

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Саяно-Шушенский филиал

Кафедра гидротехнических сооружений и гидравлических машин

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А. А. Андрияс  
подпись                  инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

08.03.01 – Строительство  
код – наименование направления

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТАСЕЕВСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ТАСЕЕВА. КОНТРОЛЬ  
ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА В СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ БЕТОННЫХ  
ПЛОТИН. ЭПЮРЫ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ  
тема

Руководитель \_\_\_\_\_ инженер 2-й категории Е. Н. Решетникова  
подпись, дата СМГТС Филиала ПАО инициалы фамилия  
«РусГидро» – «Саяно-  
Шушенская ГЭС имени  
П.С. Непорожного»  
должность, место работы

Выпускник \_\_\_\_\_ С. А. Денк  
подпись, дата инициалы, фамилия

Саяногорск; Черёмушки 2022

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Тасеевской ГЭС на реке Тасеева. Контроль фильтрационного режима в скальном основании бетонных плотин. Эпюры противодействия»  
название ВКР

Консультанты по разделам:

Консультант руководителя БР

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Водно–энергетические расчёты

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Основное и вспомогательное оборудование

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Компоновка сооружения и гидроузла

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Организация и производство гидротехнических работ

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Пожарная безопасность. Охрана труда

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Охрана окружающей среды

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Технико–экономическое обоснование

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

## СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕННЫЙ ПАСПОРТ ТАСЕЕВСКОЙ ГЭС .....	7
1. Анализ исходных данных .....	8
1.1 Климат в районе проектирования .....	8
1.2 Гидрологические данные .....	8
1.3 Инженерно-геологических условия .....	11
1.4 Сейсмические условия .....	11
1.5 Данные об энергосистеме .....	11
2. Водно-энергетические расчеты .....	11
2.1 Выбор расчётных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности стока .....	11
2.1.1 Выбор расчётного средневодного года (P=50%) .....	13
2.1.2 Выбор расчётного маловодного года (P=90%) .....	14
2.1.3 Построение суточных графиков нагрузки .....	15
2.2 Баланс Энергии .....	16
2.2.1 Годовые графики максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы .....	16
2.2.2 Расчет конкурирующих режимов ГЭС по ВХК и бытовой мощностям .....	17
2.2.3 Режим работы ГЭС по условию маловодного года .....	20
2.3 Баланс мощности .....	20
2.3.1 Определение рабочей мощности ГЭС .....	21
2.3.2 Расчет резервов и определение установленной мощности проектируемой ГЭС, расчет баланса мощностей .....	22
2.4 Режим работы ГЭС по условию средневодного года .....	24
2.5 Режимное поле .....	25
3 Основное и вспомогательное оборудование .....	26
3.1 Выбор гидротурбин по главным универсальным характеристикам .....	26
3.2 Определение заглубления рабочего колеса гидротурбины для обеспечения её безкавитационной работы .....	30
3.3 Расчёт параметров гидрогенератора .....	31
3.4 Расчёт и построение бетонной спиральной камеры .....	34
3.5 Расчёт деталей и узлов гидротурбины .....	37
3.5.1 Расчёт вала на прочность .....	37
3.5.2 Расчёт подшипника .....	38
3.6 Выбор МНУ и электрогидравлического регулятора .....	39
4 Компонировка гидроузла, расчет основных сооружений .....	40
4.1 Определение класса сооружений .....	40
4.2 Проектирование сооружений напорного фронта .....	40
4.2.1 Определение отметки гребня бетонной плотины .....	40
4.2.2 Гидравлические расчеты .....	43

4.2.2.1	Определение ширины водосливного фронта .....	43
4.2.2.2	Определение отметки гребня водослива .....	44
4.2.2.3	Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае .....	46
4.2.2.4	Построение оголовка профиля водосливной грани по Кригер- Офицерову .....	47
4.2.2.5	Расчет сопряжения потока в нижнем бьефе .....	48
4.2.2.6	Расчет водобойной стенки.....	50
4.2.2.7	Рисберма.....	52
4.3	Конструирование бетонной плотины .....	54
4.3.1	Определение ширины подошвы плотины .....	54
4.3.2	Разрезка бетонных плотин швами .....	56
4.3.3	Быки .....	56
4.3.4	Устои .....	57
4.3.5	Дренаж тела бетонных плотин .....	57
4.3.6	Галереи в теле плотины .....	57
4.3.7	Ширина плотины по гребню .....	58
4.3.8	Гидравлический расчет глубинных (донных) водосбросов .....	58
4.4	Назначение размеров основных элементов плотин .....	58
4.4.1	Конструирование отдельных элементов подземного контура плотины .....	59
4.4.1.1	Цементационная завеса .....	59
4.4.1.2	Дренажные устройства в основании.....	60
4.5	Фильтрационные расчеты подземного контура. Построение эпюры фильтрационного давления .....	60
4.6	Определение основных нагрузок на плотину.....	60
4.6.1	Вес сооружения и затворов .....	60
4.6.2	Сила гидростатического давления .....	61
4.6.3	Равнодействующая взвешивающего давления.....	62
4.6.4	Сила фильтрационного давления.....	62
4.6.5	Давление грунта.....	63
4.6.6	Активное давление грунта.....	63
4.6.7	Пассивное давление грунта .....	64
4.6.8	Волновое давление.....	64
4.7	Обоснование надежности и устойчивости плотины .....	65
4.7.1	Оценка прочности плотины. Расчет крайних напряжений плотины	65
4.7.1.1	Расчет крайних напряжений верхней грани для основного и особого сочетания нагрузок .....	66
4.7.1.2	Расчет крайних напряжений нижней грани для основного и особого сочетания нагрузок .....	68

4.7.1.3	Критерии прочности плотины.....	70
4.7.1.4	Обоснование устойчивости плотины.....	72
5	Организация и производство гидротехнических работ .....	73
5.1	Периоды и этапы строительства ГЭС .....	73
5.1.1	I этап – возведение сооружений для перекрытия русла .....	73
5.1.1.1	Гидравлический расчёт пропуска строительных расходов I очереди через стеснённое русло .....	74
5.1.2	Гидравлический расчёт пропуска строительных расходов II очереди через донные отверстия в водосбросной плотине.....	76
5.1.2.1	Отсыпка верховой, продольной и низовой перемычек I очереди ..	79
5.1.2.1.1	Конструкция перемычек .....	79
5.1.2.1.2	Технология возведения перемычек .....	80
5.1.2.2	Откачка воды и водопонижение котлована I очереди .....	81
5.1.2.2.1	Первоочередная откачка воды.....	81
5.1.2.2.2	Водопонижение .....	82
5.1.2.3	Буровзрывные работы .....	82
5.1.2.3.1	Выемка грунта из котлована I очереди .....	84
5.1.2.4	Возведение бетонных сооружений .....	86
5.1.2.4.1	Объём бетонных работ.....	86
5.1.2.4.2	Приготовление бетонной смеси .....	87
5.1.2.4.3	Транспортировка бетонной смеси.....	87
5.1.2.4.4	Опалубочные работы .....	88
5.1.2.4.5	Арматурные работы .....	88
5.1.2.4.6	Мероприятия по подготовке блоков к бетонированию .....	89
5.1.2.4.7	Уход за бетоном .....	89
5.1.2.4.8	Контроль качества бетонных работ .....	90
5.1.2.4.9	Время производства бетонных работ.....	90
5.1.3	II этап – перекрытие русла .....	92
5.1.4	III этап – возведение сооружений для начала наполнения водохранилища.....	92
5.1.5	IV этап – наращивание сооружений до проектных отметок, наполнение водохранилища, пуск гидроагрегатов .....	92
5.2	Ведомость распределения объемов работ по этапам строительства .....	93
	Результаты расчётов.....	93
6	Пожарная безопасность. Охрана труда .....	94
6.1	Пожарная безопасность .....	94
6.1.1	Требования к инструкции о мерах пожарной безопасности .....	95
6.2	Охрана труда .....	97
6.2.1	Обслуживание оборудования.....	99
7	Охрана окружающей среды.....	100
7.1	Общие сведения о районе строительства .....	100

7.2	Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды .....	101
7.3	Мероприятия по подготовке ложа водохранилища .....	102
7.4	Отходы, образующиеся при строительстве .....	104
7.4.1	Лом бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме .....	104
7.4.2	Лом и отходы, содержащие незагрязнённые чёрные металлы в виде изделий, кусков, несортированные .....	104
7.5	Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации .....	105
8	Технико-экономическое обоснование .....	106
8.1	Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации .....	106
8.1.1	Оценка объёмов реализации электроэнергии .....	106
8.1.2	Текущие расходы по гидроузлу .....	106
8.1.3	Налоговые расходы .....	109
8.2	Оценка прибыли .....	109
8.3	Анализ денежных потоков .....	110
8.4	Оценка инвестиционного проекта .....	110
8.4.1	Методология, исходные данные .....	110
8.4.2	Коммерческая эффективность .....	111
8.4.3	Бюджетная эффективность .....	112
8.5	Анализ чувствительности .....	112
9	Контроль фильтрационного режима в скальном основании бетонных плотин. Эпюры противодействия .....	114
9.1	Противофильтрационные элементы в основании плотины СШГЭС ....	114
9.1.1	Эксплуатационный контроль .....	115
9.1.2	Измерительная аппаратура для контроля за фильтрационным режимом в основании плотины СШГЭС .....	116
9.2	Основные принципы анализа результатов наблюдений .....	116
9.2.1	Фильтрационные расходы в основании плотины .....	118
9.2.2	Фильтрационное давление в основании плотины .....	121
9.3	Выводы .....	125
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	127
	ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	129
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	131
	ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	133

## СОКРАЩЕННЫЙ ПАСПОРТ ТАСЕЕВСКОЙ ГЭС

1. Наименование ГЭС: Тасеевская ГЭС на реке Тасеева.
2. Местонахождение ГЭС: Красноярский край, Мотыгинский район.
3. Тип проектируемой установки: гидроэлектростанция.
4. Характерные расходы воды:
  - а) среднемноголетний: 342,27 м<sup>3</sup>/с;
  - б) всех турбин: 415,90 м<sup>3</sup>/с;
  - в) максимальный с учётом трансформации паводка обеспеченностью 1%: 1312,02 м<sup>3</sup>/с;
  - г) минимальный: 175,63 м<sup>3</sup>/с.
5. Параметры водохранилища:
  - а) характер регулирования стока: годовое регулирование стока;
  - б) отметки: НПУ 114,00 м; УМО 109,36 м;
  - в) объёмы водохранилища: полный 6,20 км<sup>3</sup>; полезный 3,02 км<sup>3</sup>.
6. Напоры ГЭС:
  - а) максимальны: 19,00 м;
  - б) расчётный: 13,80 м;
  - в) минимальный: 11,50 м.
7. Энергетические характеристики:
  - а) мощность: установленная 127 МВт; гарантированная 95 МВт;
  - б) среднемноголетняя выработка энергии: 366 млн. кВт·ч;
  - в) число часов использования установленной мощности: 2481.
8. Плотины:
  - а) левобережная: глухая, материал - бетон;
  - б) правобережная: глухая, материал - бетон;
  - в) водосливная: материал - бетон;
  - г) общая длина 399 м, максимальная высота 22,4 м.
9. Водобросные сооружения:
  - а) гашение энергии при помощи водобойного колодца;
  - б) число и размеры пролётов: 2 шт, 2,5 м.
10. Здание ГЭС:
  - а) тип здания: русловой, число агрегатов 3 шт;
  - б) грунты в основании: долерит (диабаз);
  - в) тип спиральной камеры: бетонная;
  - е) размеры: общая длина 60 м, ширина 24 м.
11. Основное оборудование:
  - а) тип турбины ПЛ 20-В, диаметр 6,3 м
  - б) тип генератора СВ-691/40-52;
  - в) частота вращения 88,2.
12. Техничко-экономические показатели:
  - а) удельные капиталовложения 57328,50 руб/кВт;
  - б) себестоимость энергии 0,39 руб/кВт·ч;
  - в) период окупаемости 324 месяца.

