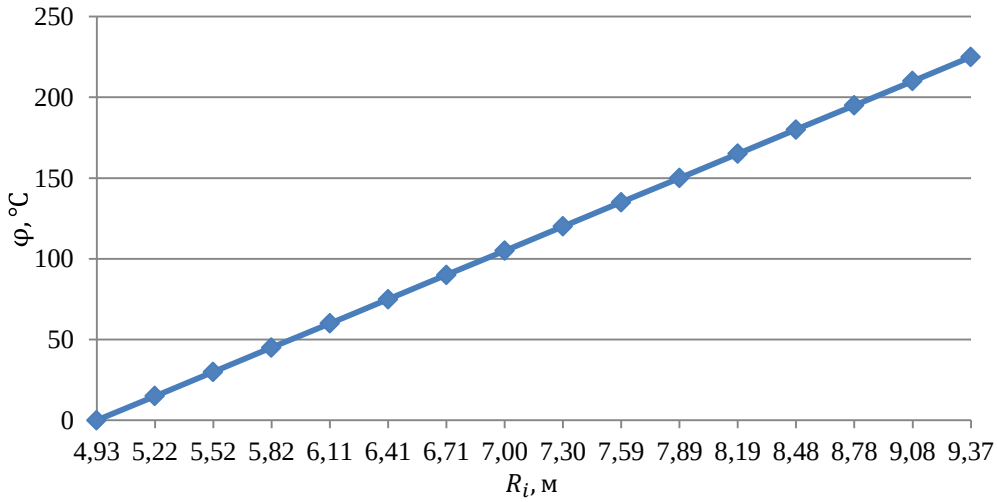


Рисунок 3.2 – График зависимости $\varphi_{сп} = f(R_i)$

Разобьем угол охвата спиральной камеры на интервалы с $\Delta\varphi_{сп}=15^0$ (табл.3.6) и построим план спиральной камеры (рис.3.3).Так же на рисунке 3.2 представлена зависимость угла охвата спиральной камеры от ее радиуса.

Таблица 3.6 – Зависимость $\varphi_{сп} = f(R_i)$

φ	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225
r,м	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,59	7,89	8,19	8,48	8,78	9,08	9,37

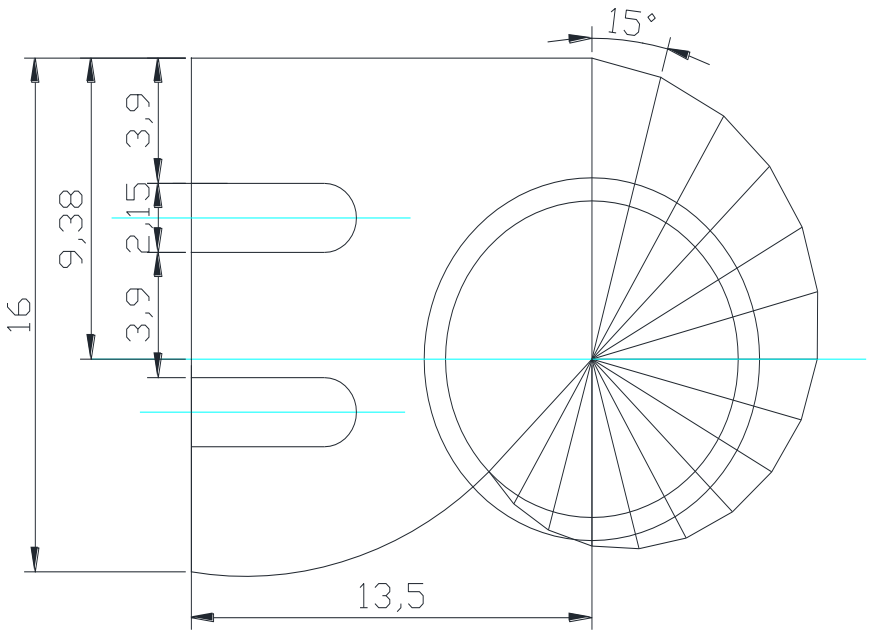


Рисунок 3.3 – План спиральной камеры

3.2.2 Расчет отсасывающей трубы

Основные размеры отсасывающей трубы пересчитаны по отношению диаметров модели и натуры.

Для проектируемой турбины используем отсасывающую трубу геометрически подобную модельной турбине (рис. 3.4).

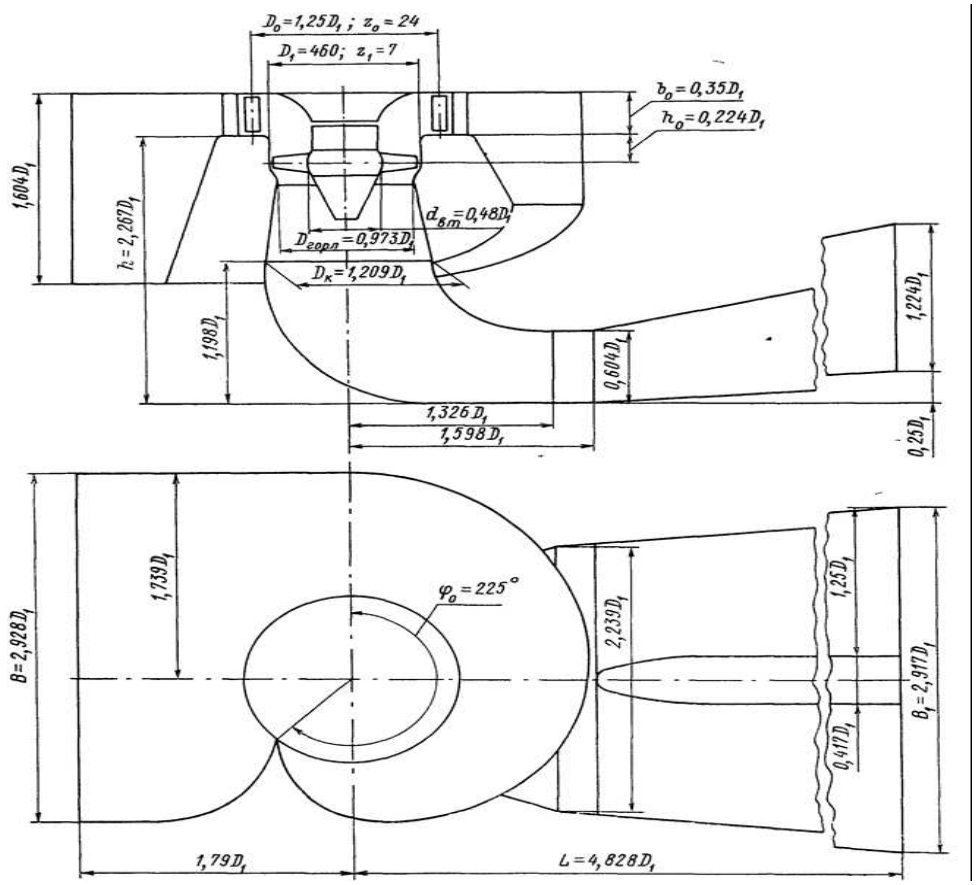


Рисунок 3.4 – Проточная часть модели гидротурбины ПЛ50-В

Размеры входного конического раструба отсасывающей трубы:

$$D_{\text{горл}} = 0{,}973 \cdot D_1 = 0{,}973 \cdot 7{,}5 = 7{,}29 \text{ м} ; \quad (3.42)$$

$$D_{\text{к}} = 1{,}209 \cdot D_1 = 1{,}209 \cdot 7{,}5 = 9{,}07 \text{ м} ; \quad (3.43)$$

$$h = 2{,}267 \cdot D_1 = 2{,}267 \cdot 7{,}5 = 17{,}0 \text{ м} ; \quad (3.44)$$

$$h_1 = (17{,}0 - 9{,}07) - 0{,}224 \cdot D_1 = 7{,}93 - 0{,}224 \cdot 7{,}5 = 6{,}25 \text{ м} . \quad (3.45)$$

Размеры колена отсасывающей трубы:

$$h_2 = 1{,}198 \cdot D_1 = 1{,}198 \cdot 7{,}5 = 8{,}985 \text{ м} ; \quad (3.46)$$

$$h_3 = 0{,}604 \cdot D_1 = 0{,}604 \cdot 7{,}5 = 4{,}53 \text{ м} ; \quad (3.47)$$

$$L_1 = h_2 + 1{,}598 \cdot D_1 = 8{,}985 + 1{,}598 \cdot 7{,}5 = 20{,}97 \text{ м} ; \quad (3.48)$$

$$B = 2{,}928 \cdot D_1 = 2{,}928 \cdot 7{,}5 = 21{,}96 \text{ м} . \quad (3.49)$$

Размеры выходного диффузора:

$$h_4 = 1{,}224 \cdot D_1 = 1{,}224 \cdot 7{,}5 = 9{,}18 \text{ м};$$ (3.50)

$$L_2 = 4{,}828 \cdot h_2 - 1{,}326 \cdot D_1 = 4{,}828 \cdot 8{,}985 - 1{,}326 \cdot 7{,}5 = \\ = 33{,}43 \text{ м}$$ (3.51)

$$B_1 = 2{,}917 \cdot D_1 = 2{,}917 \cdot 7{,}5 = 21{,}88 \text{ м}.$$ (3.52)

Площадь входного сечения входного конического раструба (1-1):

$$F_{1-1} = \frac{(\pi \cdot D_{\text{горл}}^2)}{4} = \frac{(3{,}14 \cdot 7{,}29^2)}{4} = 41{,}7 \text{ м}^2.$$ (3.53)

Площадь выходного сечения входного конического раструба (2-2):

$$F_{2-2} = \frac{(\pi \cdot D_k^2)}{4} = \frac{(3{,}14 \cdot 9{,}07^2)}{4} = 64{,}6 \text{ м}^2.$$ (3.54)

Выходное сечение колена прямоугольной формы (3-3):

$$F_{3-3} = h_3 \cdot B = 4{,}53 \cdot 21{,}96 = 99{,}5 \text{ м}^2.$$ (3.55)

Выходное сечение диффузора (4-4):

$$F_{4-4} = h_4 \cdot (B_1) = 9{,}18 \cdot 21{,}88 = 200{,}9 \text{ м}^2.$$ (3.56)

Расход для оптимального режима при H_p:

$$Q_{\text{опт}} = \frac{N}{9{,}81 \cdot H_p \cdot \eta_{\text{н}\, opt}} = \frac{178500}{9{,}81 \cdot 43{,}5 \cdot 0{,}914} = 457{,}7 \text{ м}^3/\text{с}.$$ (3.57)

Максимальный расход при H_p:

$$Q_{max} = \frac{N}{9{,}81 \cdot H_p \cdot \eta_{\text{н р.т.}}} = \frac{178500}{9{,}81 \cdot 43{,}5 \cdot 0{,}916} = 456{,}7 \text{ м}^3/\text{с},$$ (3.58)

где N – мощность;

$\eta_{\text{н}\, opt}$ - оптимальный КПД;

$\eta_{\text{н р.т.}}$ - КПД в рабочей точке.

Средние меридианные скорости и средние удельные кинетические энергии потока в сечениях для оптимального режима при $H_\text{р}$ и режима максимального расхода при $H_\text{р}$ определяем по следующим формулам:

$$V_{i-i} = \frac{Q_\text{к}}{F_{i-i}};$$ (3.59)

$$E_{i-i} = \frac{100 \cdot V_{i-i}{}^2}{2 \cdot g \cdot H_\text{р}}. \quad (3.60)$$

Длины средних линий до каждого сечения ориентировочно оцениваем по рисунку 3.5:

$$l_0 = 0 \text{ м}; \quad (3.61)$$

$$l_1 = l_0 + h_1 = 0 + 6{,}3 = 6{,}3 \text{ м}; \quad (3.62)$$

$$l_2 = l_1 + L_1 = 6{,}3 + 20{,}97 = 27{,}27 \text{ м}; \quad (3.63)$$

$$l_3 = l_2 + L_2 = 27{,}27 + 33{,}43 = 60{,}7 \text{ м}. \quad (3.64)$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты расчётов отсасывающей трубы

Сечение	F_{i-i}, м^2	$V_{i-i,опт}$, м/с	$V_{i-i,max}$, м/с	$E_{i-i,опт}$, кДж	$E_{i-i,max}$, кДж	l_i, м
1-1	41,7	10,9	10,9	14,0	14,0	0
2-2	64,6	7,1	7,1	5,9	5,9	6,3
3-3	99,5	4,6	4,6	2,5	2,5	27,27
4-4	200,9	2,3	2,3	0,6	0,6	60,7

По данным таблицы 3.7 строим графики распределения средней меридианной скорости и средней удельной кинетической энергии по длине отсасывающей трубы турбины, представленные на рисунках 3.5 и 3.6.

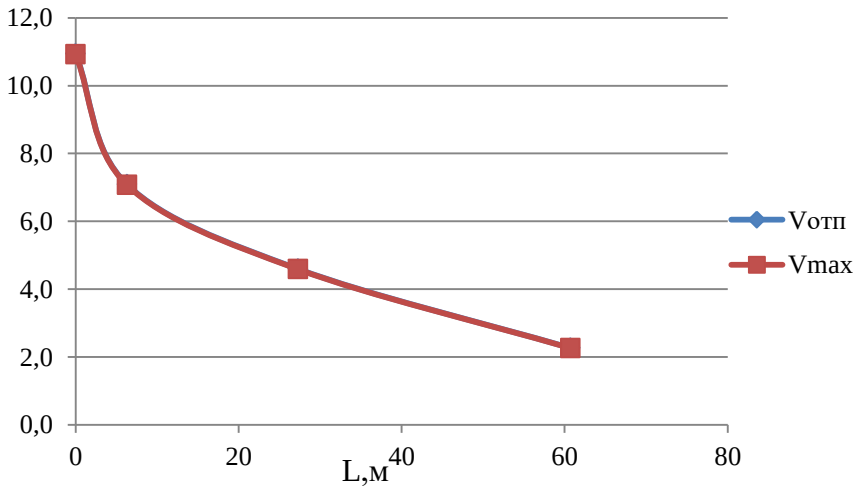


Рисунок 3.5– График изменения средней меридианной скорости потока по отсасывающей трубе ПЛ50-В-750

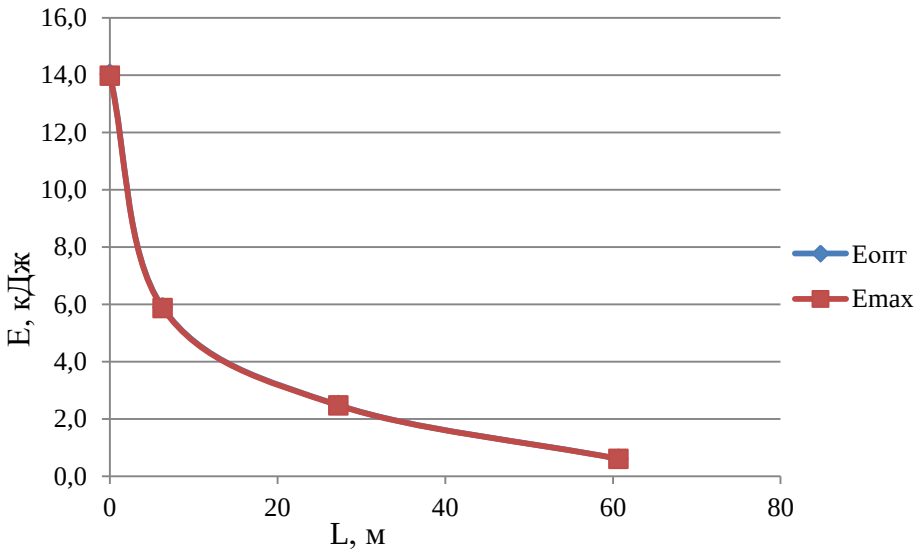


Рисунок 3.6 – График изменения средней удельной кинетической энергии потока по отсасывающей трубе ПЛ50-В-750

3.3 Гидрогенератор

3.3.1 Определение параметров и размеров гидрогенератора

Принимаем гидрогенератор СВ 1332/179 – 56 УХЛ4.

3.3.2 Определение геометрических размеров машинного зала

Диаметр шахты гидроагрегата: $D_{ш} = 12{,}3$ м.
По рекомендациям [4] ширина здания ГЭС:

$$B'_{ГЭС} = D_{ш} + 7 = 12{,}3 + 7 = 19{,}7 \text{ м}, \quad (3.65)$$

где $D_{ш} = D_{ст}$ – диаметр шахты гидроагрегата.
Для приплотинных зданий ГЭС ширина блока:

$$B_{бл} = B_{сп} + 2 \cdot B_{сл} = 21{,}96 + 2 \cdot 1{,}83 = 25{,}6 \text{ м}, \quad (3.66)$$

где $B_{сп}$ – ширина спиральной камеры;
$B_{сл}$ – ширина слоя бетона между соседними агрегатами.
Ширина монтажной площадки:

$$L_{мп} = B_{бл} = 25{,}6 \text{ м}. \quad (3.67)$$

Длинна машинного зала:

$$L_{мз} = n \cdot B_{бл} + L_{мп} = 4 \cdot 25{,}6 + 25{,}6 = 128 \text{ м}. \quad (3.68)$$

Высота машинного зала определяется из условия проноса краном самой габаритной части ГА.

Высота машинного зала: $H'_{\text{мз}} = 16{,}0$ м.

3.4 Подъёмно – транспортное оборудование

В машинном зале для монтажа и демонтажа основного гидросилового оборудования принимаем к установке один мостовых крана г/п 350/50 т. В качестве подъёмного механизма для плоских затворов отсасывающей трубы принимаем козловой кран г/п 50 т, а для подъема сороудерживающих решёток, затворов турбинных водоводов принимаем козловой кран г/п 100 т.

3.5 Выбор маслонапорной установки и ЭГР

3.5.1 Выбор типа и габаритных размеров маслонапорной установки

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

МНУ состоит из масловоздушного котла и сливного бака.

Котел на одну треть заполнен маслом и на две трети – воздухом под давлением. На сливном баке смонтированы маслонасосные агрегаты, периодически пополняющие запасы масла в котле.

МНУ должна содержать запас масла, обеспечивающий работу при самых неблагоприятных режимах работы сервомоторов (например, полное закрытие турбины после израсходования масла на процесс регулирования). Поэтому объем масловоздушного котла намного превышает объем обслуживающих МНУ сервомоторов и не только из-за того, что две трети котла заполнены воздухом, но и для аккумуляции необходимого запаса масла (производительность маслонасоса не компенсирует возможного максимального расхода масла).

По рекомендации [2] принимаем маслонапорную установку МНУ 20/2-40-20-3, состоящая из двух сосудов на давление 4МПа= 40кгс/см^2.

3.5.2 Выбор электрогидравлического регулятора

Так как турбина ПЛ, то выбираем ЭГР (для ГА с двумя регулирующими органами). Диаметр главного золотника 24мм. Выбран регулятор ЭГРК-2МП-100-4.

3.6 Вал и подшипник

3.6.1 Расчёт вала на прочность

Наружный диаметр вала турбины:

$$D_{\text{в}} = (5{,}1 \cdot M_{\text{кр}}/[\tau_{\text{доп}}])^{0{,}33} = \left(5{,}1 \cdot \frac{13{,}3}{35}\right)^{0{,}33} = 1{,}2 \text{ м}, \quad (3.69)$$

где $[\tau_{\text{доп}}] = 30 \div 35$ Мпа.

Крутящий момент $M_{\text{кр}}$:

$$M_{\text{кр}} = 0{,}00974 \cdot \frac{N_{\text{а}}}{n_{\text{синх}}} = 0{,}00974 \cdot \frac{178500}{130{,}4} = 13{,}3 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.70)$$

Полученное значение диаметра округляем до стандартизованного $D_в = 120$ см.

Так как при выборе гидрогенератора было получено значение наружного диаметра вала гидрогенератора $d_{\text{в}} = 1330$ см , то принимаем наибольший из диаметров.

3.6.2 Расчет подшипника

Направляющий подшипник турбины предназначен для восприятия радиальных нагрузок. Целесообразно устанавливать подшипник сегментного типа на водяной смазке. При расчете подшипника определяем его размеры и проверяем по критерию работоспособности.

Радиальную силу на рабочем колесе определяем по эмпирической зависимости:

$$R_{\text{рад}} = \frac{0{,}8 \cdot N}{n_{\text{синх}} \cdot D_1} = \frac{0{,}8 \cdot 178500}{130{,}4 \cdot 7{,}5} = 146 \text{ кН}. \quad (3.71)$$

Центральный угол расположения сегментов:

$$\alpha = \frac{360°}{Z_{сегм}} = \frac{360°}{8} = 45°. \quad (3.72)$$

Усилие на наиболее нагруженный сегмент:

$$R_1 = \frac{R_{\text{рад}}}{1 + 2 \cdot \cos(\alpha) + 2 \cdot \cos(2\alpha)} = \frac{146}{1 + 2 \cdot \cos(45°) + 2 \cdot \cos(90°)} = 60{,}5 \text{ кН}. \quad (3.73)$$

Диаметр вала под подшипником $d_{\text{П}}$, с учетом облицовки, обычно принимается на (15 ÷ 20) мм больше $D_в$:

$$d_{\text{П}} = D_{\text{в}} + 0{,}02 = 1{,}2 + 0{,}02 = 1{,}22 \text{ м} . \quad (3.74)$$

Длина сегмента в окружном направлении:

$$l_{сегм} = \frac{0.875 \cdot \pi \cdot d_{\text{П}}}{Z_{сегм}} = \frac{0{,}875 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}22}{8} = 0{,}42 \text{ м} . \quad (3.75)$$

Удельная нагрузка на сегмент:

$$p_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{рад}}}{l_{сегм} \cdot h_{\text{П}}} = \frac{146}{0{,}42 \cdot 0{,}5} = 695{,}2 \text{ кПа} , \quad (3.76)$$

где $Z_{сегм} = 8$;

$h_{\text{П}} = 0{,}5$ м взят по справочным таблицам в соответствии с $D_{\text{в}}$ [1].

Для сегментных подшипников экспериментально получено, что допускаемое $[p_{\text{уд}}]$ равно:

$$[p_{\text{уд}}] = 50 \cdot U = 50 \cdot 16{,}7 = 835 \text{ кПа} ; \quad (3.77)$$

$$U = \frac{\pi \cdot n_{\text{синх}} \cdot d_{\text{П}}}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 130{,}4 \cdot 1{,}22}{30} = 16{,}7 \text{ м/сек} ; \quad (3.78)$$

$p_{\text{уд}} < [p_{\text{уд}}]$ – условие выполнено.

3.7 Заглубление водозабора на величину воронкообразования

Расход через турбину при отметке НПУ и работе агрегата с установленной мощность : $Q = 446{,}2 \text{ м}^3/\text{с}$.

Диаметр водовода : $D = 13$ м .

Средняя скорость воды в водоводе:

$$\vartheta = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 446{,}2}{3{,}14 \cdot 13^2} = 3{,}4 \text{ м/с} . \quad (3.79)$$

Минимальная разность отметок мёртвого объема и верхней кромки водовода:

$$\text{Н}_{\text{кр}} = 0{,}5 \cdot D \cdot \left(\frac{\vartheta}{\sqrt{g * D}}\right)^{0{,}55} = 0{,}5 \cdot 13 \cdot \left(\frac{3{,}4}{\sqrt{9{,}81 * 13}}\right)^{0{,}55} = 3{,}4 \text{ м.} \quad (3.80)$$

4 Компановка и сооружения гидроузла

Проектируемый речной гидроузел имеет энергетическое назначение. В его состав входят бетонная водосливная плотина, глухие бетонные плотины и гидроэлектростанция.

4.1 Проектирование сооружений напорного фронта

4.1.1 Определение отметки гребня бетонной плотины

Для бетонных плотин с вертикальной напорной гранью отметка гребня:

$$\nabla\text{ГБП} = \nabla\text{НПУ} + h_{1\%} + a; \quad (4.1)$$

$$\nabla\text{ГБП} = \nabla\text{ФПУ} + h_{1\%} + a, \quad (4.2)$$

где a – величина запаса, для I класса $a = 0{,}8$ м;

$h_{1\%}$ - высота волны 1% обеспеченности.

Основное сочетание нагрузок

Для определения $h_{1\%}$, определяются безразмерные коэффициенты:

$$\frac{gL}{v_w^2} = \frac{9{,}81 \cdot 2000}{20^2} = 49{,}1\ , \quad (4.3)$$

$$\frac{gt}{v_w} = \frac{9{,}81 \cdot 21600}{20} = 10594{,}8\ , \quad (4.4)$$

где t – период развития волн на водохранилище, t=6ч=21600с;

L – длина разгона волны, определяемая по розе ветров района гидроузла, L=2000м;

v_w – расчетная скорость ветра на высоте 10м над уровнем воды, 2% обеспеченности $v_w = 20\text{м/с}$ – для региона, в котором расположен гидроузел.

Из графика [10, Приложение 1, рис.1] по верхней огибающей кривой по найденным безмерным коэффициентам определяются параметры $\frac{g\bar{h}}{v_w^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v_w}$ (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Параметры безразмерных коэффициентов

$\frac{gL}{v_w^2} = 49{,}1$		$\frac{gt}{v_w} = 10594{,}8$	
$\frac{g\bar{h}}{v_w^2}$	$\frac{g\bar{T}}{v_w}$	$\frac{g\bar{h}}{v_w^2}$	$\frac{g\bar{T}}{v_w}$
0,0045	0,65	0,1	4,6

По меньшим значениям вычисляются средний период $\bar{T}$ (с) и средняя высота волны $\bar{h}$ (м):

$$\frac{g\bar{T}}{v_w} = 0{,}65; \tag{4.5}$$

$$\overline{\mathrm{T}} = \frac{0{,}65 \cdot v_w}{g} = \frac{0{,}65 \cdot 20}{9{,}81} = 1{,}3 \text{ с}; \tag{4.6}$$

$$\frac{g\bar{h}}{v_w^2} = 0{,}0045; \tag{4.7}$$

$$\bar{h} = \frac{0{,}0045 \cdot v_w^2}{g} = \frac{0{,}0045 \cdot 20^2}{9{,}81} = 0{,}2 \text{ м}. \tag{4.8}$$

Средняя длина волны:

$$\overline{\lambda_d} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9{,}81 \cdot 1{,}3^2}{2 \cdot 3{,}14} = 2{,}6 \text{ м}. \tag{4.9}$$

Проверка условия на глубоководность:

$$d > 0{,}5 \cdot \overline{\lambda_d}, \tag{4.10}$$

где d – условная расчетная глубина воды в водохранилище,

$$d = \frac{\nabla\text{НПУ} - \nabla\text{дна}}{2} = \frac{205 - 155}{2} = 25 \text{ м}, \tag{4.11}$$

$25 > 0{,}5 \cdot 2{,}6 = 1{,}3$ м, условие выполняется, зона глубоководная.

Высота волны 1% обеспеченности :

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot k_i = 0{,}2 \cdot 2{,}08 = 0{,}42 \text{ м}, \tag{4.12}$$

где k_i – коэффициент, определяемый по графику [4, Приложение 1, рис.2] в зависимости от $\frac{gL}{v_w^2}$, $k_i = 2{,}08$.

Отметка гребня бетонной плотины:

$$\nabla\text{ГБП} = 205 + 0{,}42 + 0{,}8 = 206{,}2 \text{ м}. \tag{4.13}$$

Особое сочетание нагрузок

Для определения высоты волны 20% обеспеченности, определяются безразмерные коэффициенты:

$$\frac{gL}{v_w^2} = \frac{9{,}81 \cdot 2000}{16^2} = 76{,}6, \tag{4.14}$$

$$\frac{gt}{v_w} = \frac{9{,}81 \cdot 21600}{16} = 13243{,}5\ , \qquad (4.15)$$

где v_w – расчетная скорость ветра на высоте 10м над уровнем воды, при 20% обеспеченности $v_w = 16\text{м/с}$ – для региона, в котором расположен гидроузел.

Из графика [10, Приложение 1, рис.1] по верхней огибающей кривой по найденным безмерным коэффициентам определяются параметры $\frac{g\bar{h}}{v_w^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v_w}$ (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Параметры безразмерных коэффициентов

$\frac{gL}{v_w^2} = 76{,}6$		$\frac{gt}{v_w} = 13243{,}5$	
$\frac{g\bar{h}}{v_w^2}$	$\frac{g\bar{T}}{v_w}$	$\frac{g\bar{h}}{v_w^2}$	$\frac{g\bar{T}}{v_w}$
0,0055	0,75	0,11	4,98

По меньшим значениям вычисляются средний период $\bar{T}$ (с) и средняя высота волны $\bar{h}$ (м):

$$\frac{g\bar{T}}{v_w} = 0{,}75; \qquad (4.16)$$

$$\overline{\mathrm{T}} = \frac{0{,}75 \cdot v_w}{g} = \frac{0{,}75 \cdot 16}{9{,}81} = 1{,}2\ \text{с}\ ; \qquad (4.17)$$

$$\frac{g\bar{h}}{v_w^2} = 0{,}0055\ ; \qquad (4.18)$$

$$\bar{h} = \frac{0{,}0055 \cdot v_w^2}{g} = \frac{0{,}0055 \cdot 16^2}{9{,}81} = 0{,}14\ \text{м}\ . \qquad (4.19)$$

Средняя длина волны:

$$\overline{\lambda_d} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9{,}81 \cdot 1{,}2^2}{2 \cdot 3{,}14} = 2{,}2\ \text{м}. \qquad (4.20)$$

Проверка условия на глубоководность:

$$d > 0{,}5 \cdot \overline{\lambda_d}, \qquad (4.21)$$

$$d = \frac{\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{дна}}{2} = \frac{207 - 155}{2} = 26\ \text{м}\ , \qquad (4.22)$$

$26 > 0{,}5 \cdot 2{,}2 = 1{,}1$ м, условие выполняется, зона глубоководная.

Высота волны 2% обеспеченности :

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot k_i = 0{,}14 \cdot 2{,}1 = 0{,}3 \text{ м}, \quad (4.23)$$

где k_i – коэффициент, определяемый по графику [10, Приложение 1, рис.2] в зависимости от $\frac{gL}{v_w^2}$, $k_i = 2{,}1$.

Отметка гребня бетонной плотины:

$$\nabla\text{ГБП} = 207 + 0{,}3 + 0{,}8 = 208{,}1 \text{ м} . \quad (4.24)$$

Отметка гребня быка:

$$\nabla\text{ГБ} = \nabla\text{ГВ} + 1{,}6 \cdot \text{Н}_{\text{ст}} = 193 + 1{,}6 \cdot 12 = 212{,}2 \text{ м}, \quad (4.25)$$

где ∇ГВ – отметка гребня водослива (п.4.2.2);

$\text{Н}_{\text{ст}}$ – напор на водосливе (п.4.2.2.).

Отметка гребня бетонной плотины устанавливается наибольшая из рассчитанных: $\nabla\text{ГБП} = 212{,}2$ м.

4.2 Гидравлические расчеты

Определяем класс проектируемого сооружения по СНиП 33.01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» (приложение Б)[7].

Примерная высота плотины:

$$h_{\text{пл}} = \nabla\text{НПУ} - \nabla\text{дна} = 205 - 155 = 50 \text{ м} \quad (4.26)$$

С учетом высоты плотины, грунтов основания (скальные), социально-экономической ответственности и условий эксплуатации принимается I класс сооружения.

Расчетные максимальные расходы для сооружения класса I определяются из гидрологического ряда:

- основной расчетный случай: при вероятности превышения P=0,1 % $Q_{\text{осн.}max} = 3328 \text{м}^3/\text{с}$ [7];
- поверочный расчетный случай: при вероятности превышения P=0,01% $Q_{\text{пов.}max} = 4224 \text{м}^3/\text{с}$ [7].

4.2.1 Определение ширины водосливного фронта

Расчетный расход воды для основного расчетного случая Q_p должен пропускаться при НПУ через все эксплуатационные водопропускные сооружения гидроузла при полном их открытии.

Количество агрегатов, участвующих в пропуске расчетных расходов, должно быть не более: ($n_{га}$ - 1) при числе гидроагрегатов ГЭС $n \leq 6$.

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{осн.}max} - Q_{\text{ГЭС}} \cdot (n_{\text{га}} - 1) = 3328 - 446{,}2 \cdot (4 - 1) =$$
$$= 1989{,}4\ \text{м}^3/\text{с} \qquad (4.27)$$

где $Q_{\text{ГЭС}} \cdot (n_{\text{га}} - 1)$ - расход через агрегаты, участвующие при пропуске расчетного расхода.

Общая ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{Q_{\text{р}}}{q_{\text{в}}}, \qquad (4.28)$$

где $q_{\text{в}}$ – удельный расход на водосливе

$$q_{\text{в}} = 1{,}25 \cdot q_{\text{р}}\ , \qquad (4.29)$$

где $q_{\text{р}}$- удельный расход на рисберме.

$$q_{\text{р}} = [v_h] \cdot h_{\text{НБ}}\ , \qquad (4.30)$$

где $h_{\text{НБ}}$ – глубина воды в нижнем бьефе, определяется по кривой $\nabla\text{УНБ} = f(Q_{\text{НБ}})$ при $Q_{\text{осн.}max}$(рис.4.1);

v_h– допустимая неразмывающая скорость на рисберме, принимается в зависимости от грунтов, слагающих дно реки, для скалы $[\upsilon_h]$=8 м/с [8].

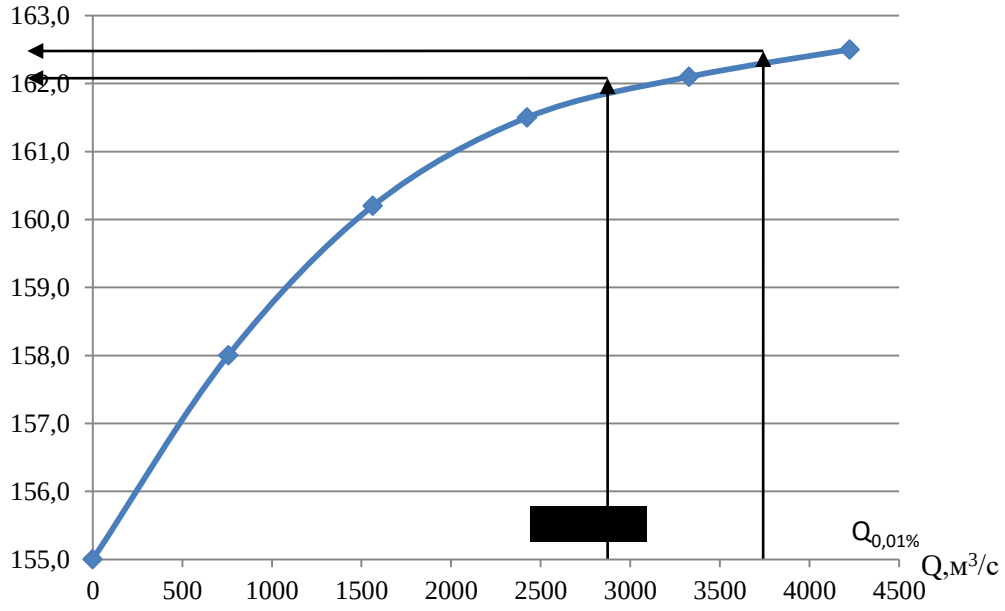


Рисунок 4.1 – Зависимость уровня нижнего бьефа от расхода

$$h_{\text{нб}} = \nabla\text{УНБ} - \nabla\text{дно} = 162{,}1 - 155 = 7{,}1\ \text{м} \qquad (4.31)$$

$$q_{\text{р}} = [v_h] \cdot h_{\text{НБ}} = 8 \cdot 7{,}1 = 56{,}8\ \text{м}^2/\text{с}\ ; \qquad (4.32)$$

$$q_{\text{в}} = 1{,}25 \cdot q_{\text{р}} = 1{,}25 \cdot 56{,}8 = 71\ \text{м}^2/\text{с}\,; \qquad (4.33)$$

$$B = \frac{Q_{\text{р}}}{q_{\text{в}}} = \frac{1989{,}4}{71} = 28{,}02 \text{ м}\,. \quad (4.34)$$

Ширина водосливного фронта В должна быть целым числом, поэтому полученное значение округлим в большую сторону: В=29 м.

При стандартной длине водосливного отверстия b = 8 м, количество водосливных отверстий будет равно:

$$\text{n} = \frac{\text{B}}{\text{b}_{\text{ст}}} = \frac{29}{8} = 3{,}65 \approx 4\,. \quad (4.35)$$

Полная ширина водосливного фронта:

$$\text{B} = n \cdot b = 4 \cdot 8 = 32 \text{ м}. \quad (4.36)$$

4.2.2 Определение отметки гребня водослива

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

$$H_{01} = \left(\frac{Q_{\text{р}}}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}}\right)^{2/3} = \left(\frac{1989{,}4}{0{,}49 \cdot 32 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81}}\right)^{2/3} = 9{,}91 \text{ м}\,, \quad (4.37)$$

где m – коэффициент расхода, для водослива практического профиля типа А $m = 0{,}49$ [8].

Полный напор на водосливе с учётом сжатия:

$$H_{02} = \left(\frac{Q_{\text{р}}}{m \cdot \varepsilon \cdot \sigma_n \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}}\right)^{2/3}, \quad (4.38)$$

где σ_n – коэффициент подтопления(считаем, что водослив не подтоплен,σ_n= 1);

ε – коэффициент бокового сжатия, зависящий от условий входа, определяют по формуле:

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2 \cdot \frac{\xi + (n-1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b} = 1 - 0{,}2 \cdot \frac{0{,}7 + (4-1) \cdot 0{,}45}{4} \cdot \frac{9{,}91}{8} = 0{,}87, \quad (4.39)$$

где ξ – коэффициент формы боковых устоев, для закругленной формы устоя ξ=0,7 [8];

ξ_0 – коэффициент, зависящий от расположения быка в плане и от формы верховой грани быка, принимаем ξ_0=0,45 (круглая форма быка) [8].

$$H_{02} = \left(\frac{1989{,}4}{0{,}49 \cdot 0{,}87 \cdot 1 \cdot 32 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81}}\right)^{2/3} = 10{,}27 \text{ м}. \quad (4.40)$$

Определим геометрический напор на водосливе, предварительно проверив условие $\omega > 4\text{ВН}$, ω – площадь живого сечения потока:

$$\omega = (\nabla\text{НПУ} - \nabla\text{дна}) \cdot [\text{В} + (n-1) \cdot \delta_{\text{б}}], \quad (4.41)$$

где $\delta_{\text{б}}$ – толщина быка, при условии отсутствия деформационного шва по быку и ширине $b = 8$ м, принимаем $\delta_{\text{б}} = 0{,}25 \cdot b = 0{,}25 \cdot 8 = 2{,}0$ м [8],так как деформационный шов проходит по середине быка, то толщина неразрезного быка увеличивается на 1,0 м, $\delta_{\text{б}} = 2{,}0 + 1{,}0 = 3{,}0$ м: $\omega = (205 - 155) \cdot [32 + (4-1) \cdot 3] = 2050$ м^2,

$$4 \cdot \text{В} \cdot \text{Н} = 4 \cdot [32 + (4-1) \cdot 3] \cdot 10{,}27 = 1684{,}3 \text{м}^2. \quad (4.42)$$

$\omega = 2050 > 4\text{ВН} = 1684{,}3$, условие выполняется, поэтому скорость подхода потока к плотине не учитывается и принимается:

$$H = H_{02} = 10{,}27 \text{ м}. \quad (4.43)$$

Отметка гребня водослива:

$$\nabla\text{ГВ} = \nabla\text{НПУ} - H_{\text{ст}} = 205 - 12 = 193 \text{ м}, \quad (4.44)$$

где $\text{Н}_{\text{ст}}$ – стандартный напор, м, ближайший к Н в соответствии с техническим регламентом, $\text{Н}_{\text{ст}} = 12$ м.

4.2.3 Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае

Определяется расход через водослив при пропуске расхода поверочного расчетного случая:

$$Q_{\text{р.пов}} = Q_{\text{пов.max}} - Q_{\text{ГЭС}}(n_{\text{га}} - 1) - Q_{\text{с}} = 4224 - 446{,}2 \cdot (4-1) = \\ = 2885{,}4 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.45)$$

где $Q_{\text{с}}$– расход, сбрасываемый через другие водопропускные сооружения гидроузла, а также через водозаборы, шлюзы, рыбопропускные сооружения ($Q_{\text{с}} = 0$) ;

Напор над гребнем водослива без учёта сжатия и подтопления:

$$H_{01\,\text{пов}} = \left(\frac{Q_{\text{р.пов}}}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}}\right)^{2/3} = \left(\frac{2885{,}4}{0{,}49 \cdot 32 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81}}\right)^{2/3} = 12{,}0 \text{ м}. \quad (4.46)$$

Напор на водосливе с учётом сжатия:

$$H_{02\,\text{пов}} = \left(\frac{Q_{\text{р.пов}}}{m \cdot \varepsilon \cdot \sigma_n \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}}\right)^{2/3}, \quad (4.47)$$

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2 \cdot \frac{\xi + (n-1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01\,\text{пов}}}{b} = 1 - 0{,}2 \cdot \frac{0{,}7 + (4-1) \cdot 0{,}45}{4} \cdot \frac{12{,}0}{8} = \\ = 0{,}85, \quad (4.48)$$

$$H_{02\,\text{пов}} = \left(\frac{2885{,}4}{0{,}49 \cdot 0{,}85 \cdot 1 \cdot 32 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81}}\right)^{2/3} = 13{,}41\ \text{м}\,. \quad (4.49)$$

Определим геометрический напор на водосливе, предварительно проверив условие $\omega > 4\text{ВН}$:

$$\omega = (\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{дна}) \cdot [\text{В} + (n-1) \cdot \delta_б] = \\ = (207 - 155) \cdot [32 + (4-1) \cdot 3] = 2132\ \text{м}^2, \quad (4.50)$$

$$4 \cdot \text{В} \cdot \text{Н} = 4 \cdot [32 + (4-1) \cdot 3] \cdot 13{,}41 = 2199{,}2\ \text{м}^2. \quad (4.51)$$

Так как условие $\omega = 2132 < 4\text{ВН} = 2199{,}2$ не выполняется, то геометрический т напор на гребне водосливе считается с учетом скоростного подхода:

$$H_{\text{пов}} = H_{02\,\text{пов}} - \frac{\alpha \cdot v_{0\text{пов}}^2}{2g} = 13{,}41 - \frac{1{,}1 \cdot 1{,}98^2}{2 \cdot 9{,}81} = 13{,}19\ \text{м}, \quad (4.52)$$

$$v_{0\text{пов}} = \frac{Q_{\text{пов}}}{(\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{дна}) \cdot [\text{В} + (n-1) \cdot \delta_б]} = \frac{4224}{(207-155) \cdot [32 + 3 \cdot 3]} = 1{,}98\ \text{м/с}. \quad (4.53)$$

Определяется расчетная отметка форсированного уровня:

$$\nabla\text{ФПУ}_\text{р} = \nabla\text{ГВ} + H_{\text{пов}} = 193 + 13{,}19 = 206{,}19\ \text{м}. \quad (4.54)$$

$\nabla\text{ФПУ}_\text{р} = 206{,}19$ м $< \nabla\text{ФПУ}_{\text{зад}} = 207{,}0$ м, следовательно пропускная способность водослива достаточна для пропуска расхода $Q_{\text{р.пов}}$= 4224 м^3/с при заданной отметке ФПУ.

4.2.4 Построение профиля водосливной плотины по координатам Кригера-Офицерова

Оголовок безвакуумного водослива практического профиля типа А строится по координатам Кригера–Офицерова [8] (рис.4.2).

По проектному напору $H_{пр}=H_{ст}$ определяем координаты оголовка безвакуумного водослива. Табличные координаты x и y умножим на $H_{ст}$ =12 м (табл.4.3).

Таблица 4.3 - Координаты для построения оголовка водослива практического профиля

№ точки	X, м	Y, м	№ точки	X, м	Y, м
1	0,00	1,512	21	24,00	14,82
2	1,20	0,432	22	25,20	16,428
3	2,40	0,084	23	26,40	18,096
4	3,60	0	24	27,60	19,836
5	4,80	0,072	25	29,60	22,728
6	6,00	0,324	26	30,10	23,52
7	7,20	0,72	27	31,20	25,464
8	8,40	1,2	28	32,30	27,468
9	9,60	1,752	29	33,60	29,544
10	10,80	2,376	30	34,80	31,68
11	12,00	3,072	31	36,00	33,888
12	13,20	3,852	32	37,20	36,156
13	14,40	4,728	33	38,40	38,484
14	15,60	5,7	34	39,60	40,86
15	16,80	6,768	35	40,80	43,308
16	18,00	7,932	36	42,00	45,816
17	19,20	9,168	37	43,20	48,372
18	20,40	10,476	38	44,40	50,988
19	21,60	11,844	39	45,60	53,652
20	22,80	13,296	40	46,80	56,376

Сопряжение водосливной грани с водобоем очерчивается по дуге радиусом:

$$R = 0{,}5 \cdot (H + \mathrm{C_н}) = 0{,}2 \cdot (12 + 38) = 10\text{м}, \quad (4.55)$$

$$\mathrm{Сн} = \nabla\mathrm{ГВ} - \nabla\mathrm{дно} = 193 - 155 = 38\ \text{м}\,. \quad (4.56)$$

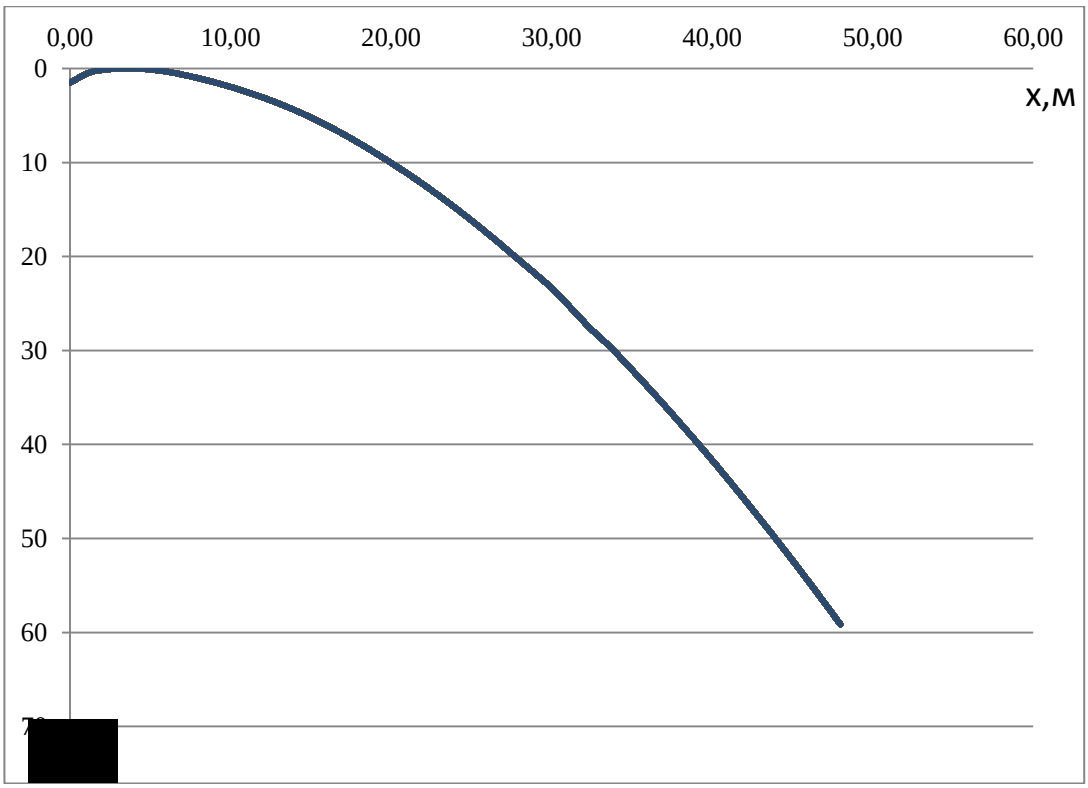


Рисунок 4.2 - Оголовок гребня безвакуумного водослива для плотины типа А

4.2.5 Расчет сопряжения потока в нижнем бьефе

В зависимости от соотношения второй сопряженной глубины h_c'' и бытовой глубины $h_{\text{НБ}}$ возникают следующие типы сопряжения бьефов:

а) $h_c'' > h_{\text{НБ}}$ – сопряжение по типу отогнанного прыжка;

б) $h_c'' = h_{\text{НБ}}$ – сопряжение в виде прыжка в сжатом сечении;

в) $h_c'' < h_{\text{НБ}}$ – сопряжение в виде надвинутого (затопленного) прыжка.

Определяем полную удельную энергию перед водосливом:

$$E_0 = C_{\text{Н}} + H_0 = 38 + 12 = 50{,}0 \text{ м}, \tag{4.57}$$

где $C_{\text{Н}}$ - высота плотины со стороны НБ.

Определяем критическую глубину h_{kp}:

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q_{\text{р}}^2}{(B+\sum \delta_{\text{б}})^2 \cdot g}} = \sqrt[3]{\frac{1{,}1 \cdot 1989{,}4^2}{(32+(4-1)\cdot 3)^2 \cdot 9{,}81}} = 6{,}25 \text{ м}. \tag{4.58}$$

Относительная удельная энергия в верхнем бьефе:

$$\xi_0 = \frac{E_0}{h_{\text{кр}}} = \frac{50}{6{,}25} = 8{,}00. \tag{4.59}$$

По графику Черноусова М.Д. в зависимости от ξ_0, с учетом коэффициента скорости $\varphi_c = 0{,}95$ (средняя длина водосливной грани, т.к. высота плотины менее 40 м) относительные глубины ξ_c и ξ_c'': $\xi_c = 0{,}284$; $\xi_c'' = 2{,}5$.

Сопряженные глубины:

$$h_c' = \xi_c \cdot h_{\text{кр}} = 0{,}284 \cdot 6{,}25 = 1{,}78 \text{ м}, \quad (4.60)$$

$$h_c'' = \xi_c'' \cdot h_{\text{кр}} = 2{,}5 \cdot 6{,}25 = 15{,}63 \text{ м}. \quad (4.61)$$

Сопоставляя глубину в нижнем бьефе, равную 7,1 м со второй сопряженной глубиной, очевидно, что $h_c'' > h_{НБ}$ (15,63 м > 7,1 м) . Таким образом, в нижнем бьефе отогнанный прыжок, поэтому требуется устройство гасителей.

Для водосбросных плотин на скальном основании целесообразно осуществлять гашение энергии способом свободно отброшенной струи. Этот способ применяют при определенных условиях:

1. Высота плотины больше 40 м; высота проектируемой плотины 52 м;

2. Относительная ширина русла, достаточная для того, чтобы отбрасываемая струя не оказывала негативного влияния на работу гидроагрегатов $\frac{l_{ch}}{h} > 3$:

$$\frac{l_{ch}}{h} = \frac{430}{52} = 8{,}3 > 3, \quad (4.62)$$

где l_{ch} – ширина створа по хорде на отметке гребня водослива;

h – высота проектируемой плотины.

3. Прочное скальное основание – гранит – является одной из самых плотных, твёрдых и прочных пород. Плотность гранита — 2600 кг/м³, прочность на сжатие до 300 МПа.

4.2.6 Гашение энергии с помощью отброшенной струи

Задача сводится к определению дальности отлета струи от плотины до входа в воду в НБ и глубины ямы размыва.

Назначаем минимальную отметку уступа выше отметки УНБ, соответствующей расходу воды при пропуске максимального расхода поверочного расчетного случая на 1м:

$$\nabla\text{уступа} = \nabla\text{УНБ}_{Q\text{пов}} + 1 = 162{,}5 + 1 = 163{,}5 \text{ м} \quad (4.63)$$

Высота уступа:

$$\text{а}= \nabla\text{уст} - \nabla\text{дна} = 163{,}5 - 155 = 8{,}5\text{м}. \quad (4.64)$$

Дальность отлета струи от плотины до входа в воду нижнего бьефа :

$$L = k_a \cdot z_1 \cdot \varphi^2 \cdot \sin(2 \cdot \alpha)\left[\sqrt{1 + \left(\frac{z_0}{z_1} - 1\right) \cdot \frac{1}{\varphi^2 \cdot sin^2\alpha}} + 1\right], \quad (4.65)$$

где k_a- коэффициент аэрации потока

φ-коэффициент скорости; для истечения в атмосферу при свободном полете струи φ=1,0 [8];

α-угол схода струи с трамплина, α=30°;

Z_1 – превышение УВБ над отметкой носка – трамплина с учетом скоростного напора;

$$\text{Z}_1 = (\nabla\text{ГВ} + \text{H}_{\text{ст}} - \nabla\text{дно}) - \text{а} = (193 + 12 - 155) - 8{,}5 = \\ = 41{,}5 \text{ м} ; \quad (4.66)$$

Z_0 – превышение УВБ над УНБ с учетом скоростного напора;

$$\text{Z}_0 = (\nabla\text{ГВ} + \text{H}_{\text{ст}} - \nabla\text{дно}) - h_{\text{нб}} = (193 + 12 - 155) - 7{,}5 = 42{,}5 \text{ м} \quad (4.67)$$

Коэффициент аэрации k_a можно определить по числу Фруда:

$$\text{Fr} = \frac{\text{v}_\text{н}^2}{\text{gh}_\text{н}} = \frac{28{,}5^2}{9{,}81 \cdot 1{,}7} = 48{,}7, \quad (4.68)$$

где $v_\text{н}$ - скорость потока на носке;

$$v_\text{н} = \varphi\sqrt{2\text{g}z_1} = 1{,}0\sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 41{,}5} = 28{,}5 \text{ м/с} \quad (4.69)$$

$h_\text{н}$ -высота потока воды на носке;

$$\text{h}_\text{н} = \frac{\text{q}}{\text{v}_\text{н}} = \frac{48{,}5}{28{,}5} = 1{,}7\text{м}, \quad (4.70)$$

где q - удельный расход на водосливе,

$$q = \frac{Q_\text{р}}{\text{B}} = \frac{1989{,}4}{31 + (4-1) \cdot 3} = 48{,}5\text{м}^2/\text{с} . \quad (4.71)$$

Так как Fr> 35, то k_a=0,8 [9]. Безопасное расстояние отлета струи для плотины на основании из прочной скалы составляет:

$$L > 0{,}4Z_0 = 0{,}4 \cdot 42{,}5 = 17\text{м}, \quad (4.72)$$

$$L = 0{,}8 \cdot 41{,}5 \cdot 1{,}0^2 \cdot \sin 60\left(\sqrt{1 + \left(\frac{42{,}5}{41{,}5} - 1\right) \cdot \frac{1}{1{,}0^2 \cdot \sin^2(30)}} + 1\right) =$$
$$= 58{,}7 \text{ м} \quad (4.73)$$

Условие безопасности соблюдается, так как L=58,7м $>$ 0,4Z_0=17,0м.

Глубина ямы размыва:

$$h_{раз} = t - h_{НБ} = 25{,}3 - 7{,}5 = 17{,}8 \text{ м}, \quad (4.74)$$

где t – ∇НБ-∇дна ямы размыва:

$$t = \left(0{,}1 + 0{,}45 \cdot \sqrt[4]{Fr}\right) \cdot \sqrt{Fr} \cdot \sqrt[4]{\frac{h_{НБ}}{d}} \cdot h_Н =$$
$$= \left(0{,}1 + 0{,}45 \cdot \sqrt[4]{48{,}7}\right) \cdot \sqrt{48{,}7} \cdot \sqrt[4]{\frac{7{,}5}{1}} \cdot 1{,}7 = 25{,}3 \text{ м}, \quad (4.75)$$

где d – средняя крупность отдельности в скальном основании(d=1м)

Расстояние от плотины до центра ямы размыва определяют по формуле:

$$L_1 = L + \frac{t}{tg\alpha_1} = 58{,}7 + \frac{25{,}3}{0{,}62} = 99{,}5 \text{ м}, \quad (4.76)$$

где α_1 - угол входа струи в воду;

$$tg\alpha_1 = \sqrt{tg^2\alpha + \frac{2g(0{,}5h_н \cdot cos\alpha + a - h_{НБ})}{V_н{}^2 \cdot cos^2\alpha}} =$$
$$= \sqrt{tg^2 30 + \frac{2 \cdot 9{,}81(0{,}5 \cdot 1{,}7 \cdot cos30 + 8{,}5 - 7{,}5)}{28{,}5^2 \cdot cos^2 30}} = 0{,}62. \quad (4.77)$$

Длина горизонтального участка ямы размыва вдоль течения на уравнение размытого русла:

$$b_р = 2{,}5h_{кр} + 3{,}7h_{раз} = 2{,}5 \cdot 6{,}25 + 3{,}7 \cdot 17{,}8 = 81{,}5 \text{ м}. \quad (4.78)$$

4.3 Конструирование плотины

4.3.1 Определение ширины подошвы плотины

Ширина подошвы плотины на скальном основании удовлетворяет требованиям прочности и устойчивости при условии:

$$B_{пл} = (0{,}7 \div 0{,}8)h_{пл}, \quad (4.79)$$

где $h_{пл}$ - высота плотины, равная:

$$h_{пл} = \nabla НПУ - \nabla под = 205 - 153 = 52 \text{ м;} \quad (4.80)$$

$$\nabla подошвы = \nabla дна - 2 = 155 - 2 = 153 \text{ м,} \quad (4.81)$$

где 2 м – толщина поверхностного слоя грунта, подверженного удалению.

Ширина подошвы плотины:

$$В_{пл} = 0{,}73 \cdot h_{пл} = 0{,}73 \cdot 52 = 38 \text{ м.} \quad (4.82)$$

Профиль плотины будет иметь вид прямоугольного треугольника с вершиной на отметке НПУ=205м и заложением низовой грани 0,73.

4.3.2 Разрезка бетонных плотин швами

Бетонная плотина разрезается по длине на отдельные секции постоянными швами. В плотинах на скальных основаниях устройство этих швов обеспечивает свободное развитие температурно-осадочных деформаций. Разрезку швами производим по осям быков.