## **1. Анализ исходных данных**

### **1.1 Климат в районе проектирования**

Тасеевская область находится на юго-востоке Красноярского края и подвержена влиянию умеренного климатического пояса с резко-континентальным климатом.

Не замерзание Енисея зимой и наличие Енисейского водохранилища, оказывают смягчающее влияние на суровый климат региона. Основными характеристика становятся малоснежная морозная зима и жаркое лето, круглогодично с большими перепадами температур воздуха. В области преобладание имеют сухие степные воздушные массы из Казахстана, что делают климат значительно теплее вместе с близко расположенными водоёмами.

Зима (начало ноября -конец марта) холодная. Преобладает пасмурная погода с частыми снегопадами и метелями. Преобладающие дневные температуры воздуха в январе -18, -22 гр., ночные - 25, - 28 гр. (абс. мин. -52 гр.). Устойчивый снежный покров образуется в конце октября и достигает к концу зимы 0,5-0,6 м. Весна (конец марта-май) с неустойчивой погодой. Ясные и солнечные дни сменяются холодными и пасмурными, иногда со снегопадами. Температура воздуха в мае днем +6, + 10 гр., ночью регулярны заморозки до -7 гр. Снежный покров сходит в конце апреля - начале мая. Лето (июнь-август) теплое. Преобладающие температуры воздуха днем в июле + 19, +23 гр., ночью +8, + 15 гр. (абс. макс. + 38 гр.). Осень (сентябрь-начало ноября) с преобладанием пасмурной погоды, температура воздуха днем в сентябре +8, +15 гр., ночью +2, +5 гр. Заморозки с начала сентября. Ветры преобладают юго-западные и западные.

### **1.2 Гидрологические данные**

Тасеева река является наиболее значительным притоком Ангары ниже Байкала со средним расходом воды в устье около 760 куб. м/с или 24 куб. км в год. Ширина реки 520-730 м, глубина варьируется от 1,4 до 2,5 м, скорость течения 0,8-1,4 м/сек, грунт дна твердый. Уровень воды в период весеннего половодья поднимается до 2-3 м выше меженного. Межень устанавливается в начале августа. Для реки характерны значительные изменения годового стока, что находит выражение в расхождении значений среднегодового расхода воды в случае, если он вычисляется на основании разных периодов наблюдений. Например, средний расход воды 1990 года составил 474 куб. м/с, а 1960 года — 1028 куб. м/с, что соответствует более чем двукратному изменению. Для лет со значительным годовым стоком характерны также большие весенние паводки — в мае того же 1960 года имел место максимальный среднемесячный расход, равный 4450 куб. м/с. В отдельные дни приток воды из Тасеевой в Ангару может быть не меньше количества воды, который несёт Енисей выше слияния с Ангарой.



Кривые связи расходов и уровней воды в нижнем бьефе для летнего и зимнего периодов представлены на рисунке 1.1.

Кривая связи объёмов и уровней воды в верхнем бьефе представлена на рисунке 1.2.

Таблица 1.1 – Гидрологический ряд реки Тасеева

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср.
1904	74	56	56	186	875	507	453	332	309	191	89	89	268
1905	82	63	63	227	1124	441	424	534	405	273	147	126	326
1906	40	28	26	99	980	650	342	522	451	284	132	83	303
1907	57	40	37	114	1181	763	491	482	401	275	61	66	331
1908	57	40	40	59	1009	365	565	354	289	209	105	96	266
1909	88	64	64	296	1101	591	746	566	565	359	137	114	391
1910	81	61	58	74	1039	598	439	533	391	265	102	107	312
1911	73	54	55	85	1068	598	439	533	391	265	116	92	314
1912	77	58	57	76	733	677	828	501	322	222	103	95	312
1913	75	54	54	209	796	598	439	533	391	265	124	100	303
1914	81	61	58	141	806	554	465	512	485	299	102	107	306
1915	54	39	40	271	1154	531	439	423	405	271	96	84	317
1916	75	54	54	210	1080	603	442	538	395	268	125	100	329
1917	79	44	49	154	932	440	424	533	405	273	111	95	295
1918	87	63	61	78	740	683	834	504	325	223	111	102	318
1919	79	44	49	154	860	769	293	292	270	151	111	95	264
1920	74	54	53	208	791	604	338	366	262	141	124	98	259
1921	78	43	48	151	961	677	828	501	341	222	109	92	338
1922	78	59	58	235	1116	679	832	502	381	223	120	103	366
1923	83	59	63	310	750	653	394	524	455	286	130	102	317
1924	87	63	61	78	792	625	484	334	266	176	110	102	265
1925	77	58	57	232	1105	759	442	345	320	163	119	102	315
1926	75	57	57	187	797	766	291	289	271	150	91	90	260
1927	78	43	48	152	920	767	293	290	280	151	110	94	269
1928	94	75	73	216	1064	600	442	536	394	267	140	119	335
1929	60	41	50	293	1155	688	353	311	305	151	89	78	298
1930	58	40	37	114	990	650	345	522	455	286	62	68	302
1931	59	42	47	100	689	650	342	371	237	143	69	68	235
1932	54	40	37	108	830	1069	518	755	493	303	70	62	362
1933	47	337	46	150	931	563	810	631	362	284	78	76	360
1934	58	40	37	115	1058	950	398	399	453	241	61	68	323
1935	52	40	37	119	848	617	268	282	252	156	125	101	241
1936	59	41	41	60	743	744	233	257	232	144	91	71	226
1937	66	46	42	70	1170	841	780	1104	539	372	102	87	435
1938	81	59	57	355	963	430	922	504	389	279	129	101	356
1939	53	39	40	269	835	854	907	983	620	374	78	63	426
1940	57	40	38	170	805	530	446	342	300	123	89	71	251
1941	64	52	54	74	734	331	486	394	371	223	105	75	247
1942	81	45	50	157	636	864	812	701	765	331	114	96	388
1943	48	28	26	240	1146	497	501	815	492	292	71	71	352
1944	45	30	30	112	1025	694	554	616	539	329	56	54	340
1945	61	43	51	320	848	549	528	663	501	281	91	79	335
1946	60	48	50	91	969	821	456	838	493	298	100	98	360
1947	92	62	63	375	684	749	652	899	526	283	116	114	385
1948	72	57	57	245	1109	314	503	330	286	149	102	100	277

Окончание таблицы 1.1 – Гидрологический ряд реки Тасеева

1949	88	69	65	224	729	332	585	366	276	168	146	119	264
1950	77	58	58	77	978	707	856	704	526	299	103	95	378
1951	75	57	57	187	1116	921	358	424	333	209	89	90	326
1952	78	53	53	70	905	777	541	429	358	244	98	97	309
1953	77	57	57	230	813	769	518	646	445	293	118	101	344
Q ср.мес	70	56	50	171	930	648	522	513	394	243	103	91	316