Ширина секций:

$$B_{сек} = \delta_б + b = 3 + 8 = 11 \text{ м.} \quad (4.83)$$

Количество секций:

$$n = \frac{l_{ch}}{B_{сек}} = \frac{430}{11} = 39\ , \quad (4.84)$$

где l_{ch} – ширина створа по хорде на отметке гребня водослива (п.3.2.5).

Разрезы поперек потока образуют в сочетании с секционными разрезами столбы. С учетом ширины подошвы, равной 38м, плотина разрезается на 3 столба: первый и второй столбы имеют ширину 12м, третий столб 14м. Межстолбчатые швы – цементируемые. Столбчатая разрезка обеспечивает независимое возведение отдельных столбов. Преимуществом столбчатой разрезки является пуск агрегатов до окончания строительства.

4.3.3 Быки

Принимается разрезной бык толщиной 3м. Разрезной бык состоит из двух полубыков. При этом толщина пазового перешейка быка назначается 2 м. Для плоского рабочего затвора ширина паза принимается 1,0м. Для ремонтных затворов со стороны ВБ пазы размещаются на расстоянии 1,5м от рабочего затвора, чтобы обеспечить удобные условия для проведения ремонтных работ на рабочем затворе. Головная часть быка имеет обтекаемую в плане форму. На

гребне предусматривается двухсторонняя полоса движения шириной 7м для II категории дорог.

Отметка гребня быка:

$$\nabla ГБ = \nabla ГВ + 1{,}6 \cdot Н_{ст} = 193 + 1{,}6 \cdot 12 = 212{,}2 \text{ м}, \quad (4.85)$$

где ∇ГВ – отметка гребня водослива (п.4.2.2);

$Н_{ст}$ – напор на водосливе (п.4.2.2).

4.3.4 Устои

Для обеспечения плавного подхода потока к водосливу и для отделения водосливной плотины от здания ГЭС в проектируемой плотине принят раздельный устой.

4.3.5 Дренаж тела бетонных плотин

Вдоль напорной грани плотины предусматривается устройство дренажа в виде вертикальных скважин, имеющих выходы в продольные галереи.

Расстояние от напорной грани плотины до оси дренажа $а_{др}$, а также до верховой грани продольной галереи назначают при соблюдении условия:

$$а_{др} \geq \frac{H_d \cdot \gamma_n}{J_{кр,m}}, \quad (4.86)$$

где γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, для I группы предельных состояний и сооружений I класса $\gamma_n = 1{,}25$ [7];

$J_{кр,m}$ – критический средний градиент напора, для гравитационных плотин $J_{кр,m}$=25[11] .

H_d – напор над расчетным сечением (п.4.5.1).

Расстояние от напорной грани плотины до оси дренажа:

$$а_{др} \geq \frac{H_d \cdot \gamma_n}{J_{кр,m}} = \frac{47{,}5 \cdot 1{,}25}{25} \geq 2{,}41 \text{ м}. \quad (4.87)$$

4.3.6 Галереи в теле плотины

В проектируемой плотине предусмотрены 2 смотровые продольные и поперечные галереи на отметках ∇170м и ∇185м с целью обеспечения мониторинга НДС плотины. На ∇155 предусмотрены цементационная и дренажная галереи для сбора и отвода воды.

Вода из галереи на отметке ∇170 будет перетекать самотеком в дренажную галерею на ∇155 и откачиваться насосом в нижний бьеф.

Размеры галерей: ширина 3,0м, высота 3,5м.

4.4 Конструирование подземного контура плотины

4.4.1 Цементационная завеса

Для снижения противодавления на подошву проектируемой плотины предусматривается вертикальная цементационная завеса и вертикальный дренаж.

Расстояние от напорной грани до оси цементационной завесы:

$$l = 0{,}1 \cdot \mathrm{B}_{\text{пл}} = 0{,}1 \cdot 38 = 3{,}8 \text{ м}, \quad (4.88)$$

где $\mathrm{B}_{\text{пл}}$ – ширина подошвы плотины (п.4.3.1).

Глубина цементной завесы:

$$h_{\text{з}} = 0{,}5 \cdot \mathrm{H}_{max} = 0{,}5 \cdot 47{,}5 = 23{,}8 \text{ м}, \quad (4.89)$$

где $H_{max} = \nabla\text{НПУ} - \nabla\text{УНБ}_{min} = 205 - 157{,}5 = 47{,}5$ м,

$\nabla\text{УНБ}_{min}$ – отметка уровня нижнего бьефа при пропуске санитарного расхода $Q_{\text{сан}} = 625\text{м}^3/\text{с}$, $\nabla\text{УНБ}_{min} = 157{,}5$ м.

Толщина цементной завесы:

$$\delta_{\text{з}} > \frac{\Delta\mathrm{H}_{\text{з}} \cdot \gamma_n}{J_{cr,m}} = \frac{28{,}5 \cdot ,25}{15} = 2{,}4 \text{ м}, \quad (4.90)$$

где $\Delta H_{\text{з}}$ – потери напора на завесе,

$$\Delta\mathrm{H}_{\text{з}} = \mathrm{H}_d - 0{,}4 \cdot \mathrm{H}_d = 0{,}6\mathrm{H}_d = 0{,}6 \cdot 47{,}5 = 28{,}5\text{м}, \quad (4.91)$$

$H_d = \mathrm{H}_{max} = 47{,}5$м;

$J_{cr,m}$ – критический градиент напора на завесе, $J_{cr,m} = 15$ [11];

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, для I группы предельных состояний и сооружений I класса $\gamma_n = 1{,}25$ [7].

Цементационная завеса однорядная, так как толщина ц/завесы $\delta_{\text{з}} =$ 3м, шаг скважин в ряду принимаем $l_1 = 3$м.

4.4.2 Дренаж основания

Расстояние от оси ц/завесы до оси дренажа:

$$l_2 = 2 \cdot l_1 = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}, \quad (4.92)$$

где l_1 – шаг скважин в ряду (п.4.4.1).

Через дренажные скважины фильтрующуюся воду выводят в дренажную галерею, а отвод воды в НБ осуществляют насосами.

Глубина дренажа:

$$h_{\text{др}} = 0{,}5 \cdot h_{\text{з}} = 0{,}5 \cdot 23{,}8 = 12 \text{ м}\,. \quad (4.93)$$

Дренаж выполняют в виде вертикальных скважин диаметром $d_{\text{скв}} = 100$ мм с шагом 3м.

4.5 Фильтрационные расчеты подземного контура

4.5.1 Построение эпюры фильтрационного давления

Основное сочетание нагрузок и воздействий (рис.4.3)
Напор на сооружении:

$$H_d = \nabla\text{НПУ} - \nabla\text{УНБ}_{min} = 205 - 157{,}5 = 47{,}5 \text{ м}. \quad (4.94)$$

Напор на цементационной завесе:

$$H_{as} = 0{,}4 \cdot H_d = 0{,}4 \cdot 47{,}5 = 19 \text{ м}. \quad (4.95)$$

Напор на дренаже:

$$H_{dr} = 0{,}2 \cdot H_d = 0{,}2 \cdot 47{,}5 = 9{,}5 \text{ м}. \quad (4.96)$$

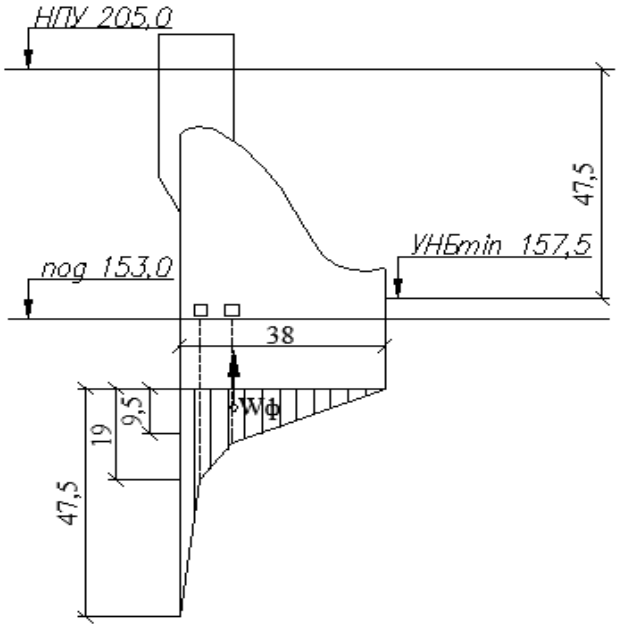


Рисунок 4.3 – Фильтрационное давление на подошву плотины для основного сочетания нагрузок и воздействий

Особое сочетание нагрузок и воздействий (рис.4.4)
Напор на сооружении:

$$H_d = \nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{УНБ}_{max} = 207 - 162{,}5 = 44{,}5 \text{ м.} \quad (4.97)$$

Напор на цементационной завесе:

$$H_{as} = 0{,}4 \cdot H_d = 0{,}4 \cdot 44{,}5 = 17{,}8 \text{ м.} \quad (4.98)$$

Напор на дренаже:

$$H_{dr} = 0{,}2 \cdot H_d = 0{,}2 \cdot 44{,}5 = 8{,}9 \text{ м.} \quad (4.99)$$

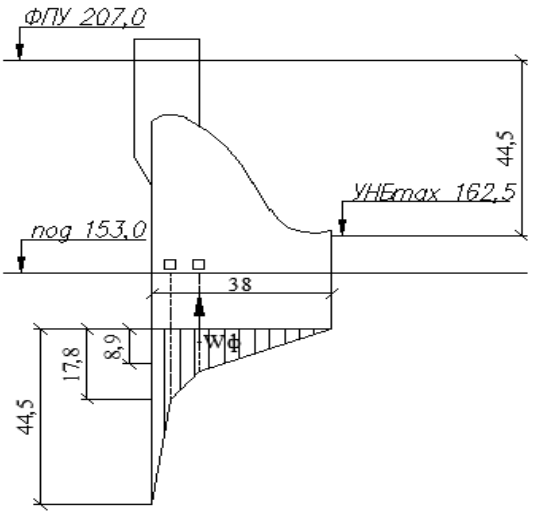


Рисунок 4.4 – Фильтрационное давление на подошву плотины для особого сочетания нагрузок и воздействий

4.6 Определение основных нагрузок на плотину

4.6.1 Вес плотины и быков

Вес водосливной части плотины (рис.4.5)

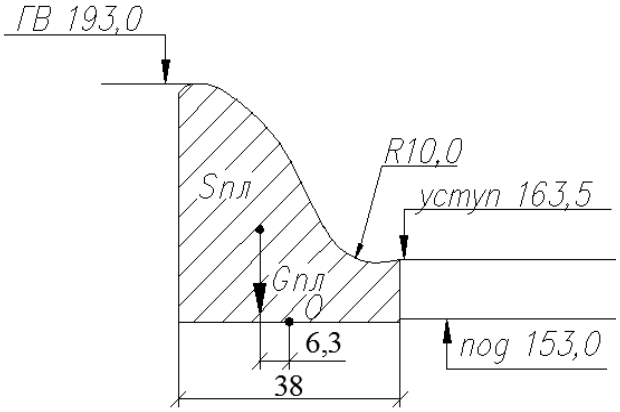


Рисунок 4.5 – Равнодействующая сила собственного веса плотины и ее плечо относительно центра подошвы

$$G_{\text{пл}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot b \cdot \gamma_{\text{б}}}{(b+\delta_{\text{б}})} \cdot \gamma_f = \frac{1176 \cdot 8 \cdot 24}{8+3} \cdot 0{,}9 = 18474 \text{ кН/м}, \quad (4.100)$$

где $S_{\text{пл}}$ – площадь поперечного сечения плотины, $S_{\text{пл}} = 1176\text{м}^2$;

b – ширина пролета,b=8 м (п4.2.1);

$\delta_{\text{б}}$ – толщина быка, $\delta_{\text{б}} = 3$ м (п.4.2.2);

$\gamma_{\text{б}}$ – плотность бетона, $\gamma_{\text{б}} = 24\text{кН/м}^3$.

Плечо равнодействующей веса водосливной плотины относительно центра ее подошвы $y_{\text{пл}} = 6{,}3$ м (рис.4.5).

Вес быка (рис.4.6)

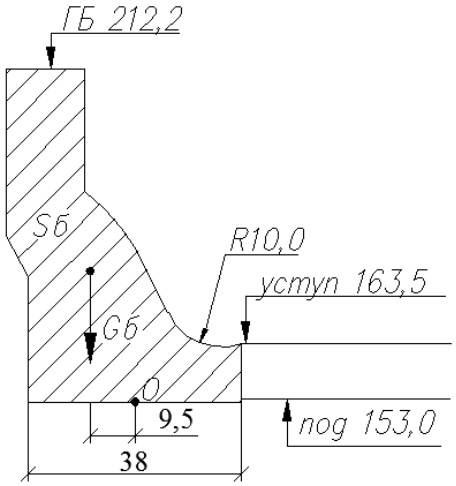


Рисунок 4.6 – Равнодействующая сила собственного веса быка и ее плечо относительно центра подошвы

$$G_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}} \cdot \delta_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}}}{(b+\delta_{\text{б}})} \cdot \gamma_f = \frac{1297{,}5 \cdot 3 \cdot 24}{8+3} \cdot 0{,}9 = 7844 \text{ кН/м}, \quad (4.101)$$

где $S_{\text{б}}$ – площадь поперечного сечения плотины, $S_{\text{пл}} = 1297{,}5\text{м}^2$;

Плечо силы веса быка относительно центра подошвы плотины $y_{\text{б}} = 9{,}5$ м (рис.4.6).

4.6.2 Вес плоского затвора

По формуле А.Р. Березинского:

$$Q_{\text{з}} = 0{,}055 \cdot f \cdot \sqrt{f} \cdot g = 0{,}055 \cdot 116 \cdot \sqrt{116} \cdot 9{,}81 = 674{,}1 \text{ кН}, \quad (4.102)$$

где f –площадь затвора,

$$f = (\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{ГВ} + 0{,}5) \cdot b = (207 - 193 + 0{,}5) \cdot 8 = 116 \text{ м}^2, \quad (4.103)$$

где ∇ГВ – отметка гребня водослива (п.4.2.2).

Вес затвора на 1 п.м длины секции:

$$q_{\text{з}} = \frac{Q_{\text{з}}}{b+\delta_{\text{б}}} = \frac{674{,}1}{8+3} = 61{,}3 \text{ кН/м} . \quad (4.104)$$

4.6.3 Сила гидростатического давления воды

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Горизонтальная составляющая силы со стороны верхнего бьефа:

$$W_{\text{в}}^{\text{г}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot (\nabla\text{НПУ} - \nabla\text{под}) \cdot \gamma_f = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (205 - 153)^2 \cdot 1{,}0 = \\ = 13520 \text{ кН}, \quad (4.105)$$

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

γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, $\gamma_f = 1{,}0$ [10].

Плечо силы горизонтальной составляющей гидростатического давления со стороны верхнего бьефа относительно центра подошвы $y_{w_{\text{в}}^{\text{г}}} = 16{,}6$ м.

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления со стороны нижнего бьефа:

$$W_{\text{н}}^{\text{г}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot (\nabla\text{УНБ}_{min} - \nabla\text{под})^2 \cdot \gamma_f = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (157{,}5 - 153)^2 \cdot 1{,}0 = \\ = 101{,}25 \text{ к}, \quad (4.106)$$

где $\nabla\text{УНБ}_{min}$ – отметка уровня нижнего бьефа при пропуске санитарного расхода, $\nabla\text{УНБ}_{min} = 157{,}5$ м.

Плечо силы горизонтальной составляющей гидростатического давления со стороны нижнего бьефа относительно центра подошвы $y_{w_{\text{н}}^{\text{г}}} = 0{,}8$ м.

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Горизонтальная составляющая силы со стороны верхнего бьефа:

$$W_{\text{в}}'^{\text{г}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot (\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{под})^2 \cdot \gamma_f = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (207 - 153)^2 \cdot 1{,}0 = \\ = 14580 \text{ кН}. \quad (4.107)$$

Плечо силы горизонтальной составляющей гидростатического давления со стороны верхнего бьефа относительно центра подошвы $y_{w'^{\text{г}}_{\text{в}}} = 18$ м.

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления со стороны нижнего бьефа:

$$W_{\text{н}}'^{\text{г}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot (\nabla\text{УНБ}_{max} - \nabla\text{под})^2 \cdot \gamma_f = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (162{,}5 - 153)^2 \cdot 1{,}0 = \\ = 451{,}25 \text{ кН}, \quad (4.108)$$

где $\nabla\text{УНБ}_{max}$ – отметка уровня нижнего бьефа при пропуске поверочного расхода, $\nabla\text{УНБ}_{max} = 162{,}5$ м.

Плечо силы горизонтальной составляющей гидростатического давления со стороны нижнего бьефа относительно центра подошвы $y_{w\prime_{\text{н}}^{\text{г}}} = 3{,}2$ м.

4.6.4 Равнодействующая взвешивающего давления

Основное сочетание нагрузок и воздействий

$$W_{\text{взв}} = \gamma_{\text{в}} \cdot \text{В} \cdot (\nabla\text{УНБ}_{min} - \nabla\text{под}) \cdot \gamma_f = 10 \cdot 38 \cdot (157{,}5 - 153) \cdot 1{,}0 = \\ = 1710 \text{ кН}. \quad (4.109)$$

Плечо силы взвешивающего давления относительно центра подошвы $y_{\text{взв}} = 0$ м.

Особое сочетание нагрузок и воздействий

$$W'_{\text{взв}} = \gamma_{\text{в}} \cdot \text{В} \cdot (\nabla\text{УНБ}_{max} - \nabla\text{под}) \cdot \gamma_f = 10 \cdot 38 \cdot (162{,}5 - 153) \cdot 1{,}0 = \\ = 3610 \text{ кН}. \quad (4.110)$$

Плечо силы взвешивающего давления относительно центра подошвы $y'_{\text{взв}} = 0$ м.

4.6.5 Сила фильтрационного давления

С помощью программы AutoCAD определили площадь эпюры $S_{\text{ф}}$ и использовали данные из п.4.5.1.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

$$W_{\text{ф}} = S_{\text{ф}} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot \gamma_f = 361{,}2 \cdot 10 \cdot 1{,}0 = 3612 \text{ кН}. \quad (4.111)$$

Плечо фильтрационного давления относительно центра подошвы $y_{\text{ф}} = 9{,}0$ м.

Особое сочетание нагрузок и воздействий

$$W'_{\text{ф}} = S'_{\text{ф}} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot \gamma_f = 338{,}2 \cdot 10 \cdot 1{,}0 = 3382 \text{ кН}. \quad (4.112)$$

Плечо фильтрационного давления относительно центра подошвы $y'_{\text{ф}} = 9{,}0$ м.

4.6.6 Давление грунта

Давление наносов

Так как река находится в средней части Урала, принимаем $h_{\text{н}} = 2$м.

Удельный вес наносов (суглинок) во взвешенном состоянии:

$$\gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} = \gamma_{\text{н}}^{\text{сух}} - \gamma_w.(1-n) = 18 - 10 \cdot (1-0{,}3) = 11 \text{ кН/м}^3, \quad (4.113)$$

где $\gamma_{\text{н}}^{\text{сух}} = 18\text{кН/м}^3$– удельный вес суглинка в сухом состоянии [9];

n=0,3 – пористость суглинка [9].

Давление наносов на вертикальную грань:

$$\text{P}_{\text{н}} = \gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{н}} \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{\text{н}}}{2}\right) = 11 \cdot 2 \cdot tg^2\left(45 - \frac{30}{2}\right) = 7{,}3 \text{ кН}, \quad (4.114)$$

где $\varphi_{\text{н}} = 30^{\circ}$–угол внутреннего трения суглинка в водонасыщенном состоянии [9].

Равнодействующая давления наносов будет равна:

$$\text{E}_{\text{н}} = 0{,}5 \cdot \text{P}_{\text{н}} \cdot h_{\text{н}} = 0{,}5 \cdot 7{,}3 \cdot 2 = 7{,}3 \text{ кН}. \quad (4.115)$$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы $\text{E}_{\text{н}} = 0{,}6$ м.

Активное давление грунта со стороны верхнего бьефа.

Активное давление действует в месте от дна до подошвы плотины, под эпюрой наносов. В верхней части ордината эпюры будет равняться ординате давления наносов:

$$\text{P}_1 = \gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{н}} \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_1}{2}\right) = 11 \cdot 2 \cdot tg^2\left(45 - \frac{45}{2}\right) = \\ = 3{,}8 \text{ кН/м}^2, \quad (4.116)$$

где φ_1– угол внутреннего трения гранита, $\varphi_1 = 45°$ [9].

Ординаты давления во втором слое грунтов:

$$\text{P}_2 = \left(\gamma_{\text{н}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{н}} + \gamma_{\text{гранит}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{гранит}}\right) \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_1}{2}\right), \quad (4.117)$$

$$\text{P}_2 = (11 \cdot 2 + 17{,}5 \cdot 2) \cdot \ tg^2\left(45 - \frac{45}{2}\right) = \ 9{,}8 \text{ кН/м}^2, \quad (4.118)$$

где $\gamma_{\text{гранит}}^{\text{взв}}$ – удельный вес гранита во взвешенном состоянии, $\gamma_{\text{гранит}}^{\text{взв}} = 30$,

$$\gamma_{\text{гранит}}^{\text{взв}} = \gamma_{\text{гранит}}^{\text{сух}} - \gamma_w \cdot (1-n) = 25 - 10 \cdot (1-0{,}25) = \\ = 17{,}5 \text{ кН/м}^3, \quad (4.119)$$

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

n=0,25–пористость для гранита [9].

Равнодействующая силы активного давления грунта равна площади эпюры:

$$\text{Е}_{\text{акт}} = S_{\text{эп}} \cdot \gamma_f = 13{,}6 \cdot 1{,}2 = 16{,}3 \text{ кН/м}^2. \quad (4.120)$$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы $\text{Е}_{\text{акт}} = 0{,}6$ м.
Пассивное давление грунта со стороны нижнего бьефа на ∇подошвы:

$$\text{Р}'_{\text{пн}} = \gamma^{\text{взв}}_{\text{гранит}} \cdot h_{\text{гр}} \cdot tg^2\left(45 + \frac{\varphi_1}{2}\right) = 17{,}5 \cdot 2 \cdot tg^2\left(45 + \frac{45}{2}\right) = \\ = 204 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}, \quad (4.121)$$

Равнодействующая пассивного давления грунта:

$$\text{Е}_{\text{пн}} = \frac{\text{Р}_{\text{пн}}'}{2} \cdot h_{\text{гр}} = \frac{204}{2} \cdot 2 = 204 \text{ кН}. \quad (4.122)$$

Плечо равнодействующей силы относительно центра подошвы $\text{Е}_{\text{акт}} = 0{,}6$ м.

4.6.7 Волновое давление

Равнодействующая волнового давления при основном и особом сочетании нагрузок и воздействий определяется по формуле А.П. Можевитинова [9]:

$$W_{\text{волн}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot h_{1\%} \cdot (\frac{\bar{\lambda}}{\pi} + \frac{h_0}{2}) \cdot \gamma_f, \quad (4.123)$$

где $\gamma_{\text{в}}$ - удельный вес воды;
γ_f - коэффициент надежности по нагрузке, $\gamma_f = 1{,}2$ [7].
Основное сочетание нагрузок и воздействий

$$h_0 = \frac{\pi h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}42^2}{2{,}6} = 0{,}2 \text{ м}, \quad (4.124)$$

где $\bar{\lambda}$ – средняя длина волны, $\bar{\lambda} = 2{,}6$ м (п.4.1);
$h_{1\%}$ – высота волны 1% обеспеченности, $h_{1\%} = 0{,}42$ м (п.4.1).
Равнодействующая волнового давления:

$$W_{\text{волн}} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}42 \cdot \left(\frac{2{,}6}{3{,}14} + \frac{0{,}2}{2}\right) \cdot 1{,}2 = 2{,}3 \text{ кН}. \quad (4.125)$$

Плечо силы волны относительно уровня покоя верхнего бьефа:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} \cdot h_{1\%} = \frac{2{,}6}{2 \cdot 3{,}14} - \frac{3}{8} \cdot 0{,}42 = 0{,}3 \text{ м}. \quad (4.126)$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

$$h_0 = \frac{\pi h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}3^2}{2{,}2} = 0{,}12 \text{ м}, \quad (4.127)$$

где $\bar{\lambda}$ – средняя длина волны, $\bar{\lambda} = 2{,}2$ м (п.4.1);

$h_{1\%}$ – высота волны 1% обеспеченности, $h_{1\%} = 0{,}3$ м (п.4.1).

Равнодействующую волнового давления:

$$W_{\text{волн}} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}3 \cdot \left(\frac{2{,}2}{3{,}14} + \frac{0{,}12}{2}\right) \cdot 1{,}2 = 2{,}1 \text{ кН}. \quad (4.128)$$

Плечо силы волны относительно уровня покоя верхнего бьефа:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} \cdot h_{1\%} = \frac{2{,}2}{2 \cdot 3{,}14} - \frac{3}{8} \cdot 0{,}3 = 0{,}24 \text{ м}. \quad (4.129)$$

4.7 Оценка прочности плотины

Расчет прочности бетонной плотины следует производить по методу предельных состояний первой группы (по непригодности к эксплуатации). Расчет плотины высотой до 60м производится на сокращённый состав нагрузок.

Нагрузки с учетом коэффициентов, направления их действия и плечи относительно центра подошвы плотины приведены в таблице 4.4. Моменты сил по часовой стрелке приняты со знаком «+», против со знаком «-», сжимающие напряжения со знаком «-», растягивающие со знаком «+».

Таблица 4.4 – Нагрузки, действующие на плотину

Обозначение силы	Направление силы	Основное сочетание нагрузок и воздействий			Особое сочетание нагрузок и воздействий		
		Сила, кН	Плечо, м	Момент, кН·м	Сила, кН	Плечо, м	Момент, кН·м
1	2	3	4	5	6	7	8
$W_{\text{в}}^{\text{г}}$	→	13520	16,6	224432	14580	18	262440
$W_{\text{н}}^{\text{г}}$	←	101,25	0,8	-81	451	3,2	-1443,2
$G_{\text{б}}$	↓	7844	9,5	-74518	7844	9,5	-74518
$G_{\text{пл}}$	↓	18474	6,3	-116386	18474	6,3	-116386
$W_{\text{взв}}$	↑	1710	0	0	3610	0	0
$W_{\text{ф}}$	↑	3312	9	29808	3082	7	21574
$\text{E}_{\text{н}}$	→	7,3	0,6	4	7,3	0,6	4
$\text{E}_{\text{ак}}$	→	16,3	0,6	10	11,8	0,6	10
$\text{E}_{\text{пн}}$	←	204	0,6	-122	204	0,6	-122
$W_{\text{волн}}$	→	2,3	0,3	1	2,1	0,24	1
$q_{\text{з}}$	↓	61,3		0	61,3		0
сумма		45252		63147	48332		91559

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

- для верховой грани:

Сумма всех вертикальных сил:

$$\mathrm{N} = G_{\text{пл}} + G_{\text{б}} + q_{\text{з}} - W_{\text{взв}} - W_{\text{ф}} = 18474 + 7844 + 61{,}3 - \\ -1710 - 3312 = 21357 \text{ кН}. \quad (4.130)$$

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_{\text{у}}^{u} = -\frac{N}{\mathrm{B}_{\text{пл}}} + \frac{6\sum \mathrm{M}}{\mathrm{B}_{\text{пл}}^{2}} = -\frac{21357}{38} + \frac{6 \cdot 63147}{38^{2}} = -300 \text{ кПа}; \quad (4.131)$$

где $\mathrm{B}_{\text{пл}}$ – ширина подошвы плотины (п.4.3.1);

$\sum \mathrm{M}$ – сумма моментов всех действующих сил относительно центра подошвы плотины.

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_{x}^{u} = \sigma_{y}^{u} m_{u}^{2} - \gamma_{w} H_{d}^{u} (1 - m_{u}^{2}) = (-300) \cdot 0^{2} - 10 \cdot 52 \cdot 1 = \\ = -520 \text{ кПа}, \quad (4.132)$$

где m_u - заложение верховой грани на уровне расчетного сечения;

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

$$H_{d}^{u} = \nabla\text{НПУ} - \nabla\text{под} = 205 - 153 = 52 \text{ м}. \quad (4.133)$$

Касательные напряжения:

$$\tau_{xy}^{u} = \left(\gamma_{w} H_{d}^{u} + \sigma_{y}^{u}\right) m_{u} = (10 \cdot 52 - 300) \cdot 0 = 0 \text{ кПа}. \quad (4.134)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_{1}^{u} = \sigma_{y}^{u} (1 + m_{u}^{2}) + \gamma_{w} H_{d}^{u} m_{u}^{2} = -300 \cdot (1 + 0^{2}) + 10 \cdot 52 \cdot 0 = \\ = -300 \text{ кПа}. \quad (4.135)$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_{\text{з}}^{u} = -\gamma_{w} \mathrm{H}_{d}^{u} = -10 \cdot 52 = -520 \text{ кПа}. \quad (4.136)$$

- для низовой грани:

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_{y}^{t} = -\frac{N}{\mathrm{B}_{\text{пл}}} - \frac{6\sum \mathrm{M}}{\mathrm{B}_{\text{пл}}^{2}} = -\frac{21357}{38} - \frac{6 \cdot 63147}{38^{2}} = -824 \text{ кПа}; \quad (4.137)$$

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^t m_t^2 - \gamma_в H_d^t (1 - m_t^2) = -824 \cdot 0^2 - 10 \cdot 4{,}5 \cdot 1 = -45 \text{ кПа}, \quad (4.138)$$

где m_t - заложение верховой грани на уровне расчетного сечения;

H_d^t – напор над расчетным сечением со стороны верхнего бьефа:

$$H_d^t = \nabla\text{УНБ}_{min} - \nabla\text{под} = 157{,}5 - 153 = 4{,}5 \text{ м}. \quad (4.139)$$

Касательные напряжения на низовой грани:

$$\tau_{xy}^t = -\left(\gamma_в H_d^t + \sigma_y^t\right) m_t = -(10 \cdot 4{,}5 - 824) \cdot 0 = 0 \text{ кПа}; \quad (4.140)$$

Максимальные сжимающие напряжения:

$$\sigma_3^t = \sigma_y^t (1 + m_t^2) + \gamma_в H_d^t m_t^2 = -824 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 4{,}5 \cdot 0^2 = = -824 \text{ кПа}; \quad (4.141)$$

Максимальные растягивающие напряжения:

$$\sigma_1^t = -\gamma_в H_d^t = -10 \cdot 4{,}5 = -45 \text{ кПа}; \quad (4.142)$$

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

- для верховой грани:

Сумма всех вертикальных сил:

$$N = G_{пл} + G_б + q_з - W_{взв} - W_ф = 18474 + 7844 + 61{,}3 - -3610 - 3082 = 19687 \text{ кН} \quad (4.143)$$

Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_{пл}} + \frac{6\sum M}{B_{пл}^2} = -\frac{19687}{38} + \frac{6 \cdot 91559}{38^2} = -138 \text{ кПа}; \quad (4.144)$$

где $B_{пл}$ – ширина подошвы плотины (п.4.3.1);

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

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u m_u^2 - \gamma_w H_d^u (1 - m_u^2) = -138 \cdot 0^2 - 10 \cdot 54 \cdot 1 = = -540 \text{ кПа}, \quad (4.145)$$

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

$$H_d^u = \nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{под} = 207 - 153 = 54 \text{ м}. \quad (4.146)$$

Касательные напряжения:

$$\tau_{xy}^u = \left(\gamma_w H_d^u + \sigma_y^u\right) m_u = (10 \cdot 54 - 138) \cdot 0 = 0 \text{ кПа}. \quad (4.147)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u (1 + m_u^2) + \gamma_w H_d^u m_u^2 = -138 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 54 \cdot 0 = \\ = -138 \text{ кПа}. \quad (4.148)$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w \text{H}_d^u = -10 \cdot 54 = -540 \text{ кПа}. \quad (4.149)$$

- для низовой грани:
Нормальные напряжения по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{\text{B}_{\text{пл}}} - \frac{6\sum\text{M}}{\text{B}_{\text{пл}}^2} = -\frac{19687}{38} - \frac{6 \cdot 91559}{38^2} = -899 \text{ кПа}; \quad (4.150)$$

Нормальные напряжения по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^t m_t^2 - \gamma_\text{в} H_d^t (1 - m_t^2) = -899 \cdot 0^2 - 10 \cdot 9{,}5 \cdot 1 = \\ = -95 \text{ кПа}, \quad (4.151)$$

где m_t - заложение верховой грани на уровне расчетного сечения;
H_d^t – напор над расчетным сечением со стороны нижнего бьефа:

$$H_d^t = \nabla\text{УНБ}_{max} - \nabla\text{под} = 162{,}5 - 153 = 9{,}5 \text{ м}. \quad (4.152)$$

Касательные напряжения на низовой грани:

$$\tau_{\text{xy}}^{\text{t}} = -\left(\gamma_\text{в} \text{H}_\text{d}^{\text{t}} + \sigma_{\text{y}}^{\text{t}}\right) \text{m}_{\text{t}} = -(10 \cdot 9{,}5 - 899) \cdot 0 = 0 \text{ кПа}; \quad (4.153)$$

Максимальные сжимающие напряжения:

$$\sigma_3^{\text{t}} = \sigma_{\text{y}}^{\text{t}} (1 + \text{m}_{\text{t}}^2) + \gamma_\text{в} \text{H}_\text{d}^{\text{t}} \text{m}_{\text{t}}^2 = -899 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 9{,}5 \cdot 0^2 = \\ = -899 \text{ кПа}; \quad (4.154)$$

Максимальные растягивающие напряжения:

$$\sigma_1^t = -\gamma_в H_d^t = -10 \cdot 9{,}5 = -95 \text{ кПа}; \quad (4.155)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Напряжения в теле плотины при основном и особом сочетаниях нагрузок и воздействий

Напряжения, кПа	Основное сочетание нагрузок и воздействий, кПа		Особое сочетание нагрузок и воздействий, кПа	
	верховая грань	низовая грань	верховая грань	низовая грань
σ_y	-300	-824	-138	-899
σ_x	-520	-45	-540	-95
τ_{xy}	0	0	0	0
σ_1	-300	-45	-138	-95
σ_3	-520	-824	-540	-899

4.8 Критерии прочности плотины

После определения напряжений для основного и особого сочетания нагрузок, необходимо проверить сооружение на прочность, должны выполняться следующие условия:

1.Во всех точках плотины:

$$\gamma_n \gamma_{lc} |\sigma_3| \leq \gamma_{cd} R_b \, , \quad (4.156)$$

где $\gamma_n = 1{,}25$ – коэффициент надежности по ответственности для сооружений I класса[7];

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);

σ_3 – главное максимальное сжимающее напряжение;

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

R_b– расчетное сопротивление бетона сжатию для марки бетона В20.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

- для верховой грани:

$$1{,}25 \cdot 1{,}0 \cdot 520 \leq 0{,}9 \cdot 11500 \text{ кН/м}^2, \quad (4.157)$$

$$650 \leq 10350 \text{ кН/м}^2; \quad (4.158)$$

- для низовой грани:

$$1{,}25 \cdot 1{,}0 \cdot 824 \leq 0{,}9 \cdot 11500 \text{ кН/м}^2, \quad (4.159)$$

$$1031 \leq 10350 \text{ кН/м}^2. \quad (4.160)$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

- для верховой грани:

$$1{,}25 \cdot 0{,}9 \cdot 540 \leq 1{,}0 \cdot 11500 \text{ кН/м}^2, \quad (4.161)$$

$$608 \leq 11500 \text{ кН/м}^2; \quad (4.162)$$

- для низовой грани:

$$1{,}25 \cdot 0{,}9 \cdot 899 \leq 1{,}0 \cdot 11500 \text{ кН/м}^2, \quad (4.163)$$

$$1011 \leq 11500 \text{ кН/м}^2. \quad (4.164)$$

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

2.На верховой грани плотины не должно быть растягивающих напряжений $\sigma_{\text{у}}^{u} < 0$:

- для основного сочетания нагрузок и воздействий: $-300 < 0$;
- для особого сочетания нагрузок и воздействий: $-138 < 0$.

Условие прочности выполняется.

3.В зоне верховой грани плотины:

$$\left|\sigma_{\text{у}}^{u}\right| \geq 0{,}25 \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot H_{d}^{u}, \quad (4.165)$$

где H_{d}^{u} - напор над расчетным сечением со стороны верхнего бьефа (п.4.7).

- для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$300 \geq 0{,}25 \cdot 10 \cdot 52, \quad (4.166)$$

$$300 \geq 130; \quad (4.167)$$

- для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$138 \geq 0{,}25 \cdot 10 \cdot 54, \quad (4.168)$$

$$138 \geq 135. \quad (4.169)$$

4.9 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:

$$\frac{R \cdot \gamma_{cd}}{F \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n. \quad (4.170)$$

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Силы, сопротивляющиеся сдвигу (удерживающие):

$$R = \left(G_{\text{пл}} + G_{\text{б}} + q_{\text{з}} - W_{\text{взв}} - W_{\text{ф}}\right) \cdot tg\varphi + C \cdot \omega = (18474 + 7844 + 61{,}3 - 1710 - 3312) \cdot 0{,}8 + 150 \cdot 38 = 19866 \text{ кН}, \quad (4.171)$$

где $tg\varphi$ - коэффициент трения для грунта основания (гранит), $tg\varphi = 0{,}8$[12];

С – коэффициент сцепления грунта основания, с=150 кПа[10];

ω–горизонтальная проекция площади подошвы плотины, при расчете на 1 п.м:

$$\omega = \text{В}_{\text{пл}} \cdot 1 = 38\text{м}, \quad (4.172)$$

где $\text{В}_{\text{пл}}$ - ширина подошвы плотины (п.4.3.1).

Сдвигающие силы:

$$F = W_{\text{в}}^{\text{г}} - W_{\text{н}}^{\text{г}} + W_{\text{волн}} + \text{Е}_{\text{н}} + \text{Е}_{\text{ак}} - \text{Е}_{\text{пн}} = \\ = 13520 - 101{,}25 + 2{,}3 + 7{,}3 + 16{,}3 - 204 = 13241 \text{ кН}. \quad (4.173)$$

Тогда:

$$\frac{19866 \cdot 0{,}90}{13241 \cdot 1{,}0} \geq 1{,}25, \quad (4.174)$$

$$1{,}35 > 1{,}25. \quad (4.175)$$

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

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Силы, сопротивляющиеся сдвигу (удерживающие):

$$R = \left(G_{\text{пл}} + G_{\text{б}} + q_{\text{з}} - W_{\text{взв}} - W_{\text{ф}}\right) \cdot tg\varphi + C \cdot \omega = (18474 + 7844 + 61{,}3 - 3610 - 3082) \cdot 0{,}8 + 150 \cdot 38 = 18697 \text{ кН}. \quad (4.176)$$

Сдвигающие силы:

$$F = W_{\text{в}}^{\text{г}} - W_{\text{н}}^{\text{г}} + W_{\text{волн}} + \text{Е}_{\text{н}} + \text{Е}_{\text{ак}} - \text{Е}_{\text{пн}} =$$
$$= 14580 - 451 + 2{,}1 + 7{,}3 + 16{,}3 - 204 = 13951 \text{ кН}. \quad (4.178)$$

Тогда:

$$\frac{18901 \cdot 0{,}9}{13951 \cdot 0{,}9} \geq 1{,}25, \quad (4.179)$$

$$1{,}35 > 1{,}25. \quad (4.180)$$

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

Сооружение удовлетворяет требованиям прочности и устойчивости.

5 Организация строительства

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

Так как здание ГЭС при проектировании будет находится в русле реки, принимаем русловую компоновку.

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 гребенку.

Строительство гидроузла разбиваем на 5 этапов:

1 этап– возведение сооружений, необходимых для перекрытия русла;

2 этап – перекрытие русла; наращивание сооружений до отметок, необходимых для начала наполнения водохранилища;

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

5.1.1 Первый этап

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

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

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

Часть русла, перекрытая перемычками, составляет 60% ширины русла в створе.

Основные строительные работы 1 этапа:

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

– откачка воды из котлована первой очереди;

– врезка в скалу левого берега;

– бетонирование глухих секций №1-11 и 31-39;

– устройство глубокой цементационной завесы;

– бурение дренажных скважин в основании плотины;

– монтаж затворов для донных отверстий и необходимого на этом этапе гидромеханического оборудования водосливной плотины.

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

Цель расчета – обеспечить безопасный пропуск строительных расходов и

определить оптимальные размеры перемычек первой очереди.

Перемычки относятся к временным сооружениям 4 класса капитальности. Ежегодную расчетную вероятность превышения расчетных максимальных расходов воды при сроке эксплуатации перемычек до 3-х лет принимаем равной – 10% [14, п.8.2].

Расчетный строительный расход 10% обеспеченности составляет $Q_{стр} = 1491\,{}^{м^3}/_{с}$, при этом глубина воды в реке равна 5 м.

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

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

Таким образом, отметки гребня продольной и верховой перемычек первой очереди:

– для верховой перемычки:

$$H_{вп} = h_{нб} + Z + a = 5 + 0{,}84 + 1 = 6{,}94 \approx 7\ м; \quad (5.1)$$

– для продольной перемычки:

$$H_{пп} = h_{нб} + Z = 5 + 1 = 6\ м, \quad (5.2)$$

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

Z - значение повышения уровня воды перед верховой перемычкой;

$a = 1м$ – конструктивный запас.

Значение повышения уровня воды перед верховой перемычкой:

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{V_c^2}{2 \cdot g} - \frac{V_0^2}{2 \cdot g} = \frac{1}{0{,}8} \cdot \frac{6{,}4^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot \frac{2{,}5^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}84м\ , \quad (5.3)$$

где φ – коэффициент скорости, для трапецеидальных перемычек, φ = 0,8;

V_0–бытовая скорость воды в реке;

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

Бытовая скорость воды в реке:

$$V_0 = \frac{Q_{стр}}{w_0} = \frac{1491}{586{,}5} = 2{,}5м/с= \quad (5.4)$$

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

$$V_c = \frac{Q_{стр}}{w_c} = \frac{1491}{234{,}6} = 6{,}4м/с, \quad (5.5)$$

где w_c - площадь поперечного сечения суженной части русла при $Q_{стр}$ принимаем 40 % от w_0.

Положение перемычек при секционировании русла ведется по границам включенных в котлован сооружений с учетом дополнительных площадок (от основания перемычки до бровки котлована) размером:

- до продольной перемычки - не менее 5-10 м;
- до поперечных перемычек - не менее 20-30 м.

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

Тип и конструкция перемычек

Типы перемычек в зависимости от их положения в котловане и предъявляемых к ним требованиям принимаются земляные.

Поперечное сечение перемычек

Типовой профиль земляных перемычек – трапецеидальный (рис.5.1 и 5.2).

Ширина по гребню – 7 м.

Откосы назначаются в зависимости от угла естественного откоса отсыпаемых грунтов и метода возведения сооружения, принимаем:

- верховой откос 1:2;
- низовой откос 1:1.

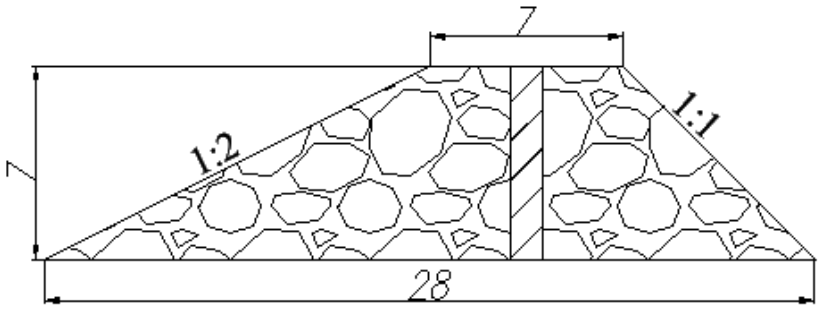


Рисунок 5.1 – Верховая перемычка

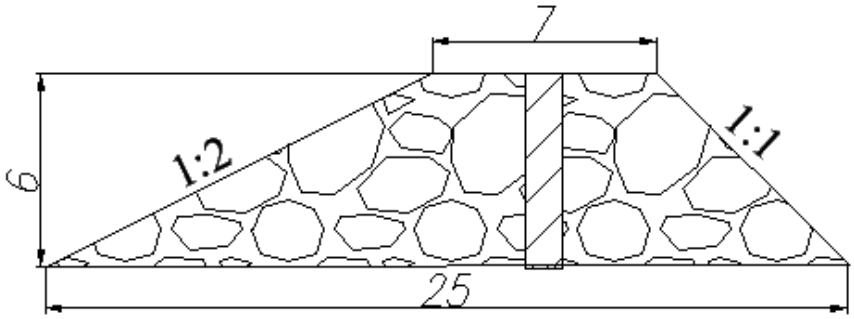


Рисунок 5.2 – Продольная перемычка

Площади поперечного сечения перемычек :

- $\omega_{пп}$=108,8м^2;
- $\omega_{вп}$=135,8 м^2.

Суммарный объём верховой и продольной перемычек первой очереди :

$$V =(\omega_{пп}\cdot L_{пп}+\omega_{вп}\cdot L_{вп})/2=(108,8\cdot 58+135,8\cdot 118,1)/2=11174,2\ м^3. \quad (5.6)$$

Отметка гребня низовой перемычки:

$$H_{нп} = h_{нб} + a = 5 + 1 = 6 \text{ м}. \quad (5.7)$$

Длину низовой перемычки $L_{нп}$=118,1 м.

Размеры поперечного сечения $\omega_{нп}$=108,8 м^2.

Наибольшая площадь поперечного сечения низовой перемычки $\omega_{нп}$=135,8м^2.

Объём низовой перемычки :

$$V = \omega \cdot L_{нп}/2 = (135{,}8 \cdot 118{,}1)/2 = 8020 \text{ м3}. \quad (5.8)$$

Время начала работ по возведению перемычек – сентябрь.

Время, необходимое для возведения всех перемычек:

$$t_{пер} = \Sigma V_{пер} / J_{пер} = 19200/800 = 24 \text{ сут}, \quad (5.9)$$

где $\Sigma V_{пер}$ – суммарный объем всех перемычек;

$J_{пер}$ – интенсивность возведения грунтовой перемычки, принимается 800 м3/сут.(отсыпка призм, уплотнение, крепление верхового откоса).

Время, необходимое для возведения всех перемычек: 1 месяц.

Осушение котлована 1-й очереди

Срок начала работ: сентябрь 2017 года.

Площадь котлована: 6850 м^2.

Глубина воды в котловане при среднем расходе воды в реке Q = 1491 м3/с составляет h=5м.

Объём воды, который требуется откачать из котлована V=34250 м3.

Для откачки воды из котлована принимаются консольные насосы 3К-13, имеющие производительность W=40 м3/час при высоте подъема воды до 20 м [2, табл.15-42] в количестве 8 шт.

Время откачки с использованием n насосов:

$$\approx t = \frac{V}{W*n} = \frac{34250}{40*8} = 108 \approx 14 \text{ сут}. \quad (5.10)$$

Интенсивность понижения уровня воды:

$$\frac{h}{t} = \frac{5}{11} = 0{,}5 \text{ (м/сутки)}. \quad (5.11)$$

Интенсивность откачки не превышает допустимой величины 0,5-0,7м/сут.

Рационально эти же насосы применять и в дальнейшем для поддержания котлована в осушенном состоянии.

Разработка котлована под водосливную плотину

Размеры котлована в плане составляют 58 х120, глубина 7 м.

Объем вынимаемого грунта: 48720 м^3.

Экскаватор ЭО-5122А для разработки грунта основания с вместимостью ковша $q_{ков}$ =1,6м^3.

Производительность цикла экскаватора:

$$П_{эч}= q_ц \cdot n_ц \cdot k_в = 1{,}2 \cdot 450 \cdot 0{,}75 = 405, \quad (5.12)$$

где $q_ц = q_{ков} k_н / k_р = 1{,}6 \cdot 0{,}9 / 1{,}2 = 1{,}2$

$k_н$=0,9 - коэффициент наполнения ковша;

kр=1,2- коэффициент разрыхления грунта;

kв =0,75 - коэффициент использования внутрисменного рабочего времени;

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

$n_ц = 3600/t_{цэк} = 3600/60 = 60$ – число циклов в час.

Время разработки котлована под водосбросную плотину:

$$t_{выем} = \frac{V_{выем}}{П_{эч}} = \frac{36120}{60} = 602 \quad (5.13)$$

Округляем полученное значение кратно суткам ≈ 30 сут.

Машина для транспортировки грунта принимается КамАЗ 65222-010.

Расстояние от места выемки грунта до места разгрузки 1,5 км.

Скорости транспортирования грунта по строительной дороге: $v_{гр}$= 20 км/ч - груженый ; $v_{пор}$ = 30 км/ч - порожний .

Время одного цикла транспортировки грунта:

$$t_{ца}/c = \frac{L_т}{v_{гр}} + \frac{L_т}{v_{пор}} + (t_р + t_з) = \frac{1{,}5}{20} + \frac{1{,}5}{30} + (0{,}04 + 0{,}16) = 0{,}325ч = 19{,}5мин, \quad (5.14)$$

где $t_р$ - время разгрузки;

$t_з$ - время загрузки;

$(t_р + t_{мон})$=2,5мин=0,04ч при грузоподъемности транспортного средства более 12т;

$$t_з = t_{цэк} \cdot n_{ков} = 1{,}34 \cdot 7 = 9{,}38мин = 0{,}16ч; \quad (5.15)$$

$$n_{ков} = \frac{Q_{сом}}{p_г \cdot q_к \cdot К_н} = \frac{19500}{2100 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}9} = 6{,}4 \approx 7 \quad (5.16)$$

где $p_г$=2100 кг/м3 - плотность грунта(суглинок).

Количество транспортных машин:

$$N_{а/с} = \frac{t_{ца}}{t_{цэ} \cdot nков} = \frac{19{,}5}{1{,}34 \cdot 7} = 2{,}1. \quad (5.17)$$

Количество транспортных машин округляется до 3.

Бетонные работы в нижней части водосливной плотины (рис.5.3)

Основные характеристики водосливной плотины:

– нижняя часть водосливной имеет форму параллелепипеда;

– ширина подошвы плотины B=38 м;
– высота бетонируемой части водосливной плотины h=12 м;
– длина бетонируемого участка плотины L=115 м;
Определяем общий объём бетонируемой части водосливной плотины:

$$V_{б.р.}=B\cdot L\cdot h=38\cdot 115\cdot 12=52440\ м^3. \quad (5.18)$$

Интенсивность бетонирования $J_{б.р.}=4700\ м^3/мес.$
Время бетонирования $t=V_{б.р.}/J_{б.р}=52440/4700=11{,}2\approx 12мес.$

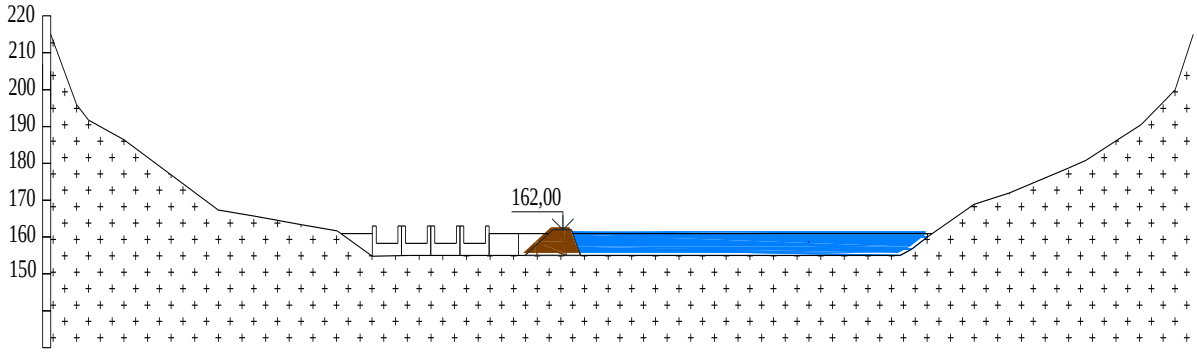


Рисунок 5.3 – Поперечный разрез плотины на первом этапе строительства

Строительные расходы на втором этапе будем осуществлять через гребенку.
Необходимая отметку ВБ :

$$\nabla П + H_0=156+5=161м\ . \quad (5.19)$$

Отметку гребня банкета 162м.
Высоту банкета 7 м.
Очередность строительства и пропуск строительных расходов
Расчетный строительный расход принимается равным 10 % обеспеченности, в зависимости от класса капитальности сооружения и срока временной эксплуатации (более 2х лет) постоянных сооружения. Образуется котлован 1-й очереди, сужается русло. Строительные расходы пропускаются через суженное русло. В котловане 1-й очереди возводится водосливная плотина (возводится частично, а потом достраивается). Сужение русла составляет 60% для данного проекта. В суженном русле определяется повышение уровней с целью определения отметки продольной и поперечной перемычек.

$$Z=\frac{1}{\varphi^2}\cdot\frac{V_c^2}{2\cdot g}-\frac{V_0^2}{2\cdot g}=\frac{1}{0{,}8}\cdot\frac{6{,}4^2}{2\cdot 9{,}81}\cdot\frac{2{,}5^2}{2\cdot 9{,}81}=0{,}84м \quad (5.20)$$

где φ – коэффициент скорости, для трапецеидальных перемычек φ = 0,85;
v_0–бытовая скорость воды в реке;
v_c –бытовая скорость воды в реке и скорость потока в суженном русле.

Бытовая скорость воды в реке:

$$v_0 = \frac{Q_{стр}}{w_0} = \frac{1491}{586,5} = 2,5 \text{ м/с}, \quad (5.21)$$

где w_0 - площадь поперечного сечения русла реки до стеснения при $Q_{стр}$, $w_0 = 586,5 \text{ м}^2$.

Скорость потока в суженном русле:

$$v_c = \frac{Q_{стр}}{w_c} = \frac{1491}{234,6} = 6,4 \text{ м/с}, \quad (5.22)$$

где w_c - площадь поперечного сечения суженной части русла при $Q_{стр}$(можно принять 40% от w_0), $w_c = 234,6 \text{ м}^2$.

Высота верховой перемычки первой очереди:

$$H_{ВП} = h_{нб} + z + a = 5 + 0,84 + 1 = 6,84 \text{ м}. \quad (5.23)$$

где $h_{нб}$ - глубина воды соответствующая $Q_{стр} = 1491 \text{ м}^3/\text{с}$;

a - строительный запас.

$$\nabla ГВП = \nabla дно + H_{ВП} = 155 + 6,84 = 161,84 \text{ м}. \quad (5.24)$$

Высота низовой перемычки первой очереди:

$$H_{НП} = h_{нб} + a = 5 + 1 = 6,0 \text{ м}. \quad (5.25)$$

$$\nabla ГНП = \nabla дно + H_{НП} = 155 + 6 = 161,0 \text{ м}. \quad (5.26)$$

Пропуск строительных расходов через гребенку

Определяем необходимое количество отверстий в гребенке:

$$n = \frac{Q_{стр}}{v_н \cdot h_{нб} \cdot (b+\delta_б)} = \frac{1491}{5 \cdot 5 \cdot (11+3)} = 4,3 \approx 5, \quad (5.27)$$

где $v_н$- не размывающая скорость для скалы – 5 м/с;

b - ширина быка, b=10 м;

$\delta_б$ - толщина быков, $\delta_б = 3$м;

Полный напор :

$$H_{01} = \left(\frac{Q_{стр}}{m \cdot n \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{1491}{0,35 \cdot 5 \cdot 10 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}}\right)^{\frac{2}{3}} = 7,2 \text{ м}, \quad (5.28)$$

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \left(\frac{\varepsilon_{ру} + (n-1) \cdot \varepsilon_б}{n}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{H_{01}}{b}, \quad (5.29)$$

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2 \cdot \left(\frac{1+(5-1)\cdot 0{,}7}{5}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{7{,}2}{10} = 0{,}88 \quad (5.30)$$

Критическая глубина :

$$h_{кр} = \left(\frac{1{,}1 \cdot Q_{стр}^2}{(n \cdot b)^2 \cdot g}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{1{,}1 \cdot 1491^2}{(5 \cdot 10)^2 \cdot 9{,}81}\right)^{\frac{1}{3}} = 4{,}5 \text{ м.} \quad (5.31)$$

Глубина воды на пороге :

$$h_{п} = h_{нб} - h_{пор} = 5 - 0{,}5 = 4{,}51 \text{ м.} \quad (5.32)$$

Так как $h_{п} = 4{,}5$ м $> h_{кр} = 4{,}51$ м, то водослив подтоплен.

$$H_{02} = \left(\frac{Q_{стр}}{m \cdot n \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \varepsilon}}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{1491}{0{,}35 \cdot 5 \cdot 10 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}88}}\right)^{\frac{2}{3}} = 7{,}5 \text{ м,} \quad (5.33)$$

Скорость подхода к водосливу :

$$v_0 = \frac{Q_{стр}}{(УНБ + z - дно) \cdot (B + (n-1) \cdot \delta_{\delta})}, \quad (5.34)$$

$$v_0 = \frac{1491}{(161 + 0{,}84 - 155) \cdot (32 + (4-1) \cdot 3)} = 5{,}3 \text{ м/с.} \quad (5.35)$$

Геометрический напор:

$$H = H_{02} - \left(\frac{\alpha \cdot v_0^2}{2 \cdot g}\right) = 7{,}5 - \left(\frac{1{,}1 \cdot 5{,}3^2}{2 \cdot 9{,}81}\right) = 5{,}9 \text{ м,} \quad (5.36)$$

где α - коэффициент Кориолиса.