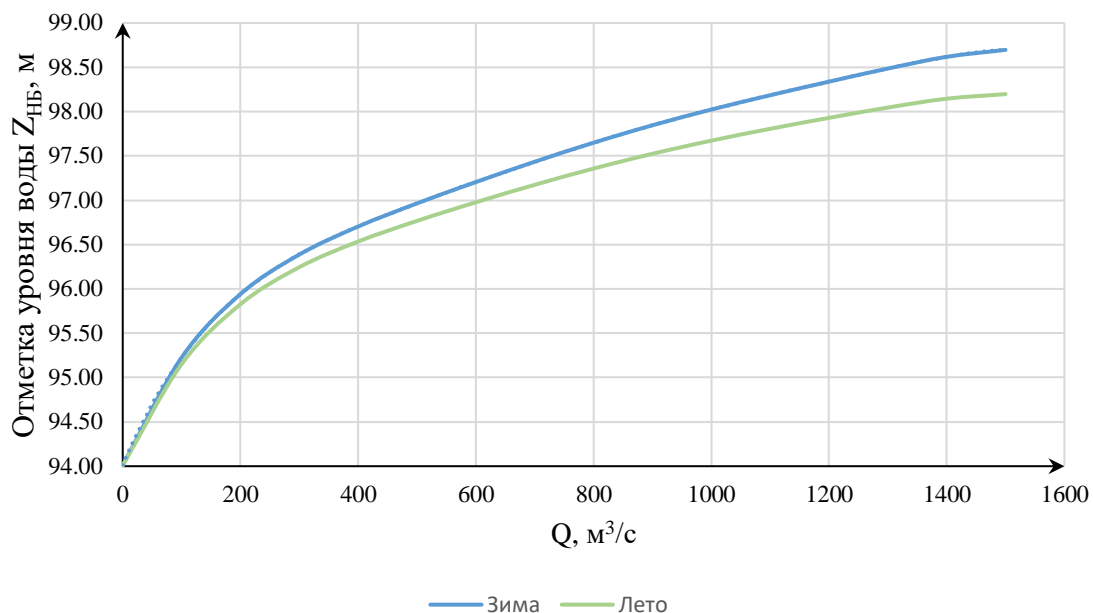


Рисунок 1.1 – Кривые связи  $Z_{НБ}=f(Q)$

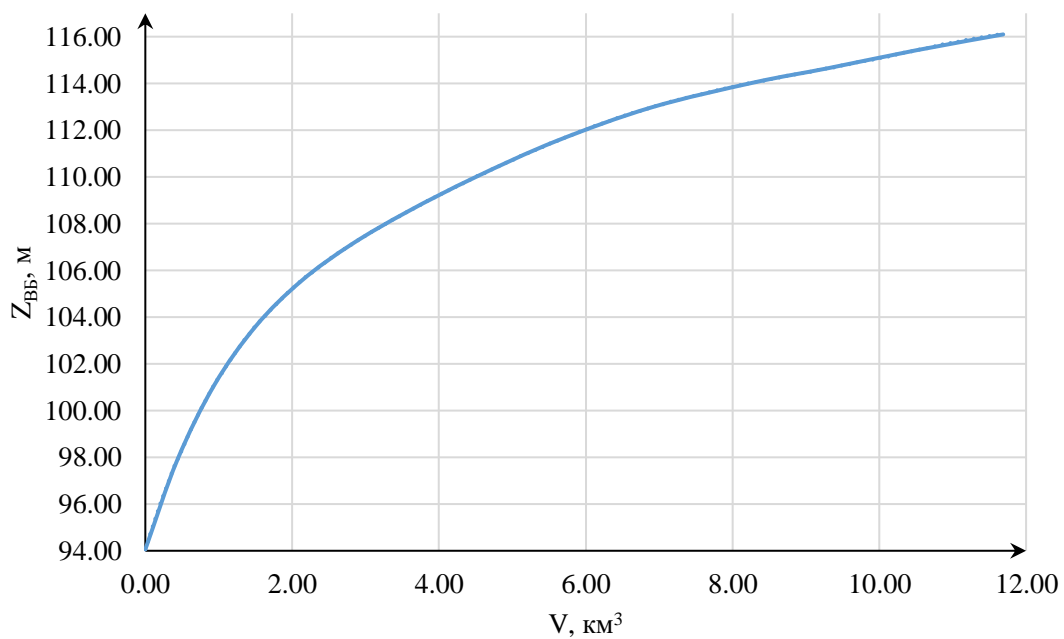


Рисунок 1.2 – Кривая связи  $Z_{ВБ}=f(V)$

### **1.3 Инженерно-геологических условия**

В месте створа преобладают грунты-долериты (диабазы). Долерит-крупно и среднезернистый базальт, обладающий долеритовой структурой. Долерит имеет вулканическое происхождение, химически и по минеральному составу является аналогом базальта. Состоит, в основном, из лабрадора и авгита.

### **1.4 Сейсмические условия**

За год в данной области сейсмологи регистрируют порядка 30-50 землетрясений. Территория, на которой протекает река лежит в зоне, где землетрясения случаются не часто в диапазоне не более 5-6 баллов по шкале MSK-64.

### **1.5 Данные об энергосистеме**

Проектируемая электростанция входит в зону операционной деятельности Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири и относится к Красноярскому РДУ.

## **2. Водно-энергетические расчеты**

### **2.1 Выбор расчётных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности стока**

В соответствии с методикой выбора расчетных гидрографов (метод реального года) целесообразно разделить год на два основных периода: многоводный (половодье) и маловодный (межень). Считаем, что к периоду половодья относятся месяцы, в которые расходы больше или равны среднегодовому расходу ( $Q_n \geq Q_{ср.год}$ ). Тогда остальные месяцы составят маловодный период ( $Q_m < Q_{ср.год}$ ).

Далее вычисляем средние расходы за год, период межени и период половодья. Ранжируем каждую последовательность в порядке убывания и по формуле 2.1 вычисляем обеспеченности.

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

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

Ранжированные данные средних расходов в период межени и в период половодья представлены в таблице 2.1 в убывающем порядке.

Таблица 2.1 – Средние расходы за год в период межени и в период половодья

m	P, %	Q <sub>год</sub> , м <sup>3</sup> /с	Годы	Q <sub>полов</sub> , м <sup>3</sup> /с	Годы	Q <sub>межени</sub> , м <sup>3</sup> /с	Годы
1	2	435	1937	887	1937	160	1909
2	4	426	1939	840	1939	158	1947
3	6	391	1909	756	1942	152	1938
4	8	388	1942	754	1950	148	1923
5	10	385	1947	733	1932	145	1933
6	12	378	1950	715	1946	141	1928
7	14	366	1922	714	1909	140	1905
8	16	362	1932	702	1922	133	1953
9	18	360	1946	702	1947	132	1945
10	20	360	1933	690	1943	131	1939
11	22	356	1938	686	1944	127	1916
12	24	352	1943	664	1907	126	1913
13	25	344	1953	662	1921	126	1949
14	27	340	1944	659	1933	125	1922
15	29	338	1921	652	1934	125	1942
16	31	335	1928	642	1938	122	1915
17	33	335	1945	638	1953	121	1914
18	35	331	1907	630	1951	115	1925
19	37	329	1916	618	1945	115	1917
20	39	326	1951	617	1918	112	1937
21	41	326	1905	612	1912	112	1948
22	43	323	1934	612	1916	111	1943
23	45	318	1918	607	1928	110	1950
24	47	317	1923	606	1911	109	1951
25	49	317	1915	602	1952	109	1929
26	51	315	1925	600	1910	107	1920
27	53	314	1911	594	1925	107	1910
28	55	312	1912	592	1930	106	1946
29	57	312	1910	590	1915	106	1921
30	59	309	1952	589	1906	106	1904
31	61	306	1914	586	1905	106	1911
32	63	303	1913	564	1914	104	1918
33	65	303	1906	562	1929	101	1926
34	67	302	1930	555	1923	99	1952
35	69	298	1929	551	1913	99	1906
36	71	295	1917	547	1917	98	1912
37	73	277	1948	516	1908	98	1919
38	75	269	1927	510	1927	97	1924
39	76	268	1904	508	1948	97	1927
40	78	266	1908	500	1924	96	1932
41	80	265	1924	497	1919	95	1930
42	82	264	1919	495	1904	94	1944
43	84	264	1949	485	1940	93	1907
44	86	260	1926	483	1926	92	1941
45	88	259	1920	472	1920	90	1935
46	90	251	1940	463	1941	89	1934
47	92	247	1941	458	1931	87	1908
48	94	241	1935	458	1949	84	1940
49	96	235	1931	453	1935	75	1931
50	98	226	1936	442	1936	72	1936

### 2.1.1 Выбор расчётного средневодного года (P=50%)

Для заданной расчетной обеспеченности на кривых обеспеченности отсутствует конкретный год. По кривой обеспеченности годовых расходов определяем ближайшие годы справа и слева от расчетной обеспеченности 50%: 1915 и 1925 годы. Интерполируем значение расхода для 50% обеспеченности.

Для данного контрольного примера, среднеполоводное значение для 50% обеспеченности 601 м<sup>3</sup>/сек – базовое значение. Маловодное базовое значение для 50% обеспеченности 108 м<sup>3</sup>/сек.

Вычисляем коэффициенты приведения для 1915 года:

$$K_{п} = \frac{Q_{п50\%базовое}}{Q_{п 1915}} = \frac{601}{590} = 1,02 \quad (2.2)$$

$$K_{м} = \frac{Q_{м50\%базовое}}{Q_{м 1915}} = \frac{108}{122} = 0,89 \quad (2.3)$$

Аналогично вычисляем коэффициенты приведения для 1925 года:

$$K_{п} = \frac{Q_{п50\%базовое}}{Q_{п 1925}} = \frac{601}{594} = 1,01 \quad (2.4)$$

$$K_{м} = \frac{Q_{м50\%базовое}}{Q_{м 1925}} = \frac{108}{115} = 0,94 \quad (2.5)$$

Коэффициенты приведения ближе к 1 для 1925 г. В случае, если один из коэффициентов – понижающий, другой – повышающий, необходимо сделать приведение. Коэффициенты после корректировки равны:

$$K_{п} = 1,01$$

$$K_{м} = 0,96$$

Для маловодного года аналогично.

Для 1925 года уточняем годовой сток умножив среднемесячные расходы на вычисленные коэффициенты  $K_{п} = 1,01$ ,  $K_{м} = 0,96$ , тем самым получены исправленные расходы, представленные в таблице 2.2.

Т.к. среднегодовые расходы сошлись, следовательно, корректировка произведена правильно.

Таблица 2.2 – Расчетный средневодный год (P=50%) с приведением

P=50%	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Q <sub>ср.год.</sub>
1925	77	58	57	232	1105	759	442	345	320	163	119	102	315
С привед.	72	55	54	218	1116	767	446	349	323	153	112	96	313
С коррект.	74	56	55	223	1116	767	446	349	323	157	114	98	315

## 2.1.2 Выбор расчётного маловодного года (P=90%)

По значениям среднегодовых расходов 90% обеспеченности соответствует 1940 г.

Базовое значение по половодью для 90% обеспеченности равно 463 м<sup>3</sup>/сек.

Базовое значение по межени для 90% обеспеченности равно 89 м<sup>3</sup>/сек.

Вычисляем коэффициенты приведения по половодью для сравниваемых лет:

$$K_{п} = \frac{Q_{п90\%базовое}}{Q_{п1940}} = \frac{463}{485} = 0,95 \quad (2.6)$$

$$K_{м} = \frac{Q_{м90\%базовое}}{Q_{м1940}} = \frac{89}{84} = 1,06 \quad (2.7)$$

Поскольку коэффициент межени повышающий, а коэффициент половодья понижающий необходимо сделать приведение и корректировку. Коэффициенты после корректировки равны:

$$K_{п} = 0,95$$

$$K_{м} = 1,2$$

Вычислим среднегодовой расход маловодного года, учитывая коэффициенты. Полученные расходы представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расчетный маловодный год (P=90%) с корректировкой

P=90%	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Q <sub>ср.год.</sub>
1940	57	40	38	170	805	530	446	342	300	123	89	71	251
С привед.	60	42	40	180	765	504	424	325	285	130	94	75	244
С коррект.	68	48	46	204	765	504	424	325	285	147	107	85	251

Среднегодовые расходы сошлись, следовательно, корректировка по приведенным коэффициентам произведена верно.

Уточнив окончательно расчетные гидрографы среднегодового и маловодного лет, необходимо проверить, не превышают ли в какие-либо месяцы расходы маловодного года аналогичных расходов среднегодового года. Данные представлены в таблице 2.4. В данном случае все расходы среднегодового года больше маловодного, корректировка не требуется.