Высота верховой перемычки второй очереди:

$$H_{ВП} = h_{пор} + H + a = 0{,}5 + 5{,}9 + 1 = 7{,}4 \text{ м.} \quad (5.37)$$

$$\nabla ГВП = 162{,}4 \text{ м.} \quad (5.38)$$

5.1.2 Второй этап

Основные работы второго этапа (рис.5.4):

– разбирают низовую перемычку первой очереди и затапливают котлован;

– разбирают верховую перемычку первой очереди (вода пропускается через временные 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

Верховая перемычка – банкет, выполняется трапециевидного сечения с заложением откосов (рис.5.1):

- верхового 1:2
- низового 1:1.

Ширина по гребню 7 м.

Площадь поперечного сечения банкета составляет $\omega = 135{,}8$ м^2,

Длина банкета составляет $L_{бан}$=118,1 м.

Таким образом, объем банкета равен :

$$V=L_{бан}\cdot\omega/2 =118{,}1\cdot135{,}8/2=8019 \text{ м3} \quad (5.39)$$

Конструкция низовой перемычки второй очереди аналогична низовой перемычке первой очереди, длина $L_{нз}$ =58 м.

Объём низовой перемычки:

$$V= \omega \cdot L_{нз}/2=108{,}8\cdot58/2=3155{,}2 \text{ м3}. \quad (5.40)$$

Время необходимое для возведения банкета и низовой перемычки раздельно:

$$t_{бан} = V_{бан} / J_{бан}= 10 \text{ сут}; \quad (5.41)$$

$$t_{пер} = V_{пер} / J_{пер} = 4 \text{ сут}. \quad (5.42)$$

Осушение котлована 2-й очереди

Площадь котлована определили в программе AutoCad.

Глубина воды в котловане при среднем расходе воды в реке Q =1491 м3/с (для месяца перекрытия) равна h =5 м.

Таким образом, объём воды, который требуется откачать из котлована V=34250 м3.

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

Время откачки воды с использованием 10-ти насосов :

$$t = 43 \text{ часов} \approx 6 \text{ суток}. \quad (5.43)$$

Интенсивность откачки воды составит 0,49 м/сутки, что меньше допустимой величины 0,5 м/сутки.

Эти же 10 насосов будем применять и в дальнейшем для поддержания котлована в осушенном состоянии.

Разработка котлована под водосливную плотину и здание ГЭС

Размеры котлована под станционную часть плотины и глухие секции №№ 19÷39 в плане составляют 58х120, глубина 7м. Таким образом, объем вынимаемого грунта V=58х120х7=300720 м^3.

Размеры котлована под здание ГЭС в плане составляют 58х120, средняя глубина 7м. Таким образом, объем вынимаемого грунта равен 58х120х7 =300720м^3.

Для разработки скального грунта основания (гранит), используем экскаватор ЭО-5122А (производительность цикла $П_{эч}$=800м^3/час была определена выше).

Определим время разработки котлована под станционную часть плотины:

$$t_{выем}=\frac{V_{выем}}{П_{эч}} = 376 \text{ часа} \approx 47 \text{ суток.} \quad (5.44)$$

Определим время разработки котлована под здание ГЭС:

$$t_{выем}=\frac{V_{выем}}{П_{эч}} = 376 \text{ часа} = 47 \text{ суток.} \quad (5.45)$$

Бетонные работы в нижней части станционной плотины и глухих секций

Нижняя часть станционной плотины - секции №№ 19 ÷ 30 и глухих секций №№ 1 ÷ 11 и №№ 31 ÷ 39, имеет форму параллелепипеда.

Ширина нижней части станционной плотины и глухих секций B= 38 м.

Высота бетонируемого участка станционной плотины h= 15 м

Длина бетонируемого участка плотины L= 430 м

Объём V=B·L·h= 38 · 430 ·15 =245100 м^3.

Время бетонирования t= 1022 = 24 мес.

Бетонные работы в подводной части здания ГЭС

Подводная часть здания ГЭС имеет форму параллелепипеда.

Ширина подводной части здания ГЭС B = 24 м.

Высота подводной части здания ГЭС h = 7 м.

Длина подводной части здания ГЭС LГЭС = 132 м.

Объем V = B·L·h = 24 · 132 · 7 = 22176 м^3.

Время бетонирования t= 3 мес.

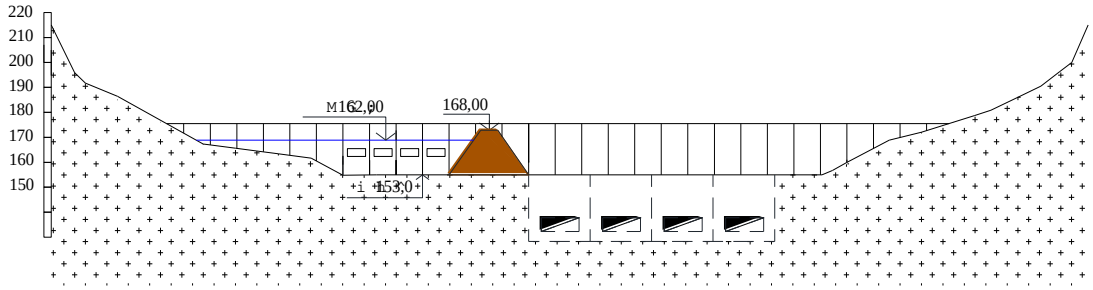


Рисунок 5.4 – Поперечный разрез плотины на втором этапе строительства

5.1.3 Третий этап

Разбирают низовую и продольную перемычки 2-й очереди.

Разрабатывают котлованы под право- и левобережные глухие плотины - секции №№ 1-11 и 31-39.

Проводят наращивание плотины по всему напорному фронту до отметки 212 м (рис.5.5).

Устраивают глубокую цементационную завесу в основании секций №12. Под этими же секциями бурят дренажные скважины в основании плотины.

Разработка котлованов под береговые участки плотины

Правобережный котлован, секции 27 ÷ 39:

Длина 144 м, характерная ширина 38, глубина 7 м. Объем правобережного котлована V=38305 м3.

Время на разработку грунта: $V/П_{эч}$ = 9 суток.

Левобережный котлован, секции 1 ÷ 38: длина 286 м, характерная ширина 38, глубина 7 м.

Объем правобережного котлована: V=76076 м3.

Время на разработку грунта: $V/П_{эч}$ = 18 суток.

Бетонные работы по всему напорному фронту между отметками 180 и 215

Плотина возводится до проектных отметок.

В секциях №№ 12-15 формируют водосливную грань и носок-трамплин.

Расчетный строительный расход пропускают через готовые водосбросные секции №№ 12-15.

Наполняют водохранилище до НПУ. Поочередно пускают все гидроагрегаты ГЭС. Бетонируемый участок плотины имеет форму призмы.

Наращивание водосливной плотины: какие секции и до каких отметок. монтаж поверхностных затворов на секциях №№ 12-15.

Наибольшая высота участка бетонирования 35 м.

Длина бетонируемого участка плотины по гребню $L_{пл}$= 430 м.

Ширина сечения в нижней части 28 м.

Ширина сечения в верхней части 20 м.

Наибольшая площадь поперечного сечения участка плотины: $\omega_п$= 840 м2.

Объём бетона: $V=\omega_п \cdot L_{пл}$= 361200 м3.

Принимаем интенсивность бетонирования 30000 $м^3$.

Время бетонирования t= 12 мес.

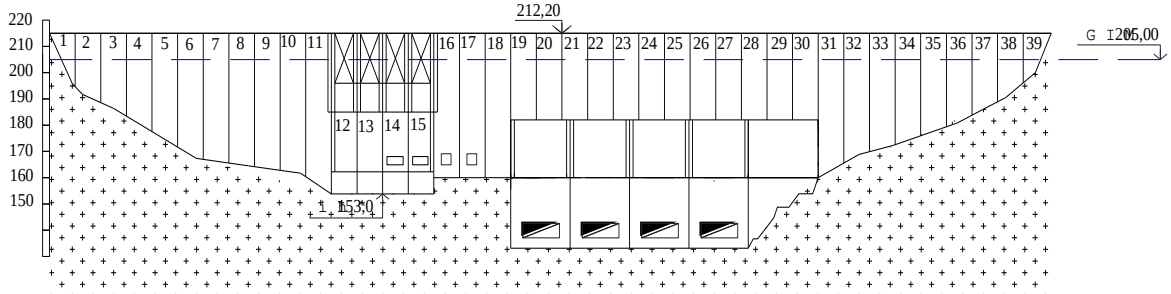


Рисунок 5.5 – Поперечный разрез плотины на пятом этапе строительства

6 Экология гидроузла

6.1 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства

При строительстве Заречного ГУ выполняются следующие виды работ:

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

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

Воздействие на окружающую среду в период строительства:

− создание водохранилища, трансформация ландшафтов, климатические изменения;

− подготовка ложа водохранилища, в том числе сводка 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.

Создание водохранилища будет сопровождаться следующими процессами:

1. Формирование новых процессов водного, ледового и термического режимов;
2. Формирование нового гидрохимического режима и изменение качества воды Чусовой в нижнем бьефе Заречного гидроузла;
3. 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;

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

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

6.2 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.

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

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.

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

1.3 Получение разрешений на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

1.4 Получение разрешений на сброс загрязняющих веществ в водные объекты;

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

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

1.7 Организация и проведение производственного экологического контроля

2 Санитарно- технические

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

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

2.3 Передача отработанных масел на обезвреживание специализированной организации;

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

2.5 Организация контроля за соблюдением установленных нормативов ПДВ

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

2.7 Соблюдение режима хозяйствования в водоохранной зоне;

2.8 Передача хозяйственно бытовых сточных вод специализированной организации на обезвреживание;

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

.

6.3 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации

В период эксплуатации Заречного 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.

Согласно СП от 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения питьевого назначения» требуется выполнение мероприятий по не ухудшению качества воды реки Чусовая от сбросов Заречной ГЭС ниже по течению реки.

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

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

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

7 Оценка объемов реализации энергии и расходов

7.1 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации

7.1.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии

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

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

Особенности электроэнергии:

–электроэнергию нельзя «складировать»;

–электроэнергия это продукт, поставляемый многими производителями в общие электрические сети;

–электроэнергия это товар первой необходимости.

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

Оценка объемов реализации электроэнергии представлена в таблице 7.1.

Таблица 7.1. – Оценка объемов реализации электроэнергии в первые годы эксплуатации

Наименование показателя	Единица измерения	Год реализации проекта				
		2022	2023	2024	2025	2026
Установленная мощность	МВт	714	714	714	714	714
Число часов использования установленной мощности	Часы	8640	8640	8640	8640	8640
Выработка электроэнергии	МВт·ч	6220800	6220800	6220800	6220800	6220800
Расход электроэнергии на собственные нужды	%	2	2	2	2	2
Расход электроэнергии на собственные нужды	МВт·ч	124416	124416	124416	124416	124416
Объем реализации электроэнергии	МВт·ч	6096384	6096384	6096384	6096384	6096384
Тариф на электроэнергию	руб/МВт·ч	1183	1219	1253	1286	1318
Выручка от реализации электроэнергии	млн.руб.	601	619	636,6	653,3	669,6
НДС к выручке	млн.руб	91,7	94,5	97,1	99,7	102,1

7.1.2 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 ПАО «РусГидро», дочерними и зависимыми обществами ПАО «РусГидро»,дочерними и зависимыми обществами ДЗООАО «РусГидро».

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

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

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

Текущие расходы по гидроузлу включают в себя:

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

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

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

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

Эксплуатационные расходы представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Эксплуатационные расходы гидроузла

Наименование	Ставка, тыс.руб/Мвт	Сумма, млн.руб.
Расходы на оплату труда	137,2	183,74
Прочие	163,8	197,28
Итого по ГЭС		381,02

Отчисления на ремонт основных производственных фондов определяются исходя из величины их стоимости, удельные знания расходов на ремонт в процентах, представлены в таблице 7.3.

Таблице 7.3 – Удельные значения расходов на ремонт

%

Этап проекта	Величина
2017-2021	0,04
2022-2031	0,06
2032-2041	0,08

Рассчитываются услуги регулирующих организаций исходя из ставок в соответствии единым сценарным условиям РусГидро, результат представлен в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Расходы на услуги регулирующих организаций

Наименование	Ставка	Сумма, млн.руб.
ОАО «СО – ЕЭС»	135,38 тыс.руб/Мвт	97,47
НП АТС (администратор торговой системы)	0,0001097 тыс.руб/Мвт·ч	6,82
ЦФР (центр финансовых расчетов)	0,000318 тыс.руб/Мвт·ч	1,97
Итого		10,69

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

Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2023	2024	2025	2026	2027
Амортизационные отчисления, млн.руб.	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93
Наименование	2023	2024	2025	2026	2027

Окончание таблицы 7.5

Наименование	2023	2024	2025	2026	2027
Расходы на страхование, млн.руб.	1,92	1,87	1,81	1,75	1,70
Эксплуатационные затраты, млн.руб.	381,02	381,02	381,02	381,02	381,02
Расходы на ремонт производственных фондов, млн.руб.	1,44	1,40	1,36	1,32	1,27
Расходы на услуги регулирующих компаний, млн.руб.	106,28	106,28	106,28	106,28	106,28
Налог на воду, млн.руб.	27,99	29,86	29,86	29,86	29,86
Итого, млн.руб.	524,59	526,36	526,26	526,16	526,06

Для большей наглядности текущие затраты по гидроузлу представлены в виде диаграммы (рис.7.1).

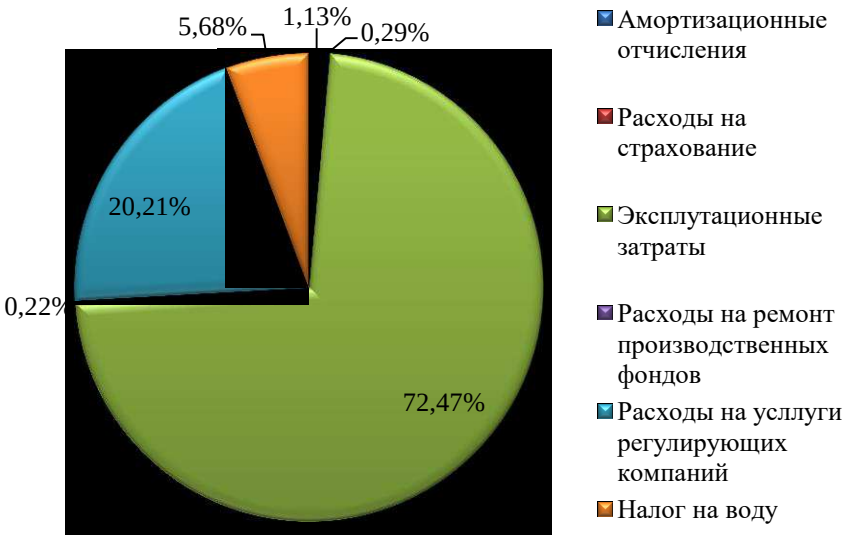


Рисунок 7.1 – Структура текущих затрат по гидроузлу, %

7.1.3 Налоговые расходы

Налоговые расходы представляют собой отток денежных средств после завершения строительства Заречной 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 – 2,2%
– 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 7.6.

Таблица 7.6 – Налоговые расходы

Наименование	Год реализации проекта				
	2023	2024	2025	2026	2027
Налог на прибыль, млн.руб.	1220,78	1335,86	1372,11	1407,93	1442,74
НДС, млн.руб.	1118,96	1222,78	1255,38	1287,59	1318,90
Взносы в социальные фонды, млн.руб.	18,13	18,13	18,13	18,13	18,13
Налог на имущество, млн.руб.	4,71	4,23	4,09	3,97	3,84
Итого, млн.руб.	2362,57	2580,99	2649,72	2717,61	2783,60

Структура налогов представлена на рисунке 7.2.

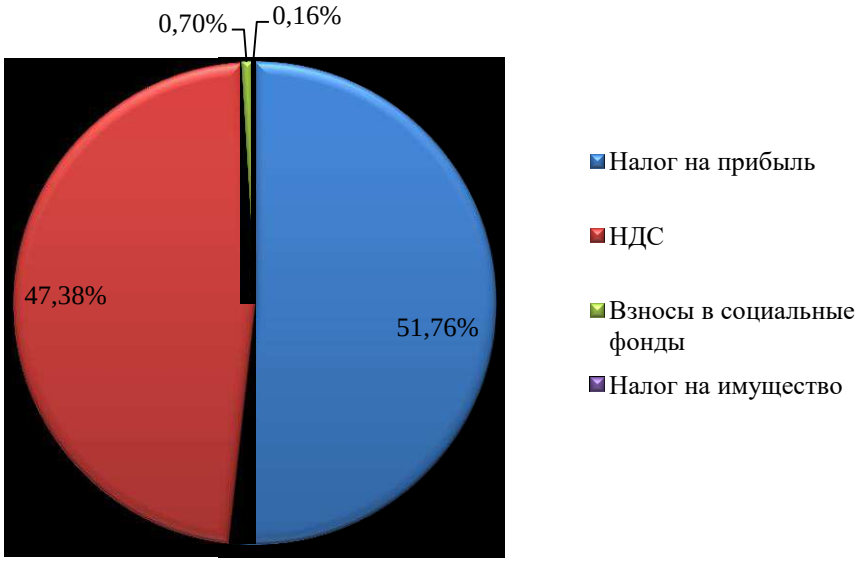


Рисунок 7.2 – Структура налогов, %

7.2 Оценка суммы прибыли от реализации электроэнергии и мощности

Прибыль является конечным финансов 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 7.7 и изображена на рисунке 7.3.

Таблица 7.7 – Годовая прибыль в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2023	2024	2025	2026	2027
Выручка (нетто), млн.руб.	6622,71	6808,73	6989,40	7168,18	7341,67
Текущие расходы, млн.руб.	524,59	526,35	526,26	526,16	526,06
EBITDA (Валовая прибыль), млн.руб.	6098,12	6282,37	6463,14	6642,02	6815,61
EBIT(прибыль от налогообложения), млн.руб.	6098,12	6282,37	6463,14	6642,02	6815,61
Скорректированный налог на прибыль, млн.руб.	1219,62	1256,47	1292,63	1328,40	1363,12
NOPAT (чистая прибыль), млн.руб.	4878,49	5025,90	5170,52	5313,62	5452,49
Ставка налога на прибыль,%	20	20	20	20	20

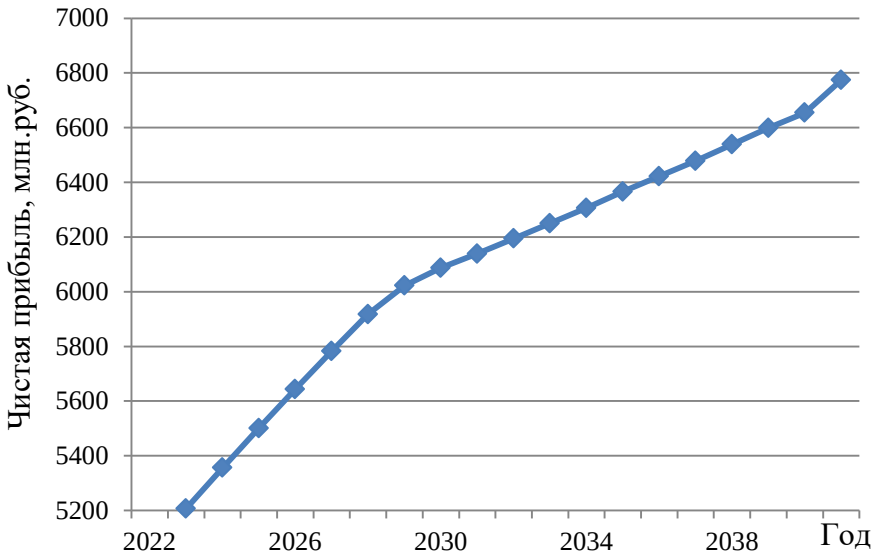


Рисунок 7.3 – Чистая прибыль, млн. руб.

7.3 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.»)

7.3.1 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 Заречной ГЭС составляет 20лет, 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.

7.3.2 Коммерческая эффективность

Цель проведения расчёта коммерческой эффективности проекта является расчёт показателей, которые представлены в таблице 7.8.

Таблица7.8 – Показатели эффективности реализации проекта «Заречная ГЭС на реке Чусовая»

Наименование	Значение
Ставка дисконтирования	11,6
Дисконтированный период окупаемости - DPB, мес	68
Чистый приведенный доход – NPV, млн.руб	24689,9
Индекс прибыльности – PI, руб.	1,82
Себестоимость эл.энергии, руб/Квт·ч	0,14
Удельные капиталовложения, руб/кВт	91314,1

7.3.3 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 7.9.

Таблица 7.9 – Предполагаемые налоговые поступления в федеральный и региональные бюджеты

Наименование	2023	2024	2025	2026	2027
В федеральный бюджет, млн.рублей	2385,85	2606,63	2675,48	2743,50	2809,62
В региональный бюджет, млн.рублей	4,71	4,23	4,09	3,97	3,84
Итого налоговых поступлений, млн.рублей	2390,56	2610,86	2679,58	2747,47	2813,46

7.4 Анализ чувствительности

Типы риска инвестиционного проекта:

1) рыночные - неопределенность объемов реализации электроэнергии;
2) капитальные - возможность неудачного конструктивного решения, следствием которого является изменения затрат в строительство;
3) операционные - неопределенность хода проекта в его продуктивный период;
4) правовые (политический, юридический, суверенный) возможность изменения правовой среды, в которой осуществляется бизнес;
5) финансовые (процентный, валютный) - неопределенность обменных и процентных ставок на финансовых рынках.

Наиболее значимы для проекта рыночные, капитальные и операционные риски. Соответствующие основные параметры финансовой модели перечисленным рискам приведены в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Риски и соответствующие параметры финансовой модели

Риск	Параметры финансовой модели
Рыночный	Объем продаж
Капитальный	Капитальные затраты
Операционный	Операционные расходы

Основным методом исследования рисков является анализ чувствительности - метод оценки влияния основных параметров финансовой модели на результирующий показатель.

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

а) Объема инвестиций;

б) Цена сбыта.

Пределы изменения рассматриваемых факторов определялись экспертно.

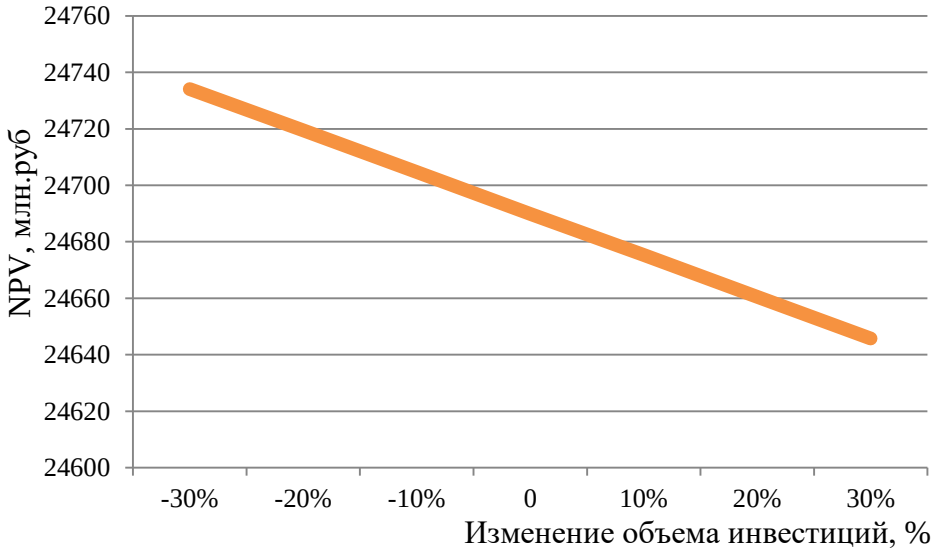


Рисунок 7.4 – Изменение суммы NPVв зависимости от изменения объёма инвестиций

Вывод: Увеличение объема инвестиций - уменьшение величины NPV (рис.7.4).

Рисунок 7.5 – Изменение суммы NPV в зависимости от изменения цены сбыта

Вывод: Увеличение цены сбыта – увеличение величины NPV(рис.7.5).

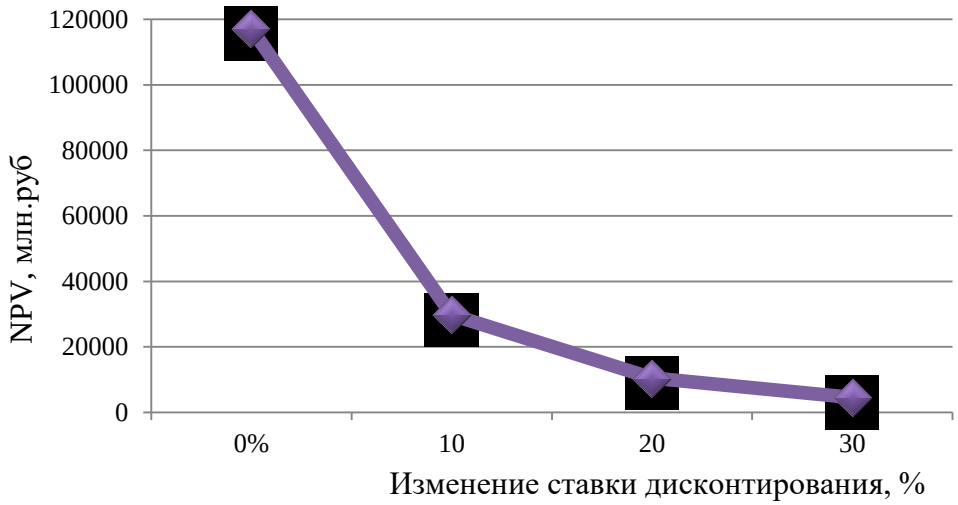


Рисунок 7.6 – Изменение суммы NPVв зависимости от изменения ставки дисконтирования

Вывод: Увеличение ставки дисконтирования – уменьшение величины NPV (рис.7.6).

8 Технология монтажа каркаса машинного зала

В состав работ по монтажу каркаса машинного зала ГЭС входят следующие работы:

- монтаж металлических колонн;
- монтаж связей;
- монтаж балки;
- монтаж плит перекрытий;
- монтаж механического оборудования (мостового крана).

Монтаж конструкций состоит из следующих операций:

- подготовка мест установки сборных конструкций;
- строповка и подъем с необходимым перемещением в пространстве, ориентировании и установке с временным закреплением;
- расстроповка;
- окончательная выверка и закрепление;
- снятие временных креплений;
- заделка стыков и швов.

До начала работ должны быть выполнены следующие работы:

- разбивка осей здания;
- возведение подводной части машинного зала;
- складирование элементов.

Бетонные и монтажные работы по возведению каркаса машинного зала выполняются с помощью башенного крана КБГС – 630, а также с помощью автобетононасосов.

8.1 Краткая характеристика каркаса машинного зала

Высота помещения машинного зала от пола до низа выступающих конструкций перекрытия 12,75 м, что больше минимального 2,2 м.

Высота проезда до низа конструкций составляет 12 м, что больше минимальной высоты в 4,2 м. Размеры ворот в свету для наземного транспорта приняты с превышением габаритов транспортных средств (в загруженном состоянии) на 0,2 м по высоте и 0,6 м по ширине При дистанционном и автоматическом открывании ворот обеспечена также возможность открывания их во всех случаях вручную..

В здании предусмотрен кран грузоподъемностью 350т.

Галереи, площадки и лестницы для обслуживания грузоподъемных кранов спроектированы в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, утвержденными Госгортехнадзором

Выходы из галерей и потерн предусмотрены вне зоны работы подъемно – транспортного оборудования.

Ширина машинного зала составляет 24 м, длина 132 м с учетом монтажной площадки, пролет колонн 6 м, размер агрегатного блока составляет 12,6 м в диаметре.

8.2 Ведомость монтируемых элементов сборных конструкций

Для составления ведомости монтируемых элементов сборных конструкций необходимо выполнить схематические планы, разрезы сооружения.

Таблица 8.1 – Ведомость монтируемых элементов

Наименование элемента	Марка элемента	Кол-во элементов на все здание	Масса одного элемента, т	Вес элементов на все здание
Колонна	К1	53	1,2	63,6
Колонна фахверка	КФ1	53	1,2	63,6
Связи вертикальные	СВ1	20	1,1	22
Подкрановая балка	ПБ1	44	1,375	60,5
Мостовой кран	КМ г/п 350/50	2	3,42	6,84
Плита покрытия	ПГ6	176	2,8	492,8

8.3 Ведомость объёмов работ

Подсчеты объёмов работ сведены в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Ведомость объёмов работ

Наименование работ/процессов	Ед.изм.	Количество на машинный зал
Транспортирование конструкций	100 т	3,48
Разгрузка конструкций	100 т	3,48
Монтаж колонн	шт	106
Сварка стыков	1 м	223
Монтаж вертикальных связей	шт	20
Сварка стыков	1 м	50
Монтаж подкрановых балок	шт	44
Заделка стыков	100 п.м.	31,7
Покрытие антикоррозионной защитой	10 п. м.	32

Окончание таблицы 8.2

Наименование работ/процессов	Ед.изм.	Количество на машинный зал
Монтаж мостового крана	шт	2
Заделка стыков	100 п.м.	22
Покрытие антикоррозионной защитой	10 п.м.	16
Монтаж плит покрытия	шт	176
Заделка стыков	100 п.м.	24
Покрытие антикоррозионной защитой	10 п.м.	32

Ведомость объёмов работ составлена в соответствии с ведомостью монтируемых элементов и заданием.

8.4 Выбор методов монтажа конструкций

Для монтажа конструкций каркаса здания ГЭС применяем те же башенные краны, с помощью которых ведут бетонные работы, краны при этом расположены за пределами поперечного сечения здания с двух сторон.

Монтаж выполняется свободным методом, при котором наводку конструкции на опору осуществляют монтажники.

В зависимости от последовательности установки конструктивных элементов применяем комбинированный (смешанный) метод монтажа..

Комбинированный метод представляет собой сочетание дифференцированного и комплексного методов монтажа. В отличие от методов способы представляют собой характерные технологические решения по монтажу, зависящие от вида и размеров конструкций, условий строительства и применяемых монтажных машин. Существуют следующие основные способы монтажа: наращиванием, подращиванием, подъемом со сложным перемещением, поворотом, поворотом со скольжением, надвижкой, навесной сборкой, вертикальным подъемом или опусканием и др.

Дифференцированный метод монтажа предусматривает последовательную установку всех однотипных конструкций в пределах здания или участка монтажа и только после этого — установку конструкций другого типа, т.е. сначала монтируют колонны по всему зданию, подкрановые балки, затем фермы и элементы покрытия.

Комплексный метод предполагает последовательный монтаж разнотипных конструкций в пределах одной или нескольких смежных ячеек здания, образующих жесткую устойчивую систему. Так например,

первоначально устанавливают четыре колонны, затем последовательно две подкрановые балки, две фермы и элементы покрытия.

8.5 Выбор основных монтажных приспособлений и грузозахватных устройств

При монтаже строительных конструкций используют грузозахватные приспособления (стропы, траверсы) для подъема элементов. Траверсы следует использовать только для подъема длинномерных конструкций, где невозможно применить обычные стропы.

Выбор грузозахватных приспособлений при монтаже конструкций одноэтажного здания производят для каждого конструктивного элемента здания. При этом стремятся использовать одно и то же приспособление для подъема нескольких конструкций близких по размерам и одинаковых или разных по весовым характеристикам.

Расчет длины выбранных стропов и подбор диаметра тросов следует производить для наибольшего по массе и габаритам конструктивного элемента из группы конструкций, для подъема которых будет использоваться строп. Расчет стропов рекомендуется выполнять по разрывному усилию.

Усилие, возникающее в одной ветви стропа, определяется по формуле:

$$S = \frac{10 \cdot Q}{cos\varphi \cdot m} \cdot \frac{10 \cdot Q}{m \cdot M}, \quad (8.1)$$

где S - усилие, возникающее в одной ветви, кН;

φ - угол отклонения от вертикали, допускается не более 45^0;

Q - масса поднимаемой конструкции, т;

m - количество ветвей стропа;

М - коэффициент зависящий от угла наклона ветвей к вертикали (при $\varphi = 0$, М=1; при $\varphi = 30°$, М=1,15; при $\varphi = 45°$, М=1,42).

Затем определяется разрывное усилие в ветви стропа по формуле:

$$P = S \cdot \alpha, \quad (8.2)$$

где P – разрывное усилие в ветви стропа, кН;

α - коэффициент запаса прочности (принимается для стропа с инвентарными грузозахватами α<6, для стропов с креплением груза обвязкой α=8). Определив разрывное усилие, выбираем тип и диаметр каната.

При выборе строповочных устройств следует руководствоваться литературой [23], [24].

Выбранные строповочные устройства сводим в ведомость грузозахватных приспособлений (табл.8.3).

Таблица 8.3 – Ведомость грузозахватных приспособлений

Наименование грузозахватных приспособлений	Для каких конструкций применяется	Грузоподъемность, т	Собственный вес, т	Высота строповки, м
Строп четырехветвевой 4СК- 10.0/4000 (5000;6300), Шифр 29700-102; -109. : 1- звено Рт2-10; 2-крюк К1-4; 3-строп ВК-4.0/4000 (5000; 6000)	плит перекрытий	10	0,899 0,967 1,051	4,0 5,0 6,3
Траверса Тр-16-0 Шифр 29700-32;-34;-104;-112;-113. : 1- строп 2СТ-16.0/5000 (6300; 8000; 10000; 12500); 2- траверса; 3-подстропок ПП 3/2000 (3200)	Крайние колонны	16	320	1,7
Строп четырехветвевой 4СК-10/4000 Шифр 29700-14;-102;-103;-108;-109	подкрановая балка	10	0,138 (0,147)	7,8 (5,3)

Графы таблицы заполняются по каталогам грузозахватных приспособлений [23], [24] ,[25].

8.6 Определение параметров монтажных кранов

Монтаж строительных конструкций осуществляется с помощью различных строительных машин, основными из которых являются монтажные краны.

Наиболее часто применяют 2 типа кранов:

- башенные краны;
- передвижные стреловые краны.

Выбор монтажных кранов состоит из двух этапов.

На первом этапе необходимо сделать выбор типа кранов для монтажа определенного здания. Основными исходными данными для выбора типов кранов являются:

- объёмно-планировочное решение и габариты здания;
- вес монтируемых конструкций, их проектное положение в плане и по высоте;
- методы производства монтажных работ;
- технические характеристики монтажных машин.

На втором этапе следует определить требуемые технические параметры выбранного типа кранов, необходимые для монтажа конкретного здания.

Основными техническими параметрами крана являются: грузоподъемность (Q), высота подъема крюка (H) и вылет стрелы (l).

Требуемая грузоподъёмность крана (Q^{mp}) определяется из условия монтажа наиболее массивного элемента по формуле:

$$Q^{\text{тр}} = P_{\text{э}}^{max} + P_c + P_{\text{о}}, \tag{8.3}$$

где $P_э$max - масса наиболее массивного элемента, т;

P_c − масса строповочного устройства, т;

P_0 - масса оснастки, т.

Высоту подъёма крюка над уровнем стоянки башенного крана определяют согласно рисунку 8.1.

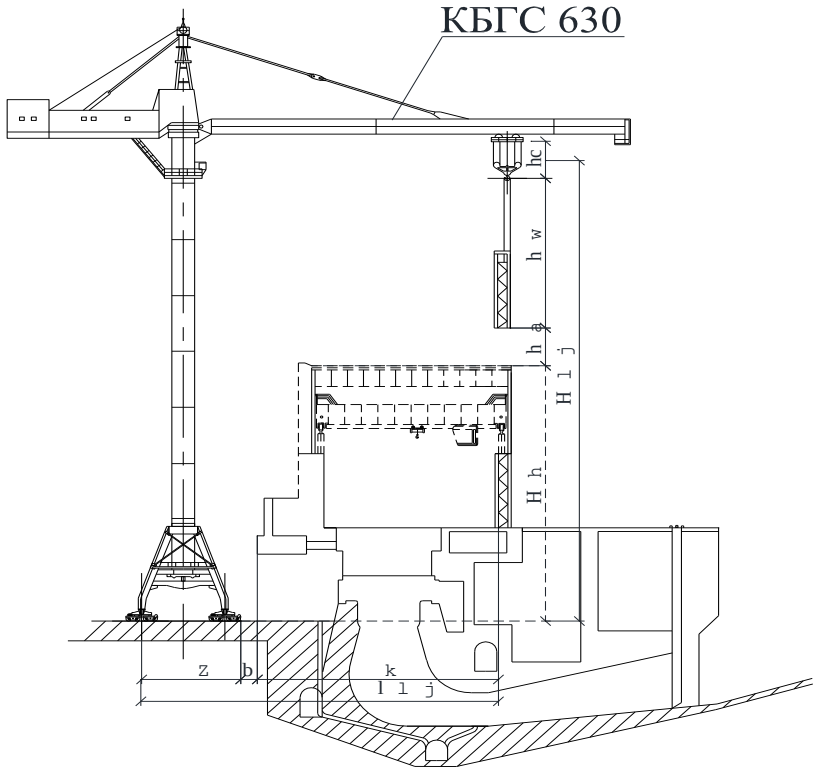


Рисунок 8.1 – Схема для определения технических параметров башенного крана

Требуемая высота подъема крюка *($H_{тр.}$)* определяется из условия монтажа наиболее высоко расположенного элемента:

$$H_{\text{тр}} = \text{H}_0 + h_{\text{з}} + h_{\text{э}} + h_{\text{с}}, \tag{8.4}$$

где H_o - превышение опоры монтируемого элемента над уровнем стоянки башенного крана (обычно принимают равной высоте здания), м;

$h_з$ - запас по высоте для обеспечения безопасности монтажа (не менее 0,5м), м;

$h_э$ - высота элемента при монтаже перед установкой в проектное положение , м;

h_c - высота строповки элемента (от верха элемента до крюка), м;

Требуемый вылет крюка (l^{mp}) определяется для наиболее удаленного от крана элемента по формуле

$$l^{\text{тр}} = \frac{a}{2} + b + c, \qquad (8.5)$$

где a – ширина кранового пути, м;

b - расстояние от кранового пути до ближайшей выступающей части здания, м (принимается не менее 2,5 метра);

c - расстояние от центра тяжести наиболее удаленного элемента до выступающей части здания со стороны крана, м.

После расчета требуемых параметров крана по справочникам [26], [27] определяют соответствующий кран , у которого фактические параметры были бы не менее требуемых по расчету.

Требуемые параметры для самоходного стрелового крана подсчитываются для всех монтируемых элементов в отдельности. Результаты подсчётов заносят в таблицу 8.4.

Таблица 8.4 –Данные для подсчета параметров кранов

Элементы	Исходные данные							Определяемые параметры монтажных кранов		
	$P_э$, т	P_c, т	P_o, т	h_c, м	H_o, м	$h_э$, м	b, м	$H^{тр}$, м	$l^{тр}$, м	$Q^{тр}$, т
Колонна	1,2	0,3	-	4,0	34,6	22,0	2,0	62,0	43	1,23
Подкрановая балка	1,375	0,138	-	7,8	25,3	2,6	2	35,7	43,7	1,513
Плита покрытия	2,8	0,3	-	4,0	34,6	0,2	2	38,8	32,4	3,1
Мостовой кран	3,42	1,05	-	4	30,75	4,65	2,0	30,75	33,2	4,47

На основании аналитически найденных параметров кранов по таблицам и по графикам грузоподъёмности, вылета и высоты подъёма крюка по [26], [27] подобрали кран, рабочие параметры которые несколько больше требуемых.

8.7 Организация и технология монтажа конструкций здания

Технологию монтажа всех монтируемых элементов:

- подготовительные работы;
- организация доставки и складирования конструкций;
- организация работы на захватке и внутри бригады;
- последовательность монтажа и технология процесса монтажа отдельных конструктивных элементов;
- требования к качеству монтажных работ.

При разработке последовательности монтажа, необходимо учитывать применяемую монтажную оснастку, приспособления и принятый порядок монтажа отдельных конструктивных элементов, исходя из следующих положений:

- колонны в стаканы фундаментов монтируют по рядам.

Монтаж производить с предварительной раскладкой конструкций у места установки в зоне действия крана.

При разработке технологии монтажа конструкций использовали технологическую карту на монтаж конструкций и литературой [21], [22], [24], [25].

8.8 Контроль качества монтажных работ

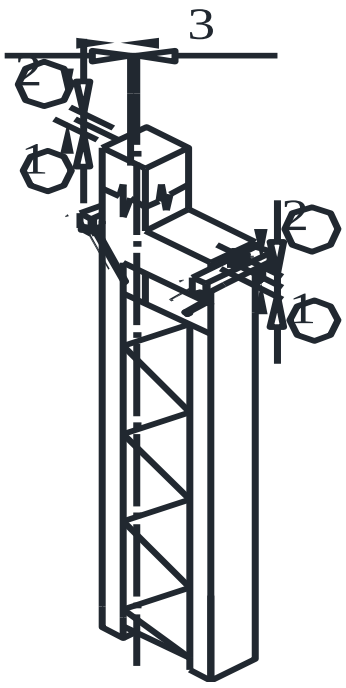


Рисунок 8.2 – Схема контроля качества монтажных работ колонны

Допуски при монтаже металлических колонн в соответствии с требованиями СНиП:

1. Разность отметок верха смежных колонн или опорных площадок (кронштейнов, консолей) ± 10мм

2. Разность отметок верха колонн или опорных площадок в пределах выверяемого участка: при контактной установке 12+2, где - порядковый номер яруса при установке по маякам 10 мм

3. Смещение осей колонн зданий в верхнем сечении от вертикали при высоте колонн Н:

- в метрах до 10 м ± 10 мм
- свыше 10 м 0,001 Н, но не более 35 мм

Контроль качества монтажа сведен в таблицу 8.5.

Таблица 8.5 – Контроль качества монтажных работ

Лица, осуществляющие контроль качества	Операции, подлежащие контролю	Состав контроля	Способ контроля	Время контроля	Лица, привлекаемые к контролю работы	Актируемые работы
Производитель работ	Подготовительные работы	Правильность складирования	Визуально	До начала монтажа		
	Подготовка мест установки колонн	Отметка дна стакана фундамента	С помощью нивелира	До начала монтажа	Геодезист	
	Установка колонн	Надежность строповки, вертикальность установки, соосность; отметки опорных площадок; временное крепление	Визуально; с помощью нивелира; с помощью теодолита	В процессе монтажа	Геодезист	
	Приварка металлических деталей	Качество сварных швов	Визуально	В процессе монтажа	В случае необходимости лаборатория	+
	Антикоррозийная защита металлических деталей	Качество нанесения антикоррозийного слоя	Визуально	В процессе монтажа	В случае необходимости лаборатория	+

Окончание таблицы 8.5

Лица, осуществляющие контроль качества	Операции, подлежащие контролю	Состав контроля	Способ контроля	Время контроля	Лица, привлекаемые к контролю работы	Актируемые работы
Производитель работ	Замоноличивание колонн	Тщательность замоноличивания	Визуально	В процессе монтажа		+
	Подготовительные работы (прием конструкций)	Наличие паспортов, чертежей, геометрические размеры, внешние дефекты, нанесение разбивочных осей, рисок, размеры площадок опирания, правильность расположения закладных деталей	Визуально; с помощью стального метра	До начала монтажа		
Мастер	Подготовка мест установки колонн	Очистка стаканов, размеры стакана фундамента; наличие рисок на фундаменте	Визуально, с помощью стального метра	До начала монтажа		
	Установка монтажной оснастки	Точность фиксирования оснастки	Визуально	В процессе монтажа		
	Приварка металлических деталей	Соответствие проекту; варка электродов; размеры швов	Визуально	В процессе монтажа	Лаборатория	
	Замоноличивание колонн в фундаментах	Марка, консистенция бетонной смеси, тщательность уплотнения	Визуально, с помощью стандартного конуса	В процессе монтажа	Лаборатория	

8.9 Калькуляция трудовых затрат

Основанием для составления калькуляции трудовых затрат (табл.8.6) является ведомость объёмов работ (табл. 8.2).

Таблица 8.6 – Калькуляция трудовых затрат

Наименование работ	Ед. изм.	Объем работ	Шифр ЕНиР	Машины и механизмы		Состав звена			Норма времени, маш.часа	Затраты		Норма времени, чел.часа	Затраты	
				наименование	марка	профессия	разряд	кол-во человек в звене		маш.часа	маш.смены		чел.часа	чел.дней
Транспорти-рование конструкций	100т	8	Е1-5	кран	КБГС-630	машинист	6	1	-	-	-	1,6	12,8	1,6
Разгрузка конструкций	100т	8	Е1-5			машинист	6	1	-	-	-	1,6	12,8	1,6
Монтаж колонн	шт	106	Е5-1-9			монтажник	6	1	1,15	121,9	15,2	5,7	604,2	60
Сварка стыков	1м	223	Е4-1-17	ручная сварка	-	электро-сварщик	5	1	-	-	-	0,56	124,8	15,6
Монтаж вертикальных связей	шт	20	Е5-1-9	кран	КБГС-630	монтажник	6	1	1,15	0,86	2,15	5,7	114	14,3
Сварка стыков	1м	50	Е4-1-17	ручная сварка	-	электро-сварщик	5	1	-	-	-	0,56	28,0	3,5

Окончание таблицы 8.6

Монтаж подкрановых балок	шт	44	Е5-1-9	кран	КБГС-630	монтажник	6	1	1,15	0,68	2,15	4,68	205,9	25,7
Заделка стыков	100 п.м	31,7	Е4-1-26	-	-	футеровщик	3	1	-	-	-	64	2029	200
Покрытие антикор-розионной защитой	10 п.м	32	Е27-15	-	-	футеровщик	3	1	-	-	-	0,86	27,5	3,5
Монтаж мостового крана	шт	2		кран	КБГС-630	монтажник	6	1	1,15	2,3	0,3	5,7	11,4	1,43
Заделка стыков	100 п.м	22	Е4-1-26	-	-	футеровщик	3	1	-	-	-	64	1408	170
Покрытие антикор-розионной защитой	10 п.м.	16	Е27-15	-	-	футеровщик	3	1	-	-	-	0,86	13,8	2
Монтаж плит покрытия	шт	176		кран	КБГС-630	монтажник	6	1	1,15	202,4	25,3	5,7	1003	100
Заделка стыков	100 п.м	24	Е4-1-26	-	-	футеровщик	3	1	-	-	-	64	1536	180
Покрытие антикор-розионной защитой	10 п.м	32	Е27-15	-	-	футеровщик	3	1	-	-	-	0,86	27,5	3,5

8.10 График производства монтажных работ

Нормативная продолжительность работ (t_0):

$$t_0 = \frac{T_M}{n_{\text{см}} \cdot N_{\text{раб}}}, \quad (8.6)$$

где T_M – трудоемкость операций, чел.дн;

$n_{\text{см}}$ – чисто смен;

$N_{\text{раб}}$ – количество человек, работающих в день.

График производства монтажных работ (табл.8.7) строится на основании таблицы 8.6.

Таблица 8.7 – График производства монтажных работ

Наименование работ	Кол-во ед.	Прод-ть выполн-я, смен	Рабочие дни																			
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Транспортирование конструкций	8	1																				
Разгрузка конструкций	8	1																				
Монтаж колонн	106	10																				
Сварка стыков	223	3																				
Монтаж вертикальных связей	20	3																				
Сварка стыков	50	3																				
Монтаж подкрановых балок	44	6																				
Заделка стыков	31,7	6																				
Покрытие антикоррозионной защитой	32	4																				
Монтаж мостового крана	2	2																				
Заделка стыков	22	3																				
Покрытие антикоррозионной защитой	16	2																				
Монтаж плит покрытия	176	5																				
Заделка стыков	24	3																				
Покрытие антикоррозионной защитой	32	2																				

8.11 Безопасность труда при производстве монтажных работ

Монтажные работы являются наиболее опасными из всего комплекса строительно-монтажных работ, так как связаны с перемещением и установкой тяжелых элементов конструкций и обычно на большой высоте.

На строительной площадке должна быть обозначена знаками технологическая зона монтажа, т. е. рабочая зона, зоны складирования, предварительной сборки и транспортирования элементов с земли к месту установки. Особое внимание должно быть уделено зоне повышенной опасности - работе нескольких монтажных механизмов на примыкающих монтажных участках, на одном или разных уровнях работы по вертикали.

К монтажу и производству вспомогательных работ по разгрузке, складированию и строповке сборных элементов рабочих допускают только после вводного инструктажа. К производству верхолазных работ допускают монтажников не ниже 4-го разряда, старше 18 лет и со стажем работы не менее двух лет. Для получения допуска необходимо пройти курс обучения по технике безопасности и сдать необходимые испытания. Знания проверяют не реже одного раза в год, медицинское освидетельствование проводят не реже двух раз в год.

Грузозахватные приспособления, стропы и прочий инвентарь должны быть снабжены бирками с указанием грузоподъемности. Их испытывают на двойную нагрузку не менее двух раз в год, по результатам освидетельствования выдают специальные паспорта.

При работе на высоте монтажники обязательно надевают монтажные пояса и посредством цепи с крепежным устройством зацепляют себя к петлям смонтированных конструкций или к натянутым и закрепленным тросам. Рабочий инструмент должен быть в ящиках или сумках во избежание падений. При подъеме элементов для предотвращения их раскачивания или кручения они обязательно берутся на растяжки. Поднятые элементы запрещается оставлять на весу при перерывах в работе. Подъем любых грузов разрешают только при вертикальном положении полиспаста монтажного крана, т. е. без подтяжки поднимаемого элемента. Поднимаемый груз должен быть меньше или соответствовать грузоподъемности монтажного крана на данном вылете стрелы; соответствующая таблица зависимости вылета и грузоподъемности должна быть вывешена у рабочего места машиниста.

На строительной площадке устраивают проходы и проезды, на видных местах закрепляют указатели опасных и запретных зон. В ночное время стройплощадку обязательно освещают. Монтаж башенными кранами запрещается при скорости ветра 10..Л2 м/с, кран на рельсах закрепляют противоугонами; при большей скорости ветра кран берут на растяжки.

Грузозахватные приспособления после каждого ремонта должны подвергаться испытанию на нагрузку, в 1,25 раза превышающую их нормальную грузоподъемность с длительностью выдержки 10 мин. Результаты осмотров грузозахватных приспособлений заносят в журнал учета. Осмотры

выполняются: для траверс через каждые 6 мес.; для строп и тары — через каждые 10 сут; для других захватов — через месяц.

Не допускается выполнение монтажных и послемонтажных работ на одной захватке, но на разных горизонтах. В отдельных случаях делается исключение, но при этом разрыв в уровнях не должен быть менее трех перекрытий.

Границу опасной зоны определяют расстоянием по горизонтали от возможного места падения груза при его перемещении краном. Это расстояние при максимальной высоте подъема груза до 20 м должно быть не менее 7 м, при высоте до 100 м — не менее 10 м, при большей высоте размер его устанавливают в проекте производства работ.

Смонтированные междуэтажные перекрытия и покрытия должны быть ограждены до начала следующих работ. Это требование не выполняют при монтаже крупнопанельных и крупноблочных зданий, но монтажники, работающие на последнем смонтированном перекрытии, обязаны прикрепляться предохранительными поясами к надежным элементам конструкций здания

Особые меры предосторожности следует принимать при изменении погодных условий. Не допускается выполнение монтажных работ на высоте в открытых местах при скорости ветра 15 м/с и более, при гололедице, грозе и тумане. Работы по перемещению и установке крупноразмерных панелей стен и подобных им конструкций с большой парусностью, следует прекращать при скорости ветра 10 м/с и более.

Большое внимание при монтаже должно быть уделено безопасным приемам сварочных работ, исключающим поражение током и возникновение пожарной опасности. Запрещается вести сварочные работы под дождем, во время грозы, сильном снегопаде и скорости ветра более 5 м/с.

Для подъема и опускания рабочих при монтаже зданий выше 30 м обязательна установка подъемников или лифтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассчитаны и определены показатели, выбраны элементы и параметры Заречной ГЭС, с плотиной высотой 59,7 м на реке Чусовая, являющейся сооружением I класса.

На первом этапе на основе гидрологических данных были определены значения максимальных расчетных расходов для основного обеспеченностью 0,1% и поверочного 0,01% обеспеченности случаев: $Q_{0,1\%} = 3328\ м^3/с$, $Q_{0,01\%} = 4224\ м^3/с$.

В ходе водно-энергетических расчетов была выбрана установленная мощность Заречной ГЭС, а также определена зона ее работы в суточных графиках нагрузки в период межени и половодья. Установленная мощность составила 714 МВт. Определен уровень мертвого объема, отметка которого равна 197,7 м. Полезный объем при отметке НПУ составляет 16,1 $км^3$. Произведена оценка среднемноголетней выработки электроэнергии, которая составила 1,2 млрд.кВт·ч.

На втором этапе было определено оптимальное число и тип гидроагрегатов электростанции. Для этого была построена область допустимых режимов работы (режимное поле по напору и расходу), на которой определены следующие напоры:

- максимальный – 50 м;
- расчетный – 43,5 м;
- минимальный – 40,5 м.

Максимальный расход через все агрегаты ГЭС, соответствующий расчетному напору, составляет 540 $м^3/с$.

Была выбрана турбина типа $ПЛ50 - В - 750$. По результатам расчетов оптимальным оказался вариант с четырьмя гидроагрегатами, диаметром рабочих колес 7,5 м.

Для выбранной поворотно-лопастной турбины с синхронной частотой вращения 107,1 об/мин был подобран серийный гидрогенератор СВ 1332/179-56УХЛ4.

Заречная ГЭС спроектирована по приплотинной схеме.

В состав сооружений входят:

– бетонная водосливная плотина;

– глухие бетонные левобережная и правобережная плотины;

– станционная часть;

На данном этапе расчетным путем определены габаритные размеры и характерные отметки плотины:

– ширина подошвы – 38 м;

– отметка подошвы плотины – 153 м;

– отметка гребня водослива – 193 м;

– число водосливных отверстий – 4;

– ширина водосливных отверстий в свету – 8 м;

– отметка гребня – 212,2 м;

– ширина гребня – 22 м.

В этом же разделе произведена оценка прочности и устойчивости плотины при основном и особом сочетаниях нагрузок. В результате расчетов коэффициент надежности сооружения составляет 1,35 (нормативное значение для сооружений I класса – 1,25). При расчете плотины на прочность сжимающие напряжения не превышают критических значений, растягивающие напряжения отсутствуют. Таким образом, плотина Заречной ГЭС отвечает требованиям надежности.

Строительство Заречной ГЭС будет проходить в 3 этапа.

В соответствии с действующим законодательством рассмотрены мероприятия организации безопасности ГТС.

По технико-экономическим расчетам получены следующие показатели:

– удельная себестоимость производства электроэнергии – 0,14 руб/кВт·ч;

– удельные капиталовложения – 91314,1 руб/кВт.

– срок окупаемости 5,6 лет.

Из этого можно сделать вывод, что строительство Заречной ГЭС является обоснованным, в том числе с точки зрения экономических показателей.

В результате проделанной работы был выбран башенный кран КБГС – 630, с максимальной высотой подъема 60 м, вылетом стрелы 50 м, грузоподъемностью 25 т, разработана технологическая карта на монтаж каркаса машинного зала ГЭС, выбраны грузозахватные устройства, составлена калькуляция и график производства монтажных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Выбор параметров ГЭС: Учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию гидротехнических объектов/ Сост. А.Ю. Александровский, Е.Ю. Затеева, Б.И. Силаев; СШФ КГТУ. -Саяногорск, 2005.114с.
2. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций: Справочное пособие: В 2т./Под ред. Ю.С. Василева, Д.С. Щавелева. – Т.2. Энергоатомиздат,1990. 366с.
3. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для Курсового и дипломного проектироваиия: Учеб. пособие для вузов - 4-е изд, перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
4. СТО 172302282.27.140.022-2008: Здания ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования.
5. Гидроэлектростанции: Учебное пособие/ В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. 541 с.
6. Справочник гидроэлектростанций России: Справочное пособие/ Под ред. В.Д. Новоженин. Типография АО «Институт Гидропроект», 1998. 467с.
7. СниП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения/ Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 24 с..
8. Кисилев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам – «Энергия» Москва 1972.
9. Лыбина Т.А., Ульянова Н.П., Затеев В.Б. Методические указания по выполнению курсового проекта и выпускной квалификационной работы «Речные гидротехнические сооружения. Проектирование бетонной водосливной плотины и грунтовой плотины в составе гидроузла».
10. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения – М.: ФГУП ЦПП, 2004.
11. СНиП 2.06.06 – 85. Плотины бетонные и железобетонные.
12. СНиП 2.02.02 – 87. Основание гидротехнических сооружений.
13. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01 -2003.- М.: ФГУП ЦПП, 2012.
14. Справочник по гидравлическим расчетам/ Под ред. П. Г. Киселева. - М.: Энергия, 1974. - 312 с.
15. СП 40.13330.2012 «Плотины бетонные и железобетонные. Актуализированная редакция СНиП2.06.06 - 85) - М.: Минрегион России, 2012.
16. Производство гидротехнических работ. Часть 1. Общие вопросы строительства. Земляные и бетонные работы, под редакцией д.т.н., проф. В.И. Телешева, АСВ, М.. 2012
17. 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

18. 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

19. Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии пред ТЭО 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

20. Приложение к приказу ОАО «РусГидро» от 30.01.2016 №92 - «Единые сценарные условия ОАО «РусГидро» на 2016-2041 гг.»

21. Технология строительных процессов: Учебник для вузов / А. А Афанасьев, Н. Н. Данилов, В. Д. Копылов, и др.; Под ред. Н. Н. Данилова, О. М. Терентьева –2-е изд., перераб.: - М.: Высшая школа, 2001.-464 с.

22. Технология строительного производства. Учебник для вузов / Под редакцией Г. М. Бадьина, А. В. Мешанинова – Л.: Строй издат, Ленинград.отд, 1987, 606 с.