Таблица 2.4 – Сравнение расходов среднегодового и маловодного годов

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Q <sub>ср.год.</sub>
Q <sub>1925</sub>	74	56	55	223	1116	767	446	349	323	157	114	98	315
Q <sub>1940</sub>	68	48	46	204	765	504	424	325	285	147	107	85	251
Разность	6	8	9	19	351	263	22	24	38	10	7	13	

На рисунке 2.1 представлен гидрограф среднегодового и маловодного года

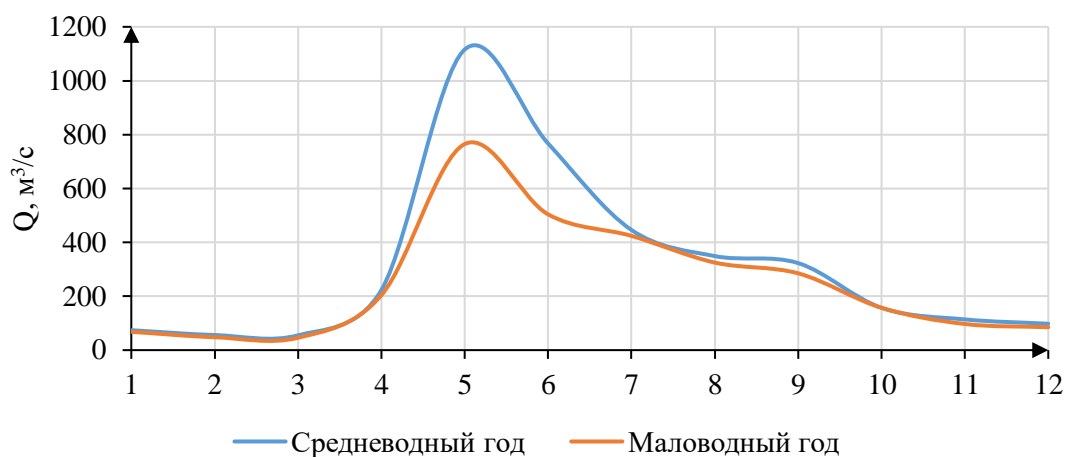


Рисунок 2.1 – Гидрограф средневодного и маловодного года

### 2.1.3 Построение суточных графиков нагрузки

Данные потребления электроэнергии, необходимые для построения суточных графиков нагрузки представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Данные суточной нагрузки зима, лето

23.01.2019	Мощность потребления РДУ, МВт	13.06.2019	Мощность потребления РДУ, МВт
0:00	5554	0:00	4221
1:00	5543	1:00	4237
2:00	5676	2:00	4323
3:00	5879	3:00	4506
4:00	6027	4:00	4658
5:00	6152	5:00	4835
6:00	6164	6:00	4871
7:00	6132	7:00	4905
8:00	6091	8:00	4860
9:00	6039	9:00	4853
10:00	6025	10:00	4856
11:00	5990	11:00	4825
12:00	6011	12:00	4843
13:00	6069	13:00	4841
14:00	6215	14:00	4817
15:00	6252	15:00	4810
16:00	6097	16:00	4775
17:00	6066	17:00	4805
18:00	5979	18:00	4815
19:00	5838	19:00	4683
20:00	5685	20:00	4490
21:00	5585	21:00	4348

Окончание таблицы 2.5 – Данные суточной нагрузки зима, лето

22:00	5546	22:00	4288
23:00	5540	23:00	4272
0:00	5571	0:00	4233

## 2.2 Баланс Энергии

### 2.2.1 Годовые графики максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы

Используя данные из суточного графика  $P(t)$ , построим годовые графики максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы:

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

$$P_t^{max} = a + b \cdot \cos|30^\circ t - 15^\circ| \quad (2.8)$$

где  $t$  – номер месяца.

При  $P_3^{max} = 6252$  МВт и  $P_л^{max} = 4905$  МВт получаем:

$$a = \frac{P_3^{max} + P_л^{max}}{2} = \frac{6252 + 4905}{2} = 5579 \quad (2.9)$$

$$b = \frac{P_3^{max} - P_л^{max}}{2} = \frac{6252 - 4905}{2} = 674 \quad (2.10)$$

По аналогичным формулам также рассчитаем график среднемесячных нагрузок энергосистемы.

При  $P_3^{cp} = 5923$  МВт и  $P_л^{cp} = 4656$  МВт получаем:

$$a = \frac{P_3^{cp} + P_л^{cp}}{2} = \frac{5923 + 4656}{2} = 5290 \quad (2.11)$$

$$b = \frac{P_3^{cp} - P_л^{cp}}{2} = \frac{5923 - 4656}{2} = 634 \quad (2.12)$$



Таблица 2.6 – Данные для построения годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы

$t$	$\alpha$	$\cos$	$P_t^{max}$	$P_t^{cp}$
1	0,26	0,97	6229	5901
2	0,79	0,71	6055	5737
3	1,31	0,26	5753	5453
4	1,83	-0,26	5404	5126
5	2,36	-0,71	5102	4842
6	2,88	-0,97	4928	4678
7	3,40	-0,97	4928	4678
8	3,93	-0,71	5102	4842
9	4,45	-0,26	5404	5126
10	4,97	0,26	5753	5453
11	5,50	0,71	6055	5737
12	6,02	0,97	6229	5901

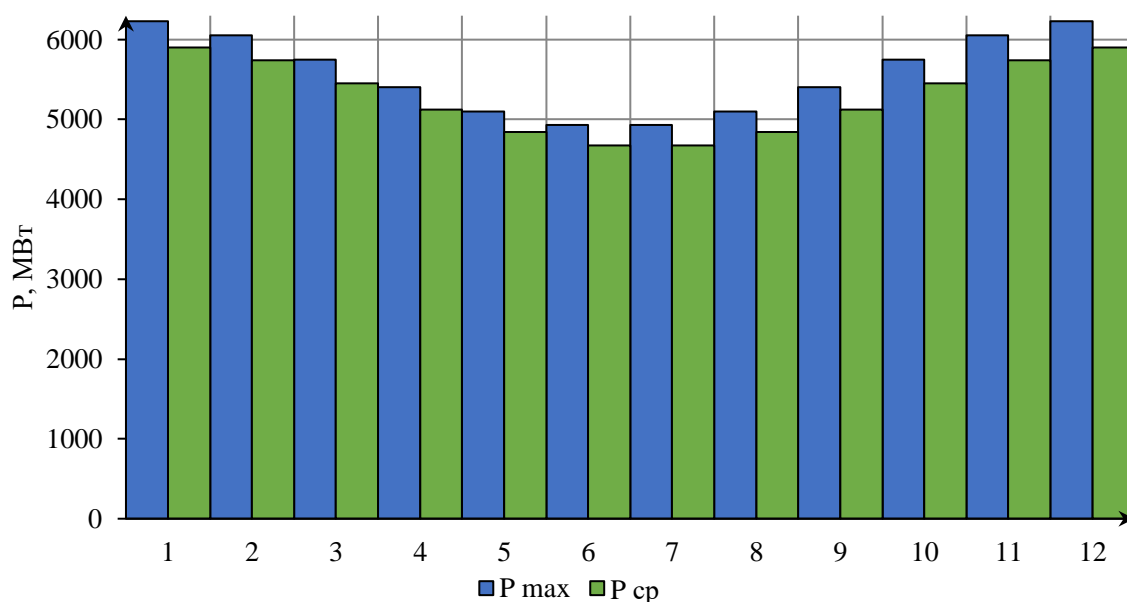


Рисунок 2.2 – График максимальных и среднемесячных мощностей

### 2.2.2 Расчет конкурирующих режимов ГЭС по ВХК и бытовой мощностям

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

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

$$N_{\text{Быт.ГЭС}} = k_N \cdot Q^{\text{пр}90\%} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}} \quad (2.13)$$

где  $k_N$  – коэффициент мощности,  $k_N = 8,6$ ;  
 $Q^{\text{пр}90\%}$  – бытовой расход расчетного маловодного года,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}}$  – подведенный напор ГЭС, м.

$$H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}} = Z_{\text{ВБ}} - Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}(t)) - \Delta h \quad (2.14)$$

где  $Z_{\text{ВБ}}$  – отметка верхнего бьефа, соответствующая отметке  $\nabla$  НПУ, м;  
 $Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}(t))$  – уровень нижнего бьефа, определенный по летней или зимней кривой связи, м;

$\Delta h$  – потери напора в водоподводящих сооружениях,  $\Delta h = 0,2$  м.

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

$$N_{\text{ВХК}} = k_N \cdot Q_{\text{ВХК}} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}} \quad (2.15)$$

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

Таблица 2.7 – Режим работы без регулирования с учетом ВХК

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{\text{быт}} 90\%, \text{м}^3/\text{с}$	68	48	46	204	765	504	424	325	285	147	107	85
$Q_{\text{ВХК}}, \text{м}^3/\text{с}$	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
$Q_{\text{исп}}, \text{м}^3/\text{с}$	0	0	0	2	8	5	4	3	3	1	0	0
$Q_{\text{лед}}, \text{м}^3/\text{с}$	1	1	1	3	4	0	0	0	0	0	2	2
$Q_{\text{фильтр}}, \text{м}^3/\text{с}$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\Sigma Q_{\text{потерь}}, \text{м}^3/\text{с}$	4	3	3	2	6	8	7	8	7	4	5	4
$Q_{\text{пол.}}, \text{м}^3/\text{с}$	64	45	43	202	759	496	417	317	278	143	102	81
$Z_{\text{ВБ}}, \text{м}$	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114
$Z_{\text{НБ}}, \text{м}$	95	95	95	96	97	97	97	96	96	96	95	95
$H, \text{м}$	19	19	19	18	17	17	17	17	18	18	19	19
$N_{\text{быт}}, \text{МВт}$	11	8	7	32	110	74	63	49	43	23	17	13
$N_{\text{ВХК}}, \text{МВт}$	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
$N_{\text{водот}} - N_{\text{ВХК}}, \text{МВт}$	-15	-19	-19	6	84	48	37	23	17	-3	-9	-13

Исходя из данных таблицы 2.7 можно определить, что 10 месяц – это месяц начала сработки водохранилища.

Данный расчёт выполняется с целью определения месяцев, в которые ГЭС будет работать на расходах, превышающих требования ВХК. Мощность, которую мы можем распределить в месяцы регулирования, рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{быт}} - N_{\text{вхк}} = 138 \text{ МВт} \quad (2.16)$$

По данным таблицы 2.8 строим баланс энергии, представленный на рисунке 2.4, на котором излишки бытовой мощности распределяем таким образом, чтобы обеспечить максимальное вытеснение тепловых мощностей системы и максимально сгладить среднемесячную нагрузку на годовом графике среднемесячных мощностей.

Для того, чтобы произвести первый приближенный расчёт гарантированной энергоотдачи, на рисунке проводим горизонтальную прямую гарантированной мощности (черная линия).

Таблица 2.8 – Данные для построения баланса энергии

Месяцы	$P_{\text{ср}}$ , МВт	$N_{\text{сущ. гЭС}}$ , МВт	$N_{\text{быт}}$ , МВт	$N_{\text{вхк}}$ , МВт
Январь	5901	419	11	26
Февраль	5737	384	8	26
Март	5453	349	7	26
Апрель	5126	332	32	26
Май	4842	314	110	26
Июнь	4678	279	74	26
Июль	4678	279	63	26
Август	4842	314	49	26
Сентябрь	5126	332	43	26
Октябрь	5453	349	24	26
Ноябрь	5737	384	15	26
Декабрь	5901	419	13	26

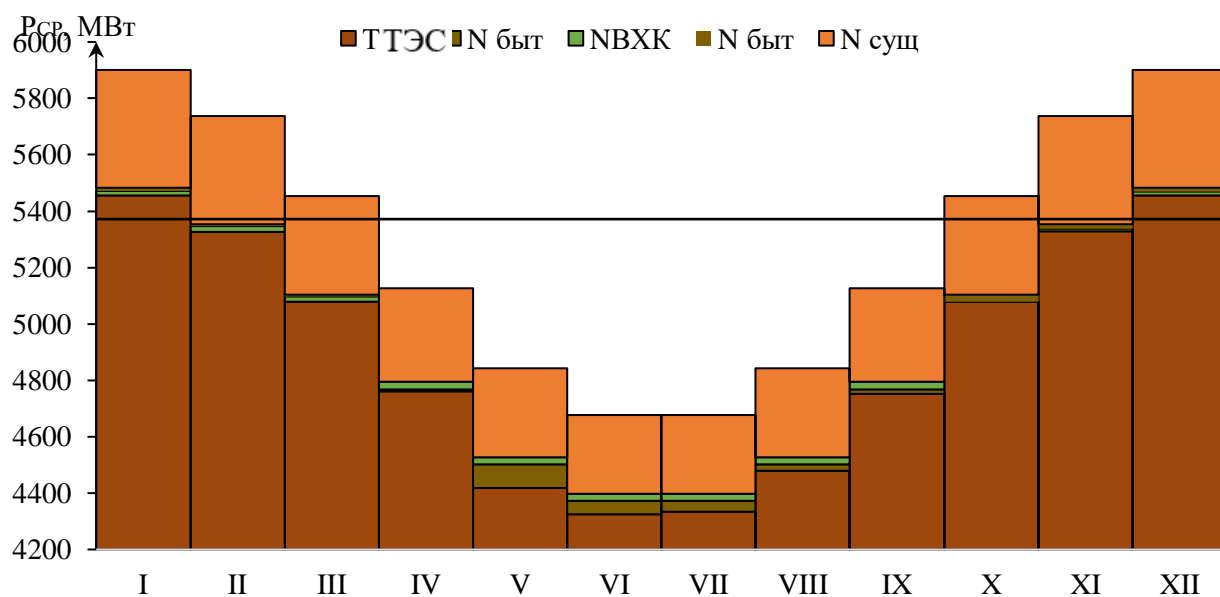


Рисунок 2.3 – Баланс энергии для проектируемой ГЭС с учётом перераспределения бытовых мощностей

Из рисунка 2.3 видно, что под регулирование попали 2 месяца, а в остальные месяцы, ГЭС работает по требованиям ВХК. Данные таблицы 2.10 необходимы для проведения 1 итерации ВЭР.

Таблица 2.9 – Гарантированная мощность проектируемой ГЭС

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$N_{\text{гар}}$ , МВт	96	ВХК										96

### 2.2.3 Режим работы ГЭС по условию маловодного года

Целью ВЭР режима работы ГЭС в маловодном году является:

- определение гарантированной мощности, проектируемой ГЭС;
- отметки УМО;
- полезный объем водохранилища.

Расчет начинаем с момента, когда водохранилище наполнено и, следовательно, уровень воды в нем равен  $\nabla_{\text{НПУ}} = 114$  м. Месяцем, в который начинается сработка водохранилища принимается первый после половодья, в котором мощность ВХК превышает мощность проектируемой ГЭС по водотоку, в рассматриваемом случае это октябрь.

Регулирование мощности осуществляется регулированием расхода ГЭС. Уровни верхнего и нижнего бьефа определяются с помощью кривых связей.

Для правильного расчета мы должны соблюдать три условия:

$$Q_{\text{НБ}} = Q_{\text{ВХК}} \quad (2.17)$$

$$Z_{\text{ВБнач}} = Z_{\text{ВБкон}} \quad (2.18)$$

$$N_{\text{ГЭС}} = N_{\text{Гар}} \quad (2.19)$$

Результаты расчетов ВЭР по условию маловодного года:

- гарантированная мощность января, декабря –  $N_{\text{гар}} = 95$  МВт;
- уровень мёртвого объёма – УМО = 109,34 (м).
- полезный объем –  $V_{\text{полезн}} = 4,02$  (км<sup>3</sup>).

Таблица сработки и наполнения водохранилища представлена в Приложении А, таблица А.1

## 2.3 Баланс мощности

### 2.3.1 Определение рабочей мощности ГЭС

Расчетные суточные и годовые графики нагрузки энергосистемы должны в первую очередь покрываться существующими станциями, для чего необходимо вписать эти станции в графики, используя заданную по ним исходную информацию.

Определение рабочей мощности проектируемой ГЭС в январе:

На Красноярское РДУ работает часть Красноярской ГЭС, суточная выработка которой в каждом месяце представлена в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Выработка и мощности существующих ГЭС

Месяцы	$\bar{E}_{\text{гар. ГЭС}}$	$N_{\text{уст ГЭС}}$
Январь	10,05	1000
Февраль	9,22	1000
Март	8,38	1000
Апрель	7,96	1000
Май	7,54	1000
Июнь	6,70	1000
Июль	6,70	1000
Август	7,54	1000
Сентябрь	7,96	1000
Октябрь	8,38	1000
Ноябрь	9,22	1000
Декабрь	10,05	1000

Строим треугольники существующих ГЭС, где по горизонтальной оси расположена суточная выработка, а по вертикальной - установленная мощность рассматриваемой ГЭС. Вписываем его в ИКН, так, чтобы две вершины треугольника касались её.

Определяем зону работы Красноярской ГЭС в суточном графике .

Далее вписываем проектируемую ГЭС в свободную зону пика либо полу пика, а также в базу графика нагрузки.

Для этого необходимо при,  $Q_{\text{сан.попуска}} = 75 \text{ м}^3/\text{с}$ , вычислить:

$$N_{\text{базы}} = \frac{k_n \cdot Q_{\text{сан.попуска}} \cdot H_{\text{гэс}}}{1000} = \frac{8,6 \cdot 75 \cdot 13,67}{1000} = 9 \text{ МВт} \quad (2.20)$$

$$E_{\text{базы}} = \frac{24 \cdot N_{\text{базы}}}{1000} = 0,217 \text{ млн. кВт} \cdot \text{ч} \quad (2.21)$$

Вписываем полученные значения базы на ИКН.

Чтобы вписать проектируемую ГЭС в зону пика или полупика необходимо:

$N_{\text{гар}}=95 \text{ МВт}$ , следовательно

$$\mathcal{E}_{\text{гар}} = \frac{24 \cdot N_{\text{гар}}}{1000} = 2,28 \text{ млн. кВт} \cdot \text{ч} \quad (2.22)$$

$$\mathcal{E}_{\text{пик}} = \mathcal{E}_{\text{гар}} - \mathcal{E}_{\text{баз}} = 2,28 - 0,217 = 2,068 \text{ млн. кВт} \cdot \text{ч} \quad (2.23)$$

Проводим  $\mathcal{E}_{\text{пик}}$  на ИКН таким образом, чтобы вершины треугольника коснулись линии ИКН. Катет треугольника параллельный оси Р, примет значение  $N_{\text{пик}} = 105$  МВт.

В результате, зная мощность базы и пика рассчитаем  $N_{\text{раб}}$ :

$$N_{\text{раб}} = N_{\text{пик}} + N_{\text{базы}} = 105 + 9 = 114 \text{ МВт} \quad (2.24)$$

Расчет рабочих мощностей для оставшихся месяцев проводятся аналогично и заносится в таблицу 2.11. Размещение треугольников на ИКН для января и июня приведены в Приложении Б, рисунок Б.1 и рисунок Б.2 соответственно.

Таблица 2.11– Сводная таблица рабочих мощностей для проектируемой ГЭС

Месяцы	$N_{\text{гар}}$	$\mathcal{E}_{\text{сут.гар}}$	$N_{\text{баз}}$	$\mathcal{E}_{\text{баз}}$	$N_{\text{пик}}$	$\mathcal{E}_{\text{пик}}$	$N_{\text{раб}}$
Январь	95	2,28	9	0,217	105	2,068	114
Февраль	18	0,44	9	0,227	100	0,208	109
Март	18	0,42	9	0,221	80	0,202	89
Апрель	18	0,42	9	0,220	100	0,202	109
Май	19	0,46	10	0,239	80	0,219	90
Июнь	21	0,51	11	0,265	80	0,243	91
Июль	22	0,53	12	0,278	85	0,255	97
Август	23	0,54	12	0,286	90	0,254	102
Сентябрь	23	0,55	12	0,291	105	0,258	117
Октябрь	23	0,56	12	0,291	85	0,266	97
Ноябрь	23	0,56	12	0,290	100	0,208	112
Декабрь	95	2,28	10	0,250	104	2,068	114

Знание данных мощностей необходимо для последующего выполнения баланса мощностей.

### 2.3.2 Расчет резервов и определение установленной мощности проектируемой ГЭС, расчет баланса мощностей

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

Нагрузочный резерв расположен на существующих и на проектируемой ГЭС, поэтому аварийный будет размещен на ТЭС.

Ремонт оборудования ГЭС осуществляется в те месяцы, когда оно не полностью используется в энергосистеме, т.е. когда на ГЭС имеется свободная мощность.