23. Хамзин С. К., Карасев А. К. Технология строительного производства. Учебное пособие для строит. спец. вузов-М.: Высш. шк.-1985.-383 с.

24. Каграманов Р. А.. Андреев А. Ф. Применение грузозахватных устройств для строительно-монтажных работ.-М.:1985-216 с.; ил.

25. Технология и организация монтажа строительных конструкций: Справочник /Под ред.- В. К. Черненко, В. Ф. Баранникова.-К.; Будевэльник, 1988.-276 с -ISBN 5-7705-0269-х

26. Белый Б.Ф. Строительные машины и оборудование: Справочное пособие (для производственников, студентов строит. ВУЗов, факультетов и техникумов). – Ростов н/Д; Феникс, 2002.– 592 с.

27. Поляков В.И. Полосин М.Д. Машины грузоподъёмные для строительно-монтажных работ. – 3-е изд., перераб. и доп.–М.: Стройиздат, 1993.– 244 с.: ил. – (справ. пособие по строит. машинам)

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Расчет водно- энергетического регулирования в маловодном год

Таблица А.1 – Расчет водно-энергетического регулирования в маловодном году

Месяц	$Q_{пол.быт}$	$Q_{ф}$	$Q_{х.сбр}$	$Q_{вще}$	$Q_{ГЭС}$	$Q_{ВХК}$	$Q_{НБ}$	$V_{нач}$	ΔV	$V_{конеч}$	$Z_{ВБ}^{нач}$	$Z_{ВБ}^{конеч}$	$Z_{ВБ}^{ср}$	$Z_{НБ}$	H	$N_{ГЭС}$	$N_{гар}$
9	120	1	0	19	139	140	140	10,20	0,05	10,15	205,00	204,91	204,95	133,83	70,62	83	по ВХК
10	131	1	0	28	159	160	160	10,15	0,08	10,08	204,91	204,75	204,83	133,99	70,34	95	по ВХК
11	93	1	0	109	202	140	203	10,08	0,28	9,79	204,75	204,15	204,45	134,31	69,64	120	120
12	39	1	0	348	387	70	388	9,79	0,93	8,86	204,15	201,98	203,07	135,69	66,87	220	220
1	37,1	1	0	365	402	70	403	8,86	0,98	7,88	201,98	199,31	200,65	135,80	64,34	220	220
2	31,3	1	0	191	222	70	223	7,88	0,46	7,42	199,31	197,90	198,60	134,47	63,64	120	120
3	41	1	0	28	69	70	70	7,42	0,07	7,35	197,90	197,66	197,78	133,29	63,99	38	по вхк
4	634	1	0	-495	139	140	140	7,35	-1,28	8,63	197,66	201,39	199,52	133,83	65,19	77	по ВХК
5	606	1	0	-467	139	140	140	8,63	-1,25	9,88	201,39	204,34	202,86	133,83	68,53	81	по ВХК
6	191	1	0	-52	139	140	140	9,88	-0,13	10,01	204,34	204,62	204,48	133,83	70,15	83	по ВХК
7	144	1	0	-5	139	140	140	10,01	-0,01	10,03	204,62	204,65	204,64	133,83	70,31	83	по ВХК
8	202	1	0	-63	139	140	140	10,03	-0,17	10,20	204,65	205,00	204,83	133,83	70,49	83	по ВХК

Э=1,2 млрд.кВт·ч

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Расчет водно- энергетического регулирования в среднем по водности году

Таблица Б.1 – Расчет водно- энергетического регулирования в среднем по водности году

Месяц	$Q_{пол.быт}$	$Q_{ф}$	$Q_{х.сбр}$	$Q_{вще}$	$Q_{ГЭС}$	$Q_{ВХК}$	$Q_{НБ}$	$V_{нач}$	ΔV	$V_{конеч}$	$Z_{ВБ}^{нач}$	$Z_{ВБ}^{конеч}$	$Z_{ВБ}^{ср}$	$Z_{НБ}$	Н	$N_{ГЭС}$	$N_{гар}$
9	130	1	0	19	149	140	150	10,20	0,05	10,15	205,00	204,91	204,95	133,91	70,55	89	по ВХК
10	196	1	0	28	224	160	225	10,15	0,08	10,08	204,91	204,75	204,83	134,48	69,85	133	по ВХК
11	110	1	0	109	219	140	220	10,08	0,28	9,79	204,75	204,15	204,45	134,44	69,51	130	120
12	75	1	0	348	423	70	424	9,79	0,93	8,86	204,15	201,98	203,07	135,95	66,61	240	220
1	47	1	0	365	412	70	413	8,86	0,98	7,88	201,98	199,31	200,65	135,87	64,27	225	220
2	41	1	0	191	232	70	233	7,88	0,46	7,42	199,31	197,90	198,60	134,54	63,57	125	120
3	78	1	0	28	106	70	107	7,42	0,07	7,35	197,90	197,66	197,78	133,58	63,70	58	по ВХК
4	804	1	0	-495	309	140	310	7,35	-1,28	8,63	197,66	201,39	199,52	135,11	63,91	168	по ВХК
5	615	1	0	-467	148	140	149	8,63	-1,25	9,88	201,39	204,34	202,86	133,90	68,46	86	по ВХК
6	350	1	0	-52	298	140	299	9,88	-0,13	10,01	204,34	204,62	204,48	135,03	68,95	175	по ВХК
7	260	1	0	-5	255	140	256	10,01	-0,01	10,03	204,62	204,65	204,64	134,72	69,42	151	по ВХК
8	215	1	0	-63	152	140	153	10,03	-0,17	10,20	204,65	205,00	204,83	133,93	70,39	91	по ВХК

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Главная универсальная характеристика турбины ПЛ50-В-750

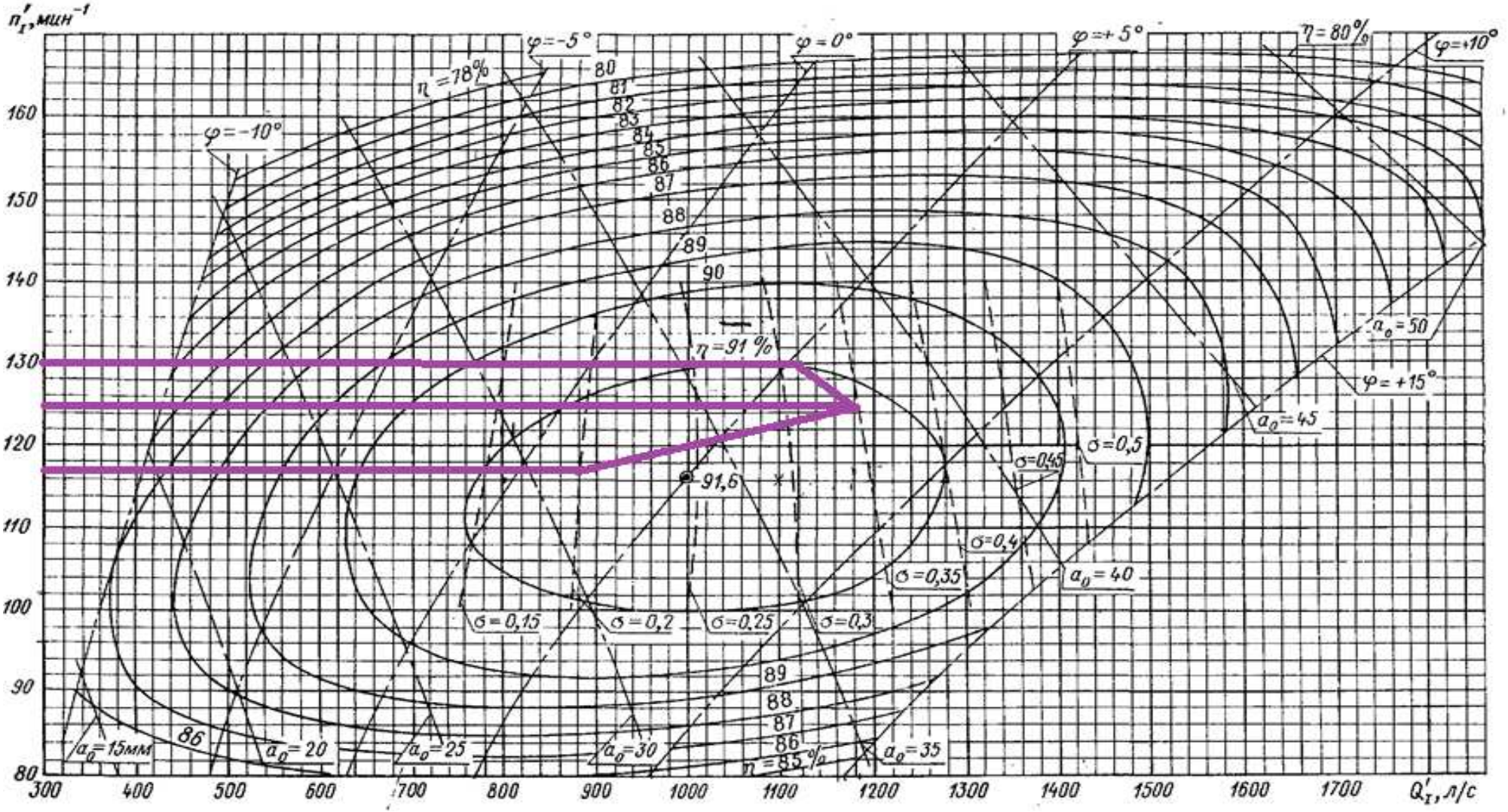


Рисунок В.1 – Главная универсальная характеристика турбины

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Эпюры действующих нагрузок на плотину для основного сочетания

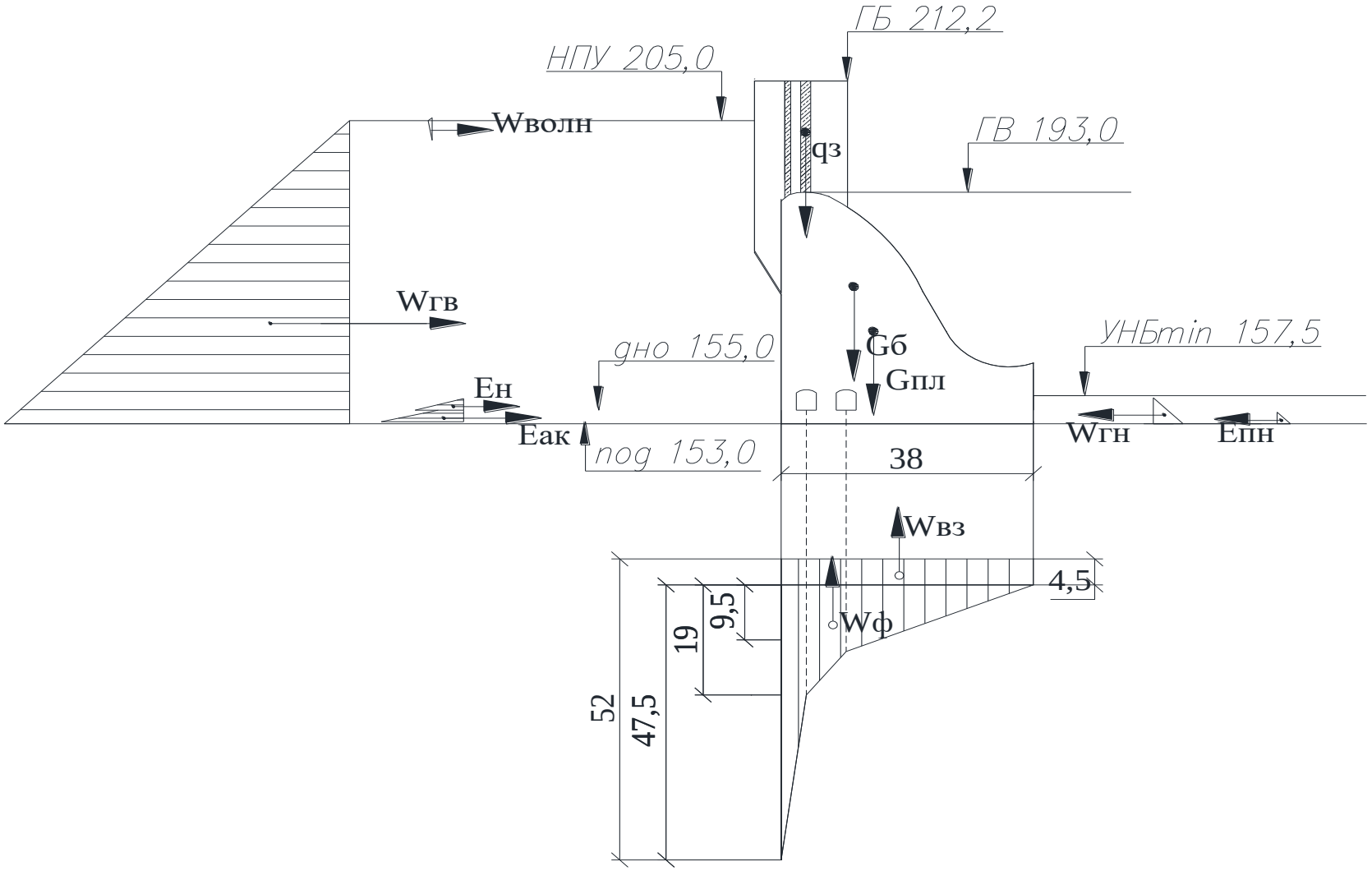


Рисунок Г.1 – Эпюры действующих нагрузок на плотину для основного сочетания

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Эпюры действующих нагрузок на плотину для особого сочетания

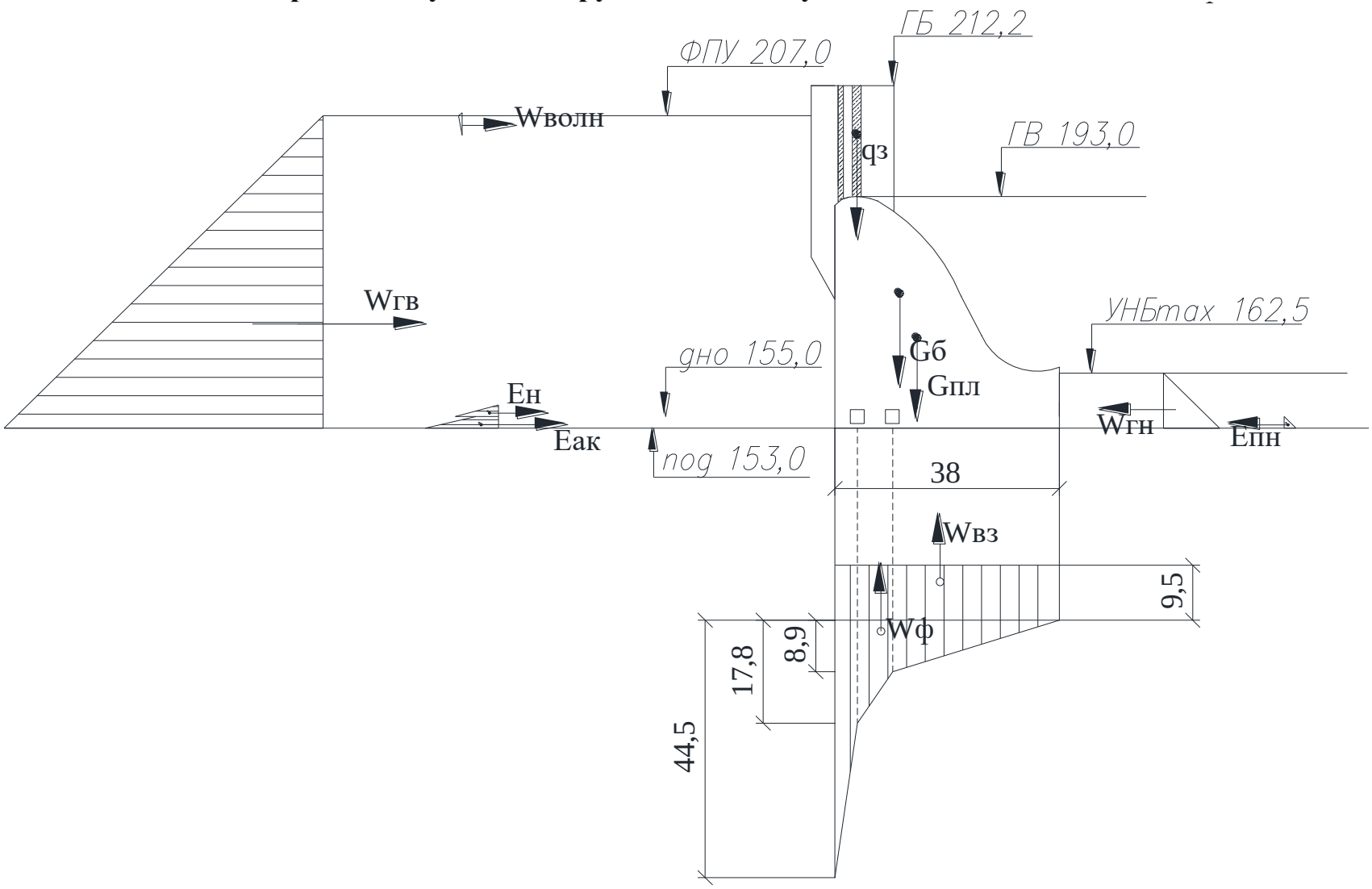


Рисунок Д.1 – Эпюры действующих нагрузок на плотину для особого сочетания

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно-Шушенский филиал

ОТЗЫВ

руководителя Эклер Н.А. к.т.н.
(Ф.И.О., уч.степень,)

Проектирование Заречного гидроузла на реке Чусовая. Технология монтажа каркаса машинного зала ГЭС

Лебедева Марина Петровна
(Ф.И.О.)

Бакалаврская работа Лебедевой М.П. представлена на 125 листах пояснительной записки и 7 листах графической части. Проект выполнен в соответствии с выданным заданием на проектирование, автором подробно разработаны все части проекта. Выполнена компоновка гидроузла, рассчитаны гидросооружения, основное и вспомогательное оборудование. Выполнены водно-энергетические и технико-экономические расчёты.

В индивидуальном задании разработана технологическая карта на монтаж каркаса машинного здания ГЭС. Определена очередность монтажа основных конструкций каркаса, определены методы и способы их монтажа, произведен расчет и выбор монтажного крана, определены зоны их действия. Разработаны ведомость грузозахватных устройств, калькуляция труда и заработной платы, график производства работ, схема производства работ, указания к производству работ, указания по охране труда и технике безопасности.

Следует отметить аккуратность данного проекта, чёткость и последовательность изложения материала пояснительной записки, хорошее качество графической части.

В процессе проектирования Лебедева М.П. показала высокий уровень теоретических знаний, творческий и инженерный подход к выполнению проекта. Все проектные решения приняты автором самостоятельно и соответствуют техническим требованиям, действующим в настоящее время.

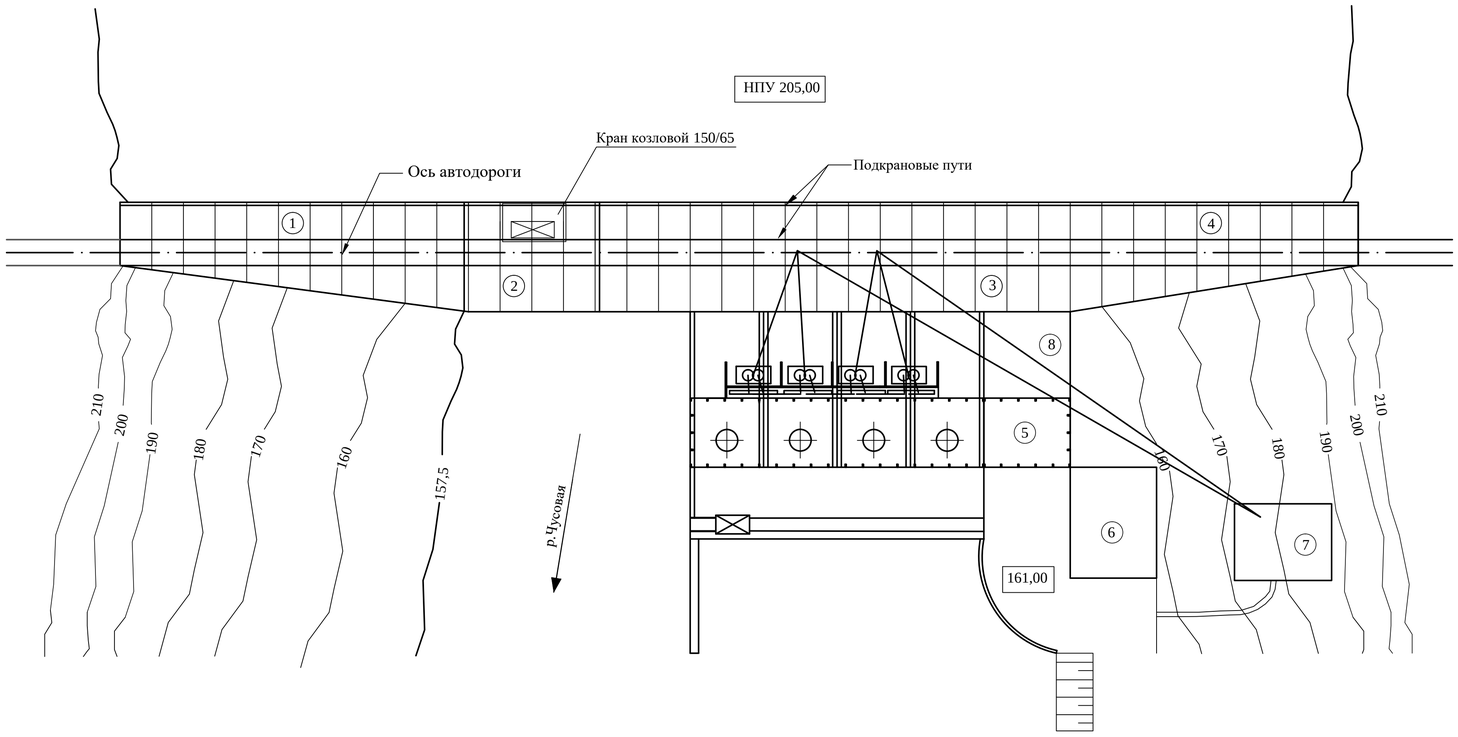
Бакалаврская работа «Проектирование Заречного гидроузла на реке Чусовая. Технология монтажа каркаса машинного зала ГЭС» заслуживает оценки «отлично», а разработчик проекта Лебедева М.П. присвоения квалификации «бакалавр» по направлению 08.03.01 «Строительство». Профиль «Гидротехническое строительство».

Дата 14.06.2017 г.

(подпись)

Генеральный план Заречного гидроузла

М 1:1000



Экспликация объектов

№	Наименование
1	Правобережная глухая бетонная плотина
2	Бетонная водосливная плотина;
3	Станционная часть плотины;
4	Левобережная глухая бетонная плотина
5	Здание ГЭС;
6	Служебно-технологический корпус;
7	Здание КРУЭ;
8	Трансформаторная мастерская;

Условные обозначения

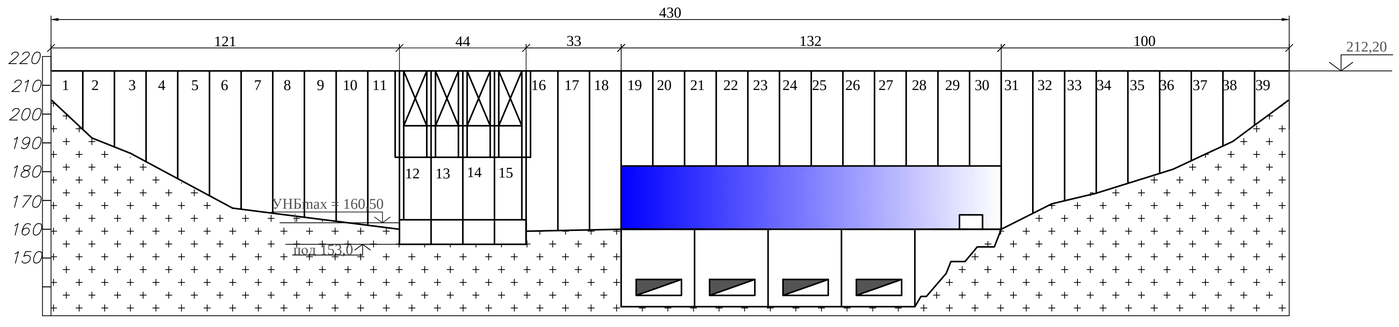
Гранит

Автодорога

Трансформатор

Гидрогенератор

Вид с нижнего бьефа



Ведомость проекта

№	Наименование	
1	ВКР - 08.03.01 - 541317702	Генеральный план Заречного гидроузла.
		Экспликация объектов. Ведомость
		проекта
2	ВКР - 08.03.01 - 541317702 - ГР1	Поперечный разрез станционной плотины
		Заречной ГЭС. Основные характеристики
		гидроагрегата
3	ВКР - 08.03.01 - 541317702 - ГР2	Разрез по водосливной плотине. План
		водосливной плотины
4	ВКР - 08.03.01 - 541317702 - ТХ	Технологическая карта на монтаж
		конструкций машинного зала. Схемы
		строповки элементов. Схема контроля
		качества монтажных работ
5	ВКР- 08.03.01- 541317702 - ПЗ	Пояснительная записка

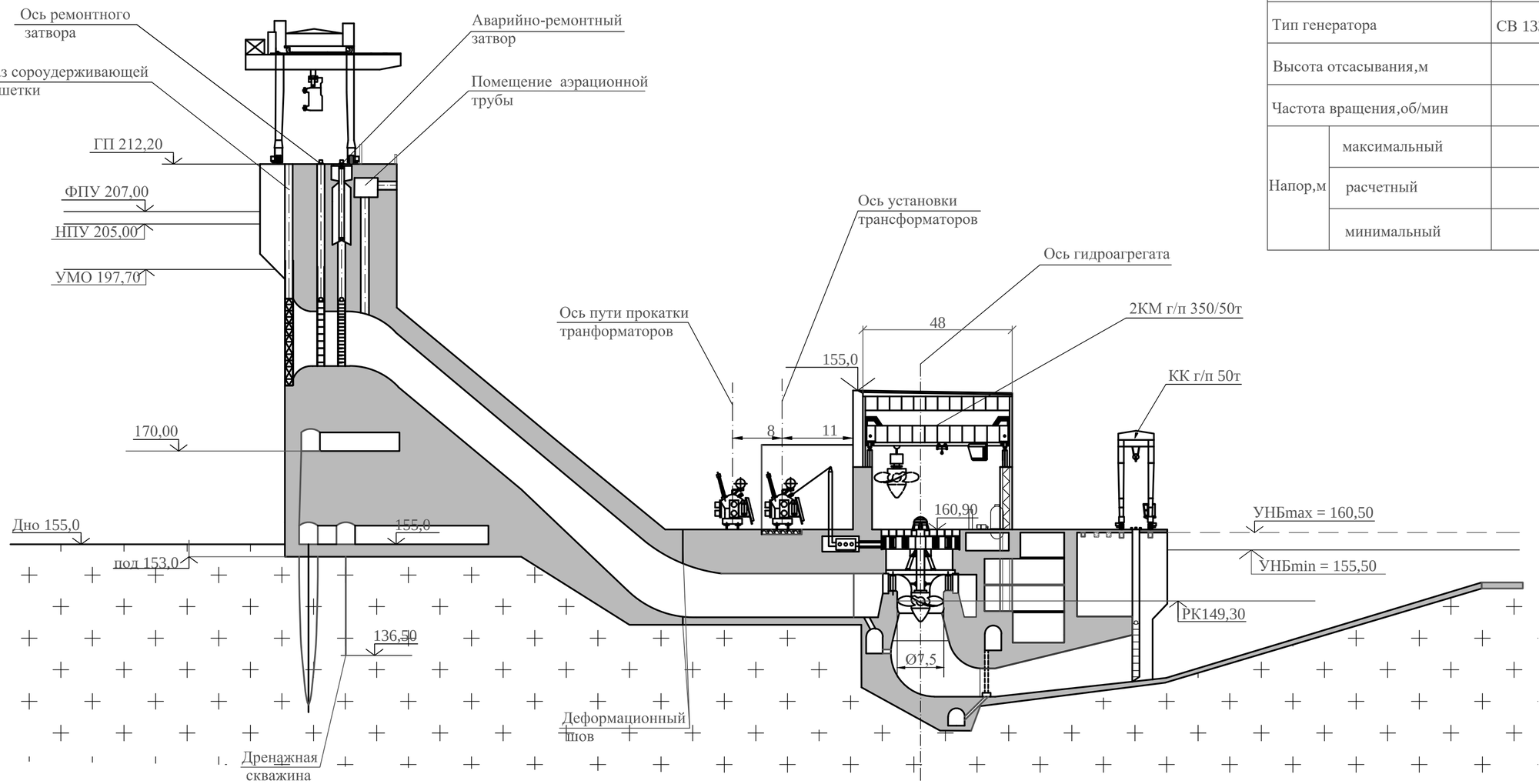
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разраб.		Лебедева			
Провер.		Эклер			
Т.контр.					
Н.контр.		Затеев			
Утв.		Затеев			

ВКР - 08.03.01 - 541317702 - ГП

Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета

Проектирование Заречной ГЭС на реке Чусовая	Стадия	Лист	Листов
		1	5
Генеральный план Заречного гидроузла. Экспликация объектов. Вид с нижнего бьефа	Кафедра гидротехнических сооружений 2017		

Поперечный разрез станционной плотины Заречной ГЭС (М 1:500)



Основные характеристики гидроагрегата

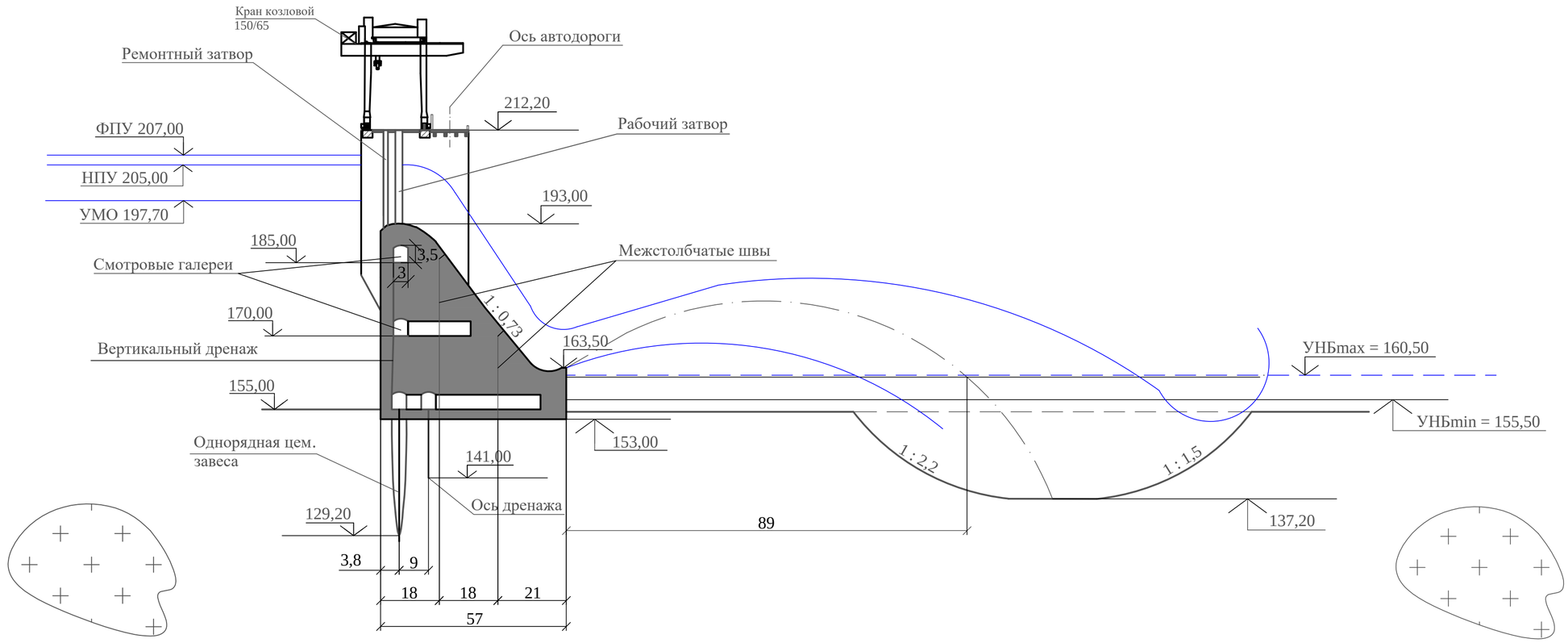
Количество гидроагрегатов,шт		4
Тип турбины		ПЛ 50-В-750
Тип генератора		СВ 1332/179-56УХЛ4
Высота отсасывания,м		-6,2
Частота вращения,об/мин		130,4
Напор,м	максимальный	50,0
	расчетный	43,5
	минимальный	40,5

Размеры и отметки на чертеже даны в м.