Ремонтная площадь существующих ГЭС:

$$F_{\text{рем}}^{\text{сущ.ГЭС}} = \frac{N_{\text{раб}}^{\text{max}}}{6} \cdot 1 \text{ мес} = \frac{730}{6} = 122 \text{ МВт} \cdot \frac{\text{мес}}{\text{год}} \quad (2.25)$$

Ремонтная площадь проектируемой ГЭС:

$$F_{\text{рем}}^{\text{проект.}} = \frac{N_{\text{max}}^{\text{раб}}}{6} \cdot 1 \text{ мес} = \frac{114}{6} = 19 \text{ МВт} \cdot \frac{\text{мес}}{\text{год}} \quad (2.26)$$

Капитальный ремонт оборудования ТЭЦ:

$$F_{\text{рем}}^{\text{ТЭЦ}} = \frac{N_{\text{max}}^{\text{раб}}}{6} \cdot 1 \text{ мес} = \frac{5385}{6} = 898 \text{ МВт} \cdot \frac{\text{мес}}{\text{год}} \quad (2.27)$$

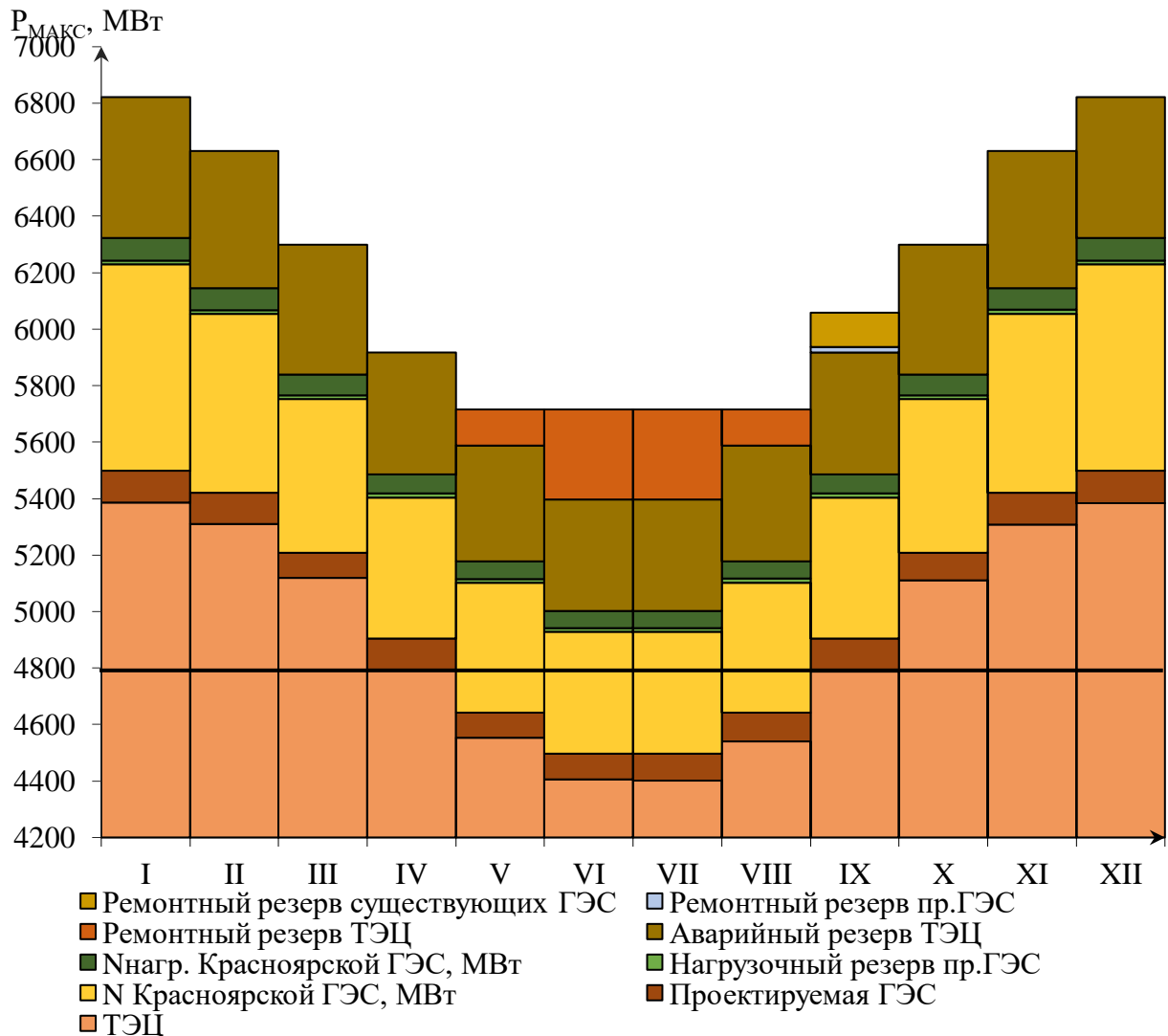


Рисунок 2.4 – Баланс мощности энергосистемы в маловодном году

Таблица 2.12–Баланс мощности энергосистемы в маловодном году

Месяцы	Энергосистема			Существующие ГЭС			Проектируемая ГЭС			ГЭС		
	$P_{max}$	$N_{н.р}$	$N_{а.р}$	$N_{раб.мах}$	$N_{н.р}$	$N_{рем}$	$N_{раб.мах}$	$N_{н.р}$	$N_{рем}$	$N_{раб.мах}$	$N_{а.р}$	$N_{рем}$
Январь	6229	93	498	730	81	0	114	13	0	5385	498	0
Февраль	6055	91	484	635	77	0	109	13	0	5310	484	0
Март	5753	86	460	545	74	0	89	12	0	5119	460	0
Апрель	5404	81	432	500	67	0	109	15	0	4795	432	0
Май	5102	77	408	460	64	0	90	13	0	4552	408	129
Июнь	4928	74	394	430	61	0	91	13	0	4407	394	320
Июль	4928	74	394	430	60	0	97	14	0	4401	394	320
Август	5102	77	408	460	63	0	102	14	0	4540	408	129
Сентябрь	5404	81	432	500	66	122	117	15	19	4787	432	0
Октябрь	5753	86	460	545	73	0	97	13	0	5111	460	0
Ноябрь	6055	91	484	635	77	0	112	14	0	5308	484	0
Декабрь	6229	93	498	730	81	0	114	13	0	5385	498	0

Установленную мощность проектируемой ГЭС представим в виде суммы:

$$N_{уст.}^{ГЭС} = N_{выт.раб}^{ГЭС} + N_{рез}^{ГЭС} = 114 + 13 = 127 \text{ МВт} \quad (2.28)$$

## 2.4 Режим работы ГЭС по условию среднеговодного года

Задача ВЭР режима работы ГЭС в среднеговодном году – определить среднесуточную выработку.

Рассмотрим режим наполнения водохранилища по мощностям в маловодном году, результаты которого представлены в таблице 2.15.

По данному расчёту построим график сработки и наполнения водохранилища ГЭС в среднеговодном году и объединим его с маловодным. График представлен на рисунке 2.5.

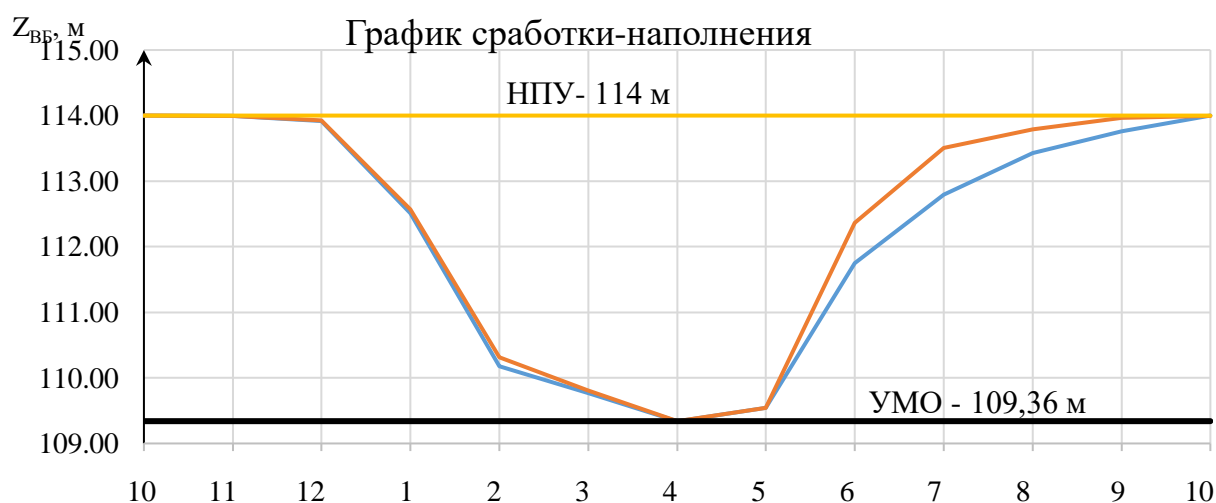


Рисунок 2.5 – График сработки-наполнения водохранилища ГЭС



## 2.5 Режимное поле

Необходимо определить область допустимых режимов работы проектируемой ГЭС, для этого строим режимное поле с указанием линий ограничений для различных режимов, представленное на рисунке 2.6.

Таблица 2.13–Данные расчёта режимного поля

Кривые связи ВБ и НБ		Напорные характеристики			Линия ограничения по расчетной установленной мощности		Линия ограничения по пропускной способности ГЭС	
$Q_{НБ},$ $м^3/с$	$Z_{НБ},$ м	$H_{НПУ},$ м	$H_{УМО},$ м	$H_{ВБ}^{ЯНБ}$	$H,$ м	$Q,$ $м^3/с$	$H,$ м	$Q,$ $м^3/с$
0	94,01	20	15	17	17	849	14	1068
150	95,53	18	14	16	16	902	13	1029
300	96,24	18	13	15	15	962	12	988
450	96,65	17	12	15	14	1031	11	946
600	96,98	17	12	14	13	1110		
750	97,27	17	12	14				
900	97,52	16	12	14				
1050	97,74	16	11	14				
1200	97,93	16	11	14				
1350	98,10	16	11	13				

Из построенного режимного поля, представленного на рисунке 2.9, определяем:

– максимальный напор  $H_{\max} = 19$  м. Определяется в точке пересечения напорной характеристики при НПУ и линии ограничения по минимальному расходу;

– расчётный напор  $H_{\text{расч}} = 13,8$  м. Определяется в точке пересечения линии ограничения по расчетной установленной мощности с линией расчётного напора;

– минимальный напор  $H_{\min} = 11,5$  м. Определяется в точке пересечения напорной характеристики при УМО и линии ограничения по пропускной способности ГЭС.

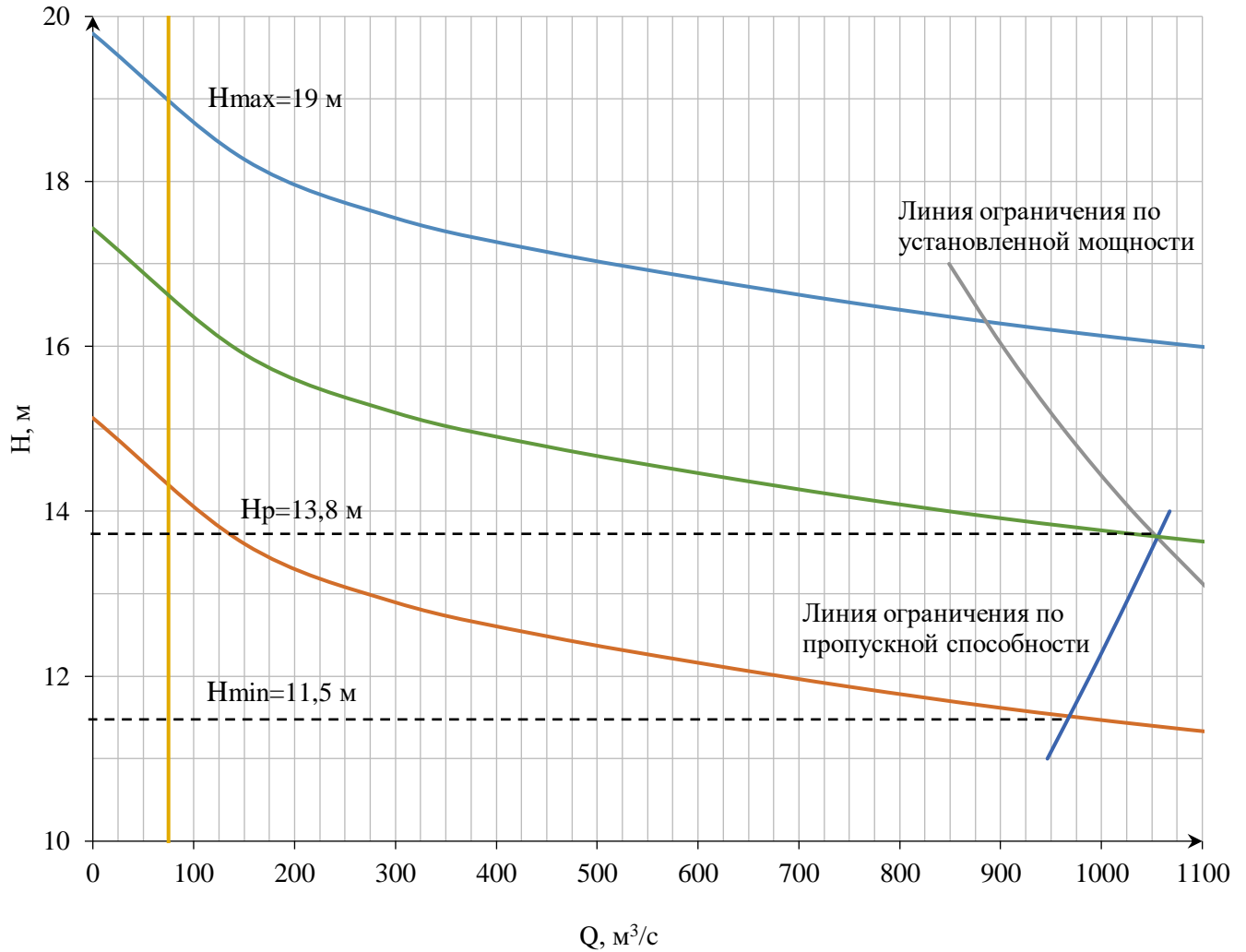


Рисунок 2.6 – Режимное поле

### 3 Основное и вспомогательное оборудование

#### 3.1 Выбор гидротурбин по главным универсальным характеристикам

Подбор оборудования с использованием ГУХ состоял в том, чтобы для каждого рассматриваемого типа турбин наметить такие варианты диаметра рабочего колеса  $D_1$  и синхронной частоты вращения  $n_{синх}$ , при которых в области допустимых режимов по напору и расходу воды проектируемая ГЭС работала бы с наибольшим КПД при минимальном заглублении и количестве установленных агрегатов.

Основываясь на полученном из режимного поля диапазоне напоров был произведён подбор турбин.

Выбираем гидротурбины типа ПЛ20-ГК и ПЛ20-В, основные параметры моделей которых представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные параметры моделей гидротурбин

Параметр	ПЛ20-ГК	ПЛ20-В
$H_{пред}, \text{ м}$	20	20
$H_{min}/H_{max}$	0,35	0,50
$n'_{I \text{ opt}}, \text{ об/мин}$	155	146
$Q'_{I \text{ opt}}, \text{ л/с}$	1580	1160
$\eta_{м \text{ opt}}$	0,918	0,920
$Q'_{I \text{ max}}, \text{ л/с}$	2750	2000
$D_{1 \text{ м}}, \text{ м}$	0,460	0,500
$H_{\text{мод}}, \text{ м}$	3	10
$t_{\text{мод}}, \text{ }^\circ\text{C}$	18	20
$\nu_{\text{мод}} \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	1,06	1,01

Производим расчёт параметров турбин, задаваясь рядом стандартных диаметров  $D_1$  рабочих колёс.

КПД натурной гидротурбины:

$$\eta_t = 1 - (1 - \eta_m) \left( 0,25 + 0,75 \cdot \sqrt[5]{\frac{\nu_n}{\nu_m}} \cdot \sqrt[5]{\frac{D_{1m}}{D_{1n}}} \cdot \sqrt[10]{\frac{H_m}{H_p}} \right), \quad (3.1)$$

где  $\eta_m, D_{1m}, H_m$  - КПД, диаметр и напор модельной турбины;

$D_{1n}, H_p$  - диаметр и расчётный напор натурной турбины;

$\nu_m, \nu_n$  - коэффициенты кинетической вязкости воды, зависящие от её температуры, для модельной и натурной гидротурбины.

Мощность агрегата в расчётной точке:

$$N_a = 9,81 \cdot Q'_{Ip} \cdot D_1^2 \cdot H_p^{1,5} \cdot \eta_t \cdot \eta_g^{cp}, \quad (3.2)$$

где  $Q'_{Ip}$  - приведённый расход в расчётной точке;

$\eta_t$  - КПД натурной турбины;

$\eta_g^{cp}$  - средний КПД генератора. Принимаем  $\eta_g^{cp} = 0,975$

Число устанавливаемых агрегатов (округляем до ближайшего большего числа):

$$Z_a = \frac{N_{уст}}{N_a}, \quad (3.3)$$

где  $N_{уст}$  - установленная мощность проектируемой ГЭС;

$N_a$  - мощность агрегата в расчётной точке.

Поправка КПД при переходе от модели к натуре:

$$\Delta_1 = \frac{\eta_H}{\eta_M}, \quad (3.4)$$

Синхронная частота вращения турбины (округляется по стандартному ряду до ближайшего большего числа):

$$n'_c = \frac{n'_p \cdot \sqrt{\Delta_1 \cdot H_p}}{D_1}, \quad (3.5)$$

где  $n'_p$  - приведённая частота вращения в расчётной точке.

Приведённые максимальная, расчётная и минимальная частоты вращения:

$$n'_{imax} = \frac{n_c \cdot D_1}{\sqrt{\Delta_1 \cdot H_{min}}}, \quad (3.6)$$

$$n'_{ip} = \frac{n_c \cdot D_1}{\sqrt{\Delta_1 \cdot H_p}}, \quad (3.7)$$

$$n'_{imin} = \frac{n_c \cdot D_1}{\sqrt{\Delta_1 \cdot H_{max}}}. \quad (3.8)$$

Произведение приведённого расхода в расчётной точке на КПД:

$$Q'_{ip} \cdot \eta_T = \frac{N_a}{9,81 \cdot D_1^2 \cdot H_p^{1,5} \cdot \eta_{Г^{cp}}}. \quad (3.9)$$

Для определения окончательного положения расчётной точки на линии  $n'_{ip}$  подбираем такое произведение  $Q'_{ip} \cdot \eta_T$ , чтобы выполнялось равенство.

Произведение для ограничения по генератору:

$$Q'_{ip} \cdot \eta_T = \frac{N_a}{9,81 \cdot D_1^2 \cdot H_{max}^{1,5} \cdot \eta_{Г^{cp}}}. \quad (3.10)$$

Приведённые расходы:

$$Q'_{I\max} = \frac{Q_{\min}}{D_1^2 \cdot \sqrt{H_{\min} \cdot \Delta}}, \quad (3.11)$$

$$Q'_{I\min} = \frac{Q_{\min}}{D_1^2 \cdot \sqrt{H_{\max} \cdot \Delta}}. \quad (3.12)$$

Расчёты для нескольких диаметров турбин ПЛ20-ГК и ПЛ20-В сведены в таблицы 3.2 и 3.3 соответственно.

Таблица 3.2 – Параметры гидротурбины ПЛ20-В

<b>D<sub>1</sub>, м</b>	<b>5,6</b>	<b>6</b>	<b>6,3</b>
$\eta_T$	0,914	0,915	0,915
$N'_a$ , кВт	25999	29872	32953
$Z'_a$	3,885	3,252	2,854
$Z_a$	4	3	3
$N_a$ , МВт	26,0	29,9	33,0
$\Delta_1$	1,035	1,036	1,037
$n'_c$	98,53	92,00	87,6
$n_c$	100,0	93,8	88,2
$n'_1 H_{\min}$	167,88	168,20	171,04
$n'_1 H_p$	153,26	153,54	156,14
$n'_1 H_{\max}$	130,61	130,86	133,07
$Q'_1 \cdot \eta_p$	1,620	1,621	1,622
$Q'_1 \cdot \eta_{\max}$	1,003	1,003	1,004
$Q_{\max}$	0,664	0,602	0,539
$Q_{\min}$	0,865	0,774	0,693

Таблица 3.3 – Параметры гидротурбины ПЛ20-ГК

<b>D<sub>1</sub>, м</b>	<b>5,3</b>	<b>5,6</b>	<b>6</b>	<b>6,3</b>
$\eta_T$	0,905	0,906	0,906	0,907
$N'_a$ , кВт	34590	38644	44402	48984
$Z'_a$	3,672	3,286	2,860	2,593
$Z_a$	4	3	3	3
$N_a$ , МВт	34,6	38,6	44,4	49,0
$\Delta_1$	1,054	1,054	1,055	1,056
$n'_c$	111,51	105,58	98,58	93,92
$n_c$	115,4	107,1	100,0	100,0
$n'_1 H_{\min}$	175,69	172,31	172,24	180,79

Окончание таблицы 3.3 – Параметры гидротурбины ПЛ20-ГК

$n'_1 H_p$	160,38	157,30	157,23	165,04
$n'_1 H_{\max}$	136,69	134,06	134,00	140,65
$Q'_1 \cdot \eta_p$	2,386	2,386	2,387	2,388
$Q'_1 \cdot \eta_{\max}$	1,477	1,477	1,478	1,478
$Q_{\max}$	0,597	0,534	0,465	0,422
$Q_{\min}$	0,767	0,687	0,598	0,542

Данные турбины были отобраны по следующим критериям:

- Максимальный КПД;
- Оптимальная рабочая зона турбины;
- Приемлемое число гидроагрегатов;

### 3.2 Определение заглубления рабочего колеса гидротурбины для обеспечения её безкавитационной работы

Отметка расположения РК гидротурбины для обеспечения её безкавитационной работы определяется по формуле:

$$\nabla Z_{\text{РК}} = Z_{\text{нб}}(Q_{\text{нб}}) + H_s, \quad (3.13)$$

где  $Z_{\text{нб}}(Q_{\text{нб}})$  - отметка уровня воды в НБ при расходе  $Q_{\text{нб}}$ , соответствующем расчётному значению высоты отсасывания  $H_s$ .