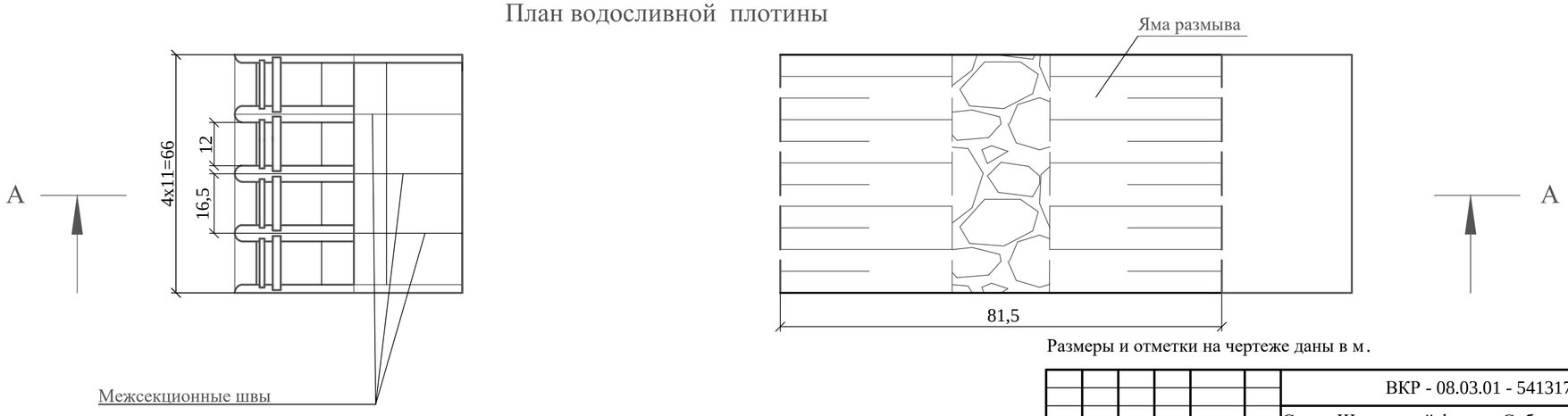
						ВКР - 08.03.01 - 541317702 - ГР1	
						Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета	
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата		
Разраб.		Лебедева				Проектирование Заречного гидроузла на реке Чусовая	Стадия: — / Лист: 2 / Листов: —
Провер.		Масленникова					
Т.контр.							
Н.контр.		Затеев				Поперечный разрез станционной плотины Заречной ГЭС. Основные характеристики гидроагрегата	Кафедра гидротехнических сооружений 2017
Утв.		Затеев					

Формат А 2

Разрез по водосливной плотине (А-А)
М 1: 750



План водосливной плотины



Размеры и отметки на чертеже даны в м.

						ВКР - 08.03.01 - 541317702 - ГР2			
						Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета			
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата				
Разраб.		Лебедева				Проектирование Заречного гидроузла на реке Чусовая	Стадия	Лист	Листов
Провер.		Пермякова						3	
Т.контр.									
Н.контр.		Затеев				Разрез по водосливной плотине. План водосливной плотины	Кафедра гидротехнических сооружений 2017		
Утв.		Затеев							

Формат А 2

Технологическая карта на монтаж конструкций машинного зала
(М 1:1000)

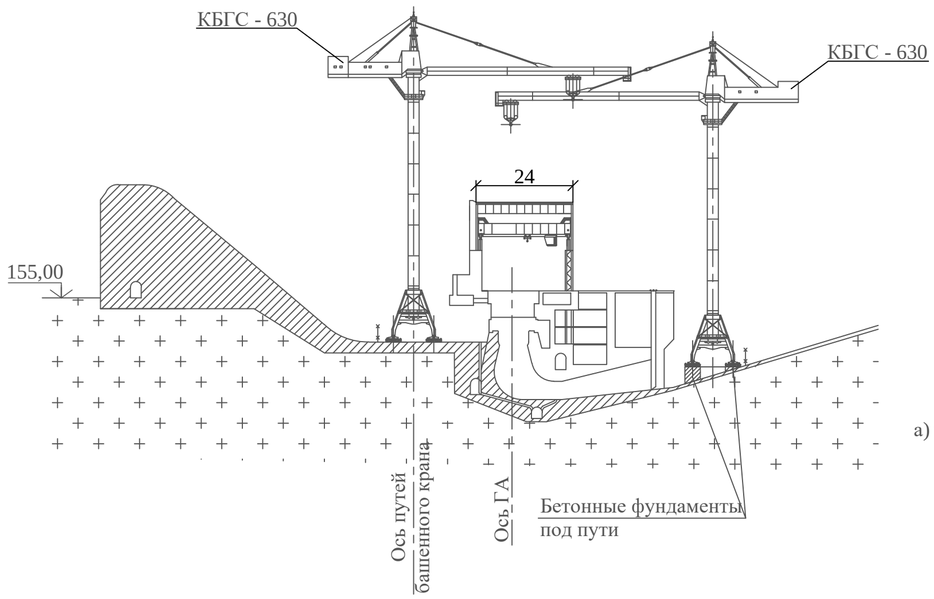
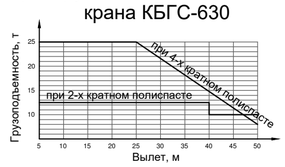
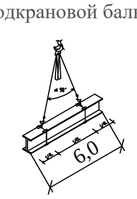


График грузоподъемности башенного крана КБГС-630

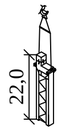


Схемы строповки элементов

а) подкрановой балки



б) металлической колонны



в) плиты покрытия

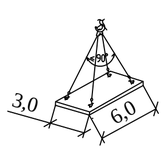


Схема производства работ

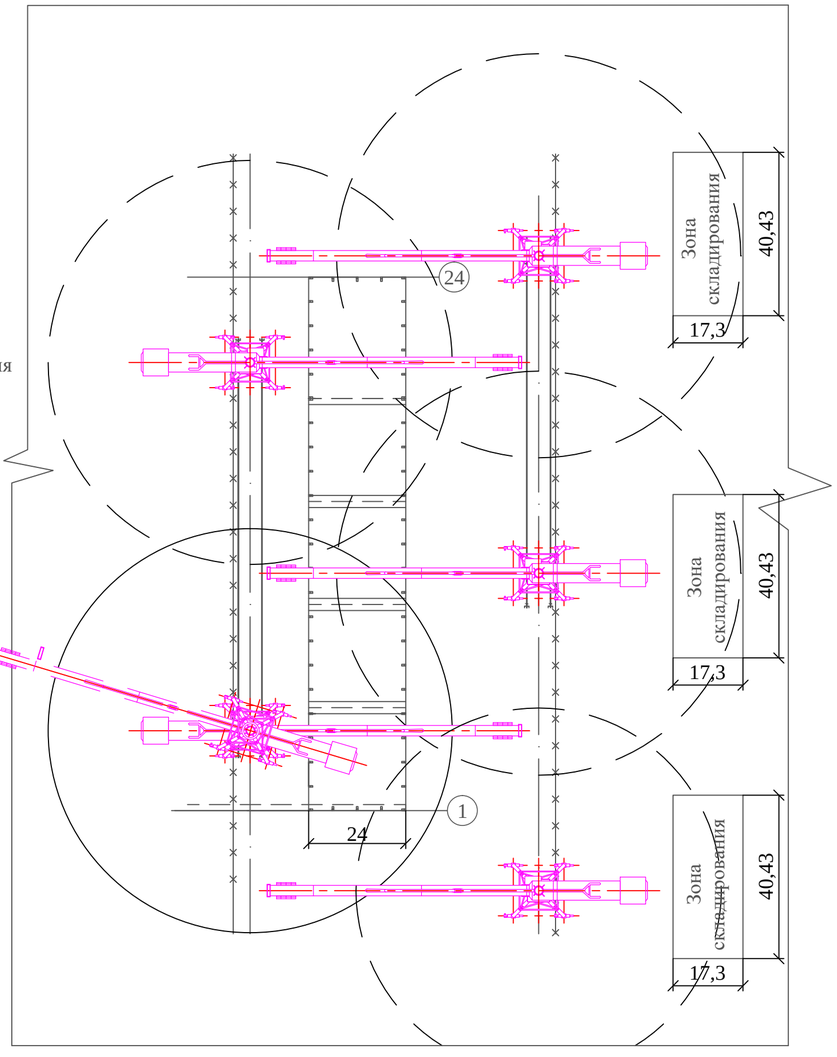


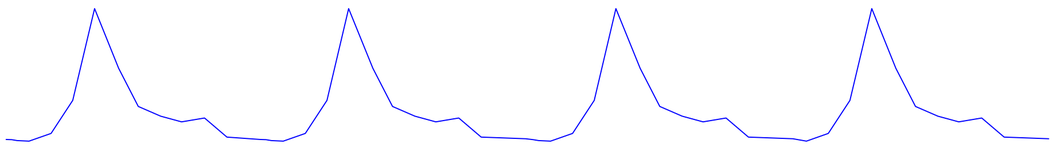
Схема контроля качества монтажных работ

Наименование операций подлежащих контролю	Предмет, состав и объем проводимого контроля, предельное отклонение	Способ контроля	Время проведения контроля	Лицо, контролирующее процесс
монтаж колонн	смещение осей колонн относительно разбивочных осей - 5 мм; отклонение осей колонн от вертикали в верхнем сечении - 10 мм; кривизна колонны - 0,0013 расстояние между точками закрепления.	теодолит, рулетка, нивелир	во время монтажа	прораб
подкрановые балки	смещение продольной оси на опорной поверхности от проектного положения - 8мм; отклонение отметок верхних полок подкрановых балок на 2х соседних колоннах вдоль ряда при расстоянии между колоннами менее 10м - 10мм; в одном поперечном разрезе пролета: на колоннах - 15 мм; в пролетах - 20мм; отклонения от совмещения оси подкрановых балок с разбивочной осью - 8 мм.	теодолит, рулетка	во время монтажа	прораб
отметки опорных узлов	смещение осей ригелей относительно разбивочных осевых рисок на колоннах - 5 мм;	линейка измерительная	во время монтажа	прораб
монтаж балок	соответствие отметок высот опорных узлов ригелей проектному ±5 мм	линейка измерительная	во время монтажа	прораб

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата	ВКР - 08.03.01 - 541317702		
						Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета		
Разраб.		Лебедева				Проектирование Заречной ГЭС на реке Чусовая	Стадия	Лист	Листов
Провер.		Эклер						5	
Т.контр.									
Н.контр.		Затеев				Технологическая карта на монтаж конструкций машинного зала. Схемы строповки элементов. Схема контроля качества монтажных работ	Кафедра гидротехнических сооружений 2017	
Утв.		Затеев						

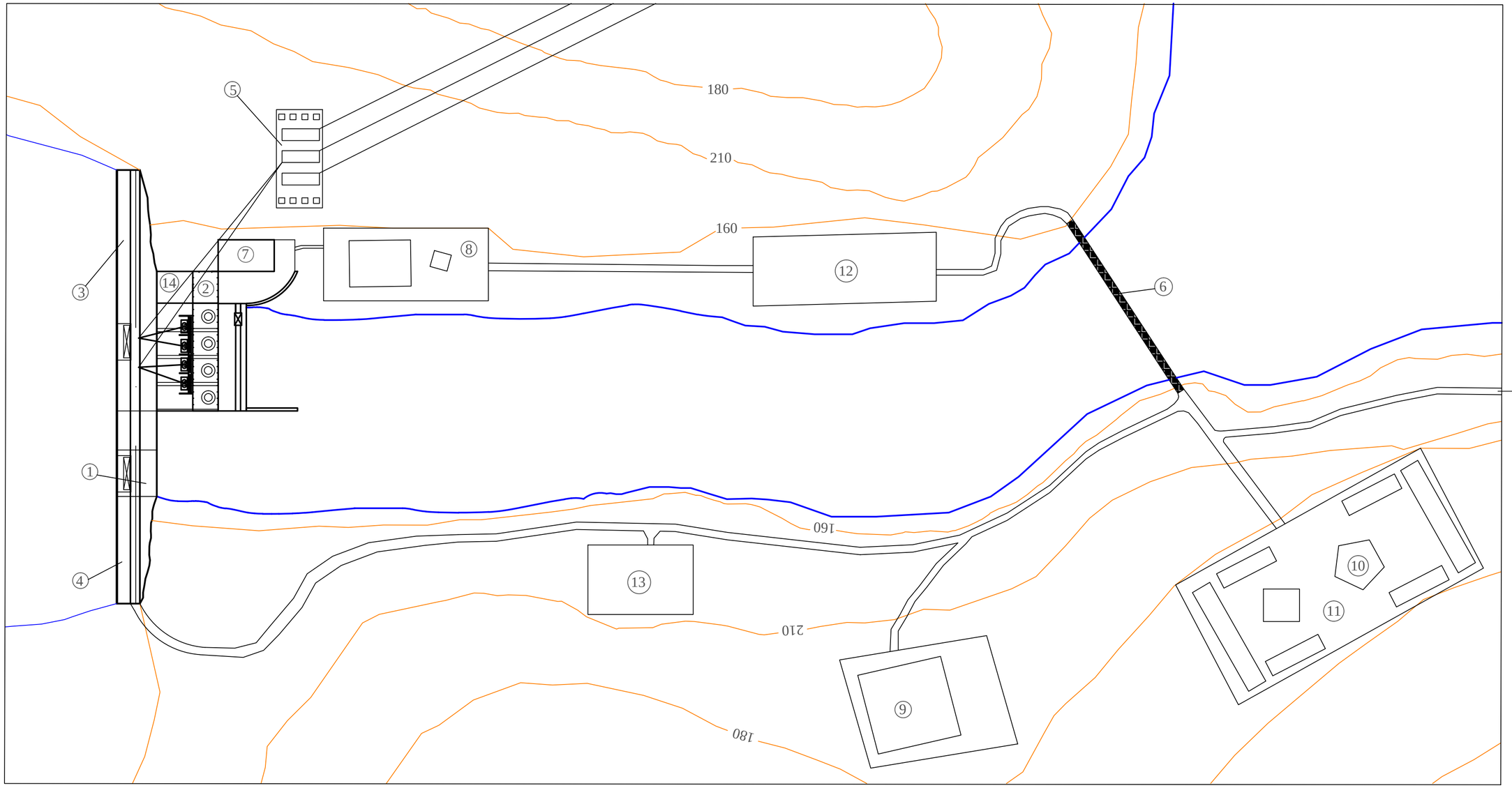
Календарный план строительства Заречного гидроузла

№	Наименование сооружений	№ вида работ	Наименование профилирующих работ или их комплексов	Ед. изм.	Объемы
1	Объекты производственной базы	1	Строительство подъездных автодорог	км	20
		2	Строительство временных ЛЭП	км	150
		3	Строительство производственной базы	млн.руб	
2	Перемычки	4	Возведение перемычек I очереди	тыс.м3	17,1
		5	Откачка котлована I очереди	тыс.м3	5,3
		6	Отсыпка банкета перекрытия	тыс.м3	8,4
		4	Возведение перемычек I очереди	тыс.м3	17,1
		5	Откачка котлована I очереди	тыс.м3	5,3
3	Глухая правобережная плотина	7	Выемка мягкого грунта	тыс.м3	2,8
		8	Выемка скального грунта	-	
		9	Укладка бетона	тыс.м3	21,5
4	Водосливная плотина	7	Выемка мягкого грунта	тыс.м3	6,2
		8	Выемка скального грунта	-	
		9	Укладка бетона	тыс.м3	113,6
5	Станционная плотина	7	Выемка мягкого грунта	тыс.м3	13,4
		8	Выемка скального грунта	-	
		9	Укладка бетона	тыс.м3	303,8
6	Глухая левобережная плотина	7	Выемка мягкого грунта	тыс.м3	2,8
		8	Выемка скального грунта	-	
		9	Укладка бетона	тыс.м3	19,3
7	Здание ГЭС и монтажная площадка	7	Выемка мягкого грунта	тыс.м3	3,2
		8	Выемка скального грунта	-	
		9	Укладка бетона	-	
		10	Возведение шатра	-	
		11	Монтаж агрегатов	-	
8	ОРУ	12	Возведение фундаментов	-	
		13	Монтаж оборудования	шт	4
9	Водохранилище	14	Подготовка ложа водохранилища	м3	700
		15	Наполнение водохранилища	км3	16,1
			Гидрограф реки		



Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	ВКР - 08.03.01 - 541317702			
						Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета			
Разраб.		Лебедева				Проектирование Заречной ГЭС на реке Чусовая	Стадия	Лист	Листов
Провер.		Эклер							
Т.контр.									
Н.контр.		Затеев				Календарный план строительства Заречного гидроузла	Кафедра гидротехнических сооружений 2017		
Утв.		Затеев							

Строительный генеральный план Заречного гидроузла
М 1:2000



Экспликация объектов

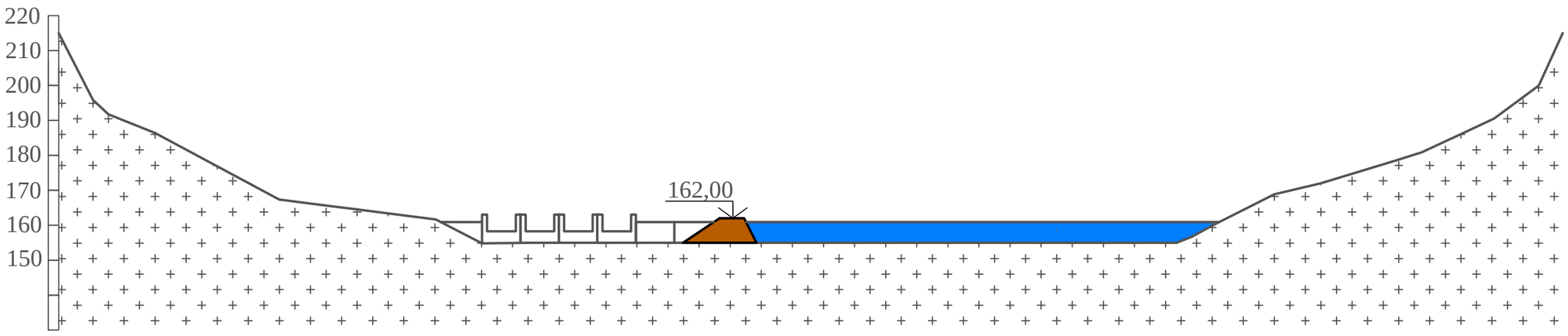
№	Наименование	№	Наименование
1	Водосбросная плотина	8	Монтажная база
2	Станционная плотина	9	Складская база
3	Левобережная глухая бетонная плотина	10	Жилой поселок
4	Правобережная глухая бетонная плотина	11	Столовая
5	КРУЭ	12	База ГМО
6	Мост	13	База механизации
7	Служебно - технологический корпус	14	Трансформаторная мастерская

						ВКР - 08.03.01 - 541317702 - ГП	
						Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета	
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата		
Разраб.		Лебедева				Проектирование Заречной ГЭС на реке Чусовая	Стадия: — / Лист: — / Листов: —
Провер.		Эклер					
Т.контр.							
Н.контр.		Затеев				Строительный генеральный план Заречного гидроузла. Экспликация объектов	Кафедра гидротехнических сооружений 2017
Утв.		Затеев					

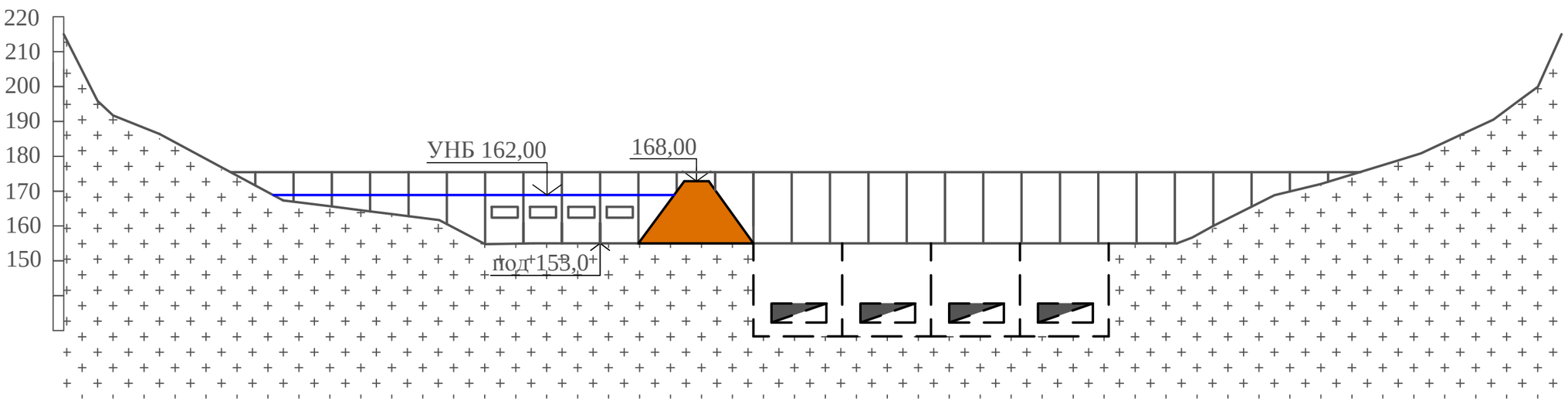
Этапы строительства Заречного гидроузла

М 1:1000

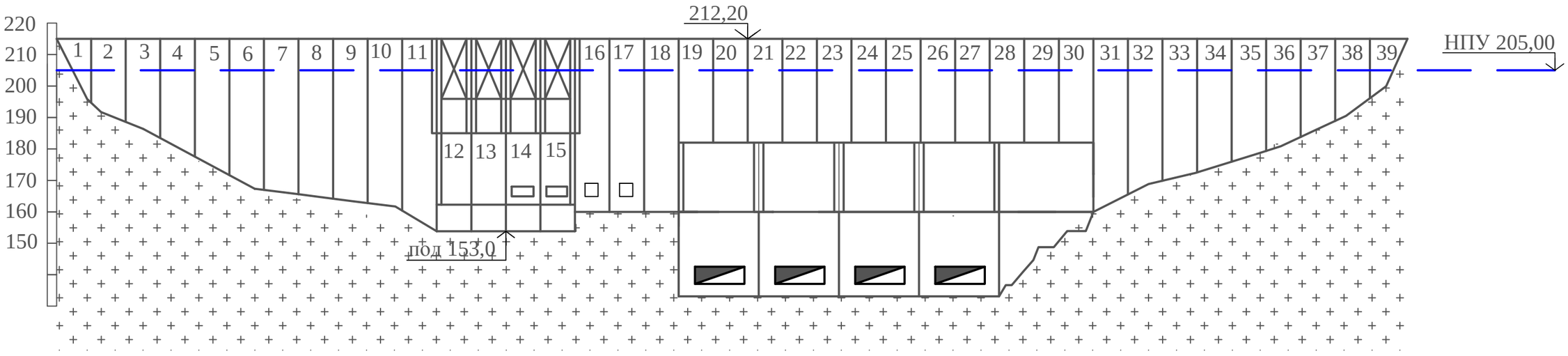
I этап



II этап



III этап



						ВКР - 08.03.01 - 541317702
						Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	
Разраб.		Лебедева				Проектирование Заречной ГЭС на реке Чусовая
Провер.		Эклер				Стадия / Лист / Листов
Т.контр.						
Н.контр.		Затеев				Этапы строительства Заречного гидроузла
						Кафедра гидротехнических сооружений 2017
Утв.		Затеев				

PDF-XChange Viewer Click to buy NOW! www.docu-track.com
PDF-XChange Viewer Click to buy NOW! www.docu-track.com

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

Кафедра «Гидротехнических сооружений и ГМ»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Б. Затеев
«09» 06 2017г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

08.03.01 – Строительство

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАРЕЧНОГО ГИДРОУЗЛА НА РЕКЕ ЧУСОВАЯ. ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА КАРКАСА МАШИННОГО ЗАЛА ГЭС

Руководитель _____ 9.06.17 _____ к.т.н. _____ Н.А. Эклер
подпись, дата — должность, ученая степень — инициалы, фамилия

Выпускник _____ 16.06.17г. _____ М.П. Лебедева
подпись, дата — инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2017

PDF-XChange Viewer Click to buy NOW! www.docu-track.com

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Заречн гидроузла на реке Чусовая. Технология монтажа каркаса машинного зала ГЭС»

Консультанты по разделам:

Общая часть	9.06.17 подпись, дата	Н.А. Эклер инициалы, фамилия
Водноэнергетический расчет	9.06.17 подпись, дата	Е.Ю. Затеева инициалы, фамилия
Основное и вспомогательное оборудование	подпись, дата	А.В. Масленникова инициалы, фамилия
Компоновка и сооружения ГУ	13.06.17 подпись, дата	Л.С. Пермякова инициалы, фамилия
Организация строительства	9.06.17 подпись, дата	Н.А. Эклер инициалы, фамилия
Экология гидроузла	15.06.17 подпись, дата	В.А. Кадычегов инициалы, фамилия
Технико-экономические показатели	09.06.17 подпись, дата	В.В. Лапасова инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	16.06.17 подпись, дата	А.А. Чабанова инициалы, фамилия