Глубина отсасывания рассчитывается для трёх наиболее опасных с точки зрения кавитации случаев, т.е. требующих наибольшего заглубления РК:

- работа одного агрегата с установленной мощностью при  $H_{\max}$ ;
- работа одного агрегата с установленной мощностью при  $H_p$ ;
- работа одного агрегата с при  $H_{\min}$  и соответствующей ему мощности на линии ограничения.

Высоту отсасывания находим по формуле:

$$H_s = 10,3 - \frac{Z_{\text{нб}}(Q_{\text{нб}})}{900} - \sigma H - 1,5 + Z_{\text{х.пл}}, \quad (3.14)$$

где  $\sigma$  - коэффициент кавитации, определяемый по ГУХ;

$H$  - напор турбины, определяемый уровнем ВБ и  $Z_{\text{нб}}(Q_{\text{нб}})$ ;

$Z_{x.пл}$  - разность высотных отметок двух характерных плоскостей модельной и натурной турбины, для ПЛ20-В  $Z_{x.пл} = 0$ , для ПЛ20-ГК

$$Z_{x.пл} = -\frac{D_1}{2}.$$

Рассчитав отметку установки РК при каждой из вычисленных высот отсасывания, выбираем из всех получившихся  $H_s$  ту, которая обеспечивает безкавитационную работу во всех рассматриваемых режимах работы. Причём,  $H_s \leq -8$  м, т.к. дальнейшее заглубление подводной части экономически нецелесообразно.

После расчёта  $\nabla Z_{РК}$  выбираем самое наименьшее значение.

Таблица 3.4 – Результаты расчёта высоты отсасывания и отметки установки РК для ПЛ20-В и ПЛ20-ГК

	ПЛ20-В	ПЛ20-ГК
$D_1$ , м	6,3	6,3
$H_s(H_{max})$	1,39	-3,63
$H_s(H_p)$	-2,45	-10,60
$H_s(H_{min})$	0,10	-7,38
$\nabla Z_{РК}(H_{max})$	97,18	92,54
$\nabla Z_{РК}(H_p)$	93,70	85,99
$\nabla Z_{РК}(H_{min})$	96,11	89,06

Проанализировав все полученные варианты окончательно принимаем турбину ПЛ20-В с диаметром  $D_1 = 6,3$  м, так как она наиболее полно удовлетворяет перечисленным выше требованиям, а именно, имеет оптимальную зону работы, минимальное заглубление РК, что обеспечивает безкавитационную работу турбины во всех рассматриваемых режимах, и минимальное количество установленных агрегатов.

Зона работы принятой турбины представлена в Приложении В, Рисунок В.2.

### 3.3 Расчёт параметров гидрогенератора

Номинальная кажущаяся мощность гидрогенератора:

$$S_H = \frac{N_a}{\cos \varphi} = \frac{18,1}{0,85} = 38,8 \text{ МВт}, \quad (3.15)$$

где  $\cos \varphi = 0,81 \div 0,9$ .

Число пар полюсов гидрогенератора:

$$2p = \frac{2 \cdot f \cdot 60}{n_{\text{синх}}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 60}{88,2} = 68. \quad (3.16)$$

Расчётная мощность:

$$S_p = S_n \cdot k = 38,8 \cdot 1,07 = 41,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}, \quad (3.17)$$

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

Удельная нагрузка:

$$S^* = \frac{S_n}{2p} = \frac{38,8}{68} = 0,57 \text{ МВ} \cdot \text{А}. \quad (3.18)$$

Полюсное деление, зависящее от нагрузки и от способа охлаждения:

$$\tau^* = A \cdot S^{*\alpha} = 0,451 \cdot 0,57^{0,239} = 0,39 \text{ м}, \quad (3.19)$$

где  $A$  и  $\alpha$  - эмпирические коэффициенты.

Диаметр ротора:

$$D_i = \frac{\tau^* \cdot 2p}{\pi} = \frac{0,39 \cdot 68}{3,14} = 8,55 \text{ м}. \quad (3.20)$$

Необходимо проверить, не будет ли при этом диаметре превышать предельная окружная скорость ротора в разгонном режиме, которая составляет  $\mathcal{G}_{\text{пр}} = 160 \text{ м/с}$  для генератора кажущейся мощности  $S \leq 175 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

Предельная окружная скорость:

$$\mathcal{G}_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot D_i \cdot k_{\text{разг}} \cdot n_{\text{синх}}}{60} = \frac{3,14 \cdot 8,55 \cdot 2 \cdot 88,2}{60} = 79 \text{ м/с}. \quad (3.21)$$

При  $D_i = 8,55 \text{ м}$  предельная окружная скорость ротора в разгонном режиме не превышает допустимых значений.

Ориентировочно диаметр шахты можно принять равным внутреннему диаметру кромок статора турбины:  $D_{\text{ш}} = 9,80 \text{ м}$ .

Коэффициент машины:



$$C_a = \frac{R}{S^{*y}} = \frac{8,9}{0,57^{0,105}} = 9,4. \quad (3.22)$$

Высота активной стали:

$$l_a = \frac{W_s}{D_i^2} = \frac{30 \cdot C_a \cdot S_p}{\pi \cdot n_{\text{синх}} \cdot D_i^2} = \frac{30 \cdot 9,4 \cdot 41,5}{3,14 \cdot 88,2 \cdot 8,55^2} = 0,6 \text{ м.} \quad (3.23)$$

Высота активной стали стандартизирована, поэтому принимается ближайшее значение  $l_a = 40$  см.

После определения  $D_i$  и  $l_a$  уточняется конструктивное исполнение генератора:  $\frac{D_i}{l_a} < 4$ , рекомендуется подвесное, а при  $\frac{D_i}{l_a} > 5$  ( $21,4 > 5$ ), рекомендуется принимать зонтичное.

Внешний диаметр вала приблизительно вычисляется по 4.10 и округляется до стандартизованного:

$$d_b = 13 \cdot \sqrt[3]{\frac{N_{\text{ген}}}{n_{\text{синх}}}} = 13 \cdot \sqrt[3]{\frac{33000}{88,2}} = 94 \text{ см.} \quad (3.24)$$

Принимаем стандартную величину (округляем кратно 50 мм при  $d_b < 1$  м, или кратно 100 мм при  $d_b \geq 1$  м), таким образом  $d_b = 95$  см.

Общая масса генератора приблизительно:

$$G_{\text{ген}} = \psi \cdot D_i \cdot l_a = 45 \cdot 8,55 \cdot 0,4 = 154 \text{ т,} \quad (3.25)$$

где  $\psi = (44 \div 50)$  для зонтичных генераторов.

Вес ротора генератора с валом составляет 50-55% общей массы гидрогенератора:

$$G_{\text{рот}} = 0,55 \cdot G_{\text{ген}} = 0,55 \cdot 154 = 85 \text{ т.} \quad (3.26)$$

Диаметр активной стали:

$$D_a = D_i + (\text{от } 0,5 \text{ до } 0,9) = 8,55 + 0,7 = 9,25 \text{ м.} \quad (3.27)$$

Тогда, маркировка генератора: СВ-925/40-68

Основные размеры генератора занесены в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Основные размеры генератора СВ-691/40-52

Элемент генератора	Параметры	Зависимость	Значение, м
Статор	Высота корпуса $h_{ст}$	(от 1,7 до 1,9) $l_a$	0,72
	Диаметр корпуса $D_{ст}$	$(1,05+0,0017 \cdot n_{синх})D_i$	10,6
	Диаметр активной стали $D_a$	$D_i + (от 0,5 до 0,9)$	9,25
Верхняя крестовина	Высота $h_{в.к}$	(от 0,1 до 0,12) $D_i$	0,94
	Диаметр лучей $D_{в.к}$	$D_{ст}$	10,3
Подпятник	Высота $h_{п}$	(от 0,15 до 0,2) $D_i$	1,54
	Диаметр кожуха $D_{п}$	(от 0,4 до 0,5) $D_i$	3,84
Нижняя крестовина	Высота $h_{н.к}$	(от 0,25 до 0,3) $D_{ш}$	2,65
	Диаметр лучей $D_{н.к}$	$D_{ш} + 0,4$	10,2
Надстройка	Высота $h_0$	от 0,3 до 0,5	0,4
	Диаметр $d_0$	(от 0,2 до 0,25) $D_i$	1,97
Кратер	Диаметр $D_{кр}$	(от 1,4 до 1,5) $D_i$	12,39
	Минимальная ширина подхода $b$	от 0,4 до 0,5	0,45
Исполнение	Зонтичное		

### 3.4 Расчёт и построение бетонной спиральной камеры

Целью гидромеханического расчёта спиральной камеры является определение размеров её радиальных сечений и формы спирали в плане.

Угол охвата спиральной камеры  $\varphi = 210^\circ$ .

Наружный радиус входного сечения:

$$r_{вх} = 1,63 \cdot D_1 = 1,63 \cdot 6,3 = 10,27 \text{ м.} \quad (3.28)$$

Диаметр расположения входных кромок статора:

$$D_a = 9,800 \text{ м.} \quad (3.29)$$

$$r_a = \frac{D_a}{2} = \frac{9,800}{2} = 4,900 \text{ м.} \quad (3.30)$$

Диаметр расположения выходных кромок статора:

$$D_b = 8,570 \text{ м.} \quad (3.31)$$

$$r_B = \frac{D_B}{2} = \frac{8,570}{2} = 4,285 \text{ м.} \quad (3.32)$$

Высота направляющего аппарата:

$$b_0 = 0,43 \cdot D_1 = 0,43 \cdot 6,3 = 2,709 \text{ м.} \quad (3.33)$$

Высота статора:

$$B_{ст} = b_0 + 0,0033 \cdot D_1 = 2,709 + 0,0033 \cdot 6,3 = 2,730 \text{ м.} \quad (3.34)$$

Определение полного расхода через турбину при расчётных значениях напора и мощности:

$$Q_0 = \frac{N}{9,81 \cdot H_p \cdot \eta_{\text{отт}}} = \frac{33000}{9,81 \cdot 13,8 \cdot 0,804} = 266,4 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (3.35)$$

Определение расхода через входное сечение спирального канала камеры:

$$Q_0 = \frac{Q_0 \cdot \varphi}{360} = \frac{266,4 \cdot 210}{360} = 155,4 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (3.36)$$

Определение площади входного поперечного сечения:

$$F_{\text{вх}} = \frac{Q_1}{V_{\text{вх}}} = \frac{155,4}{3,35} = 46,4 \text{ м}^2. \quad (3.37)$$

Высоту входного сечения определяем из квадратного уравнения:

$$F_{\text{вх}} = b_0(r_a - r_b) + (r_{\text{вх}} - r_a)b_{\text{вх}} - \frac{(b_{\text{вх}} - b_0)^2}{2} \tan 15^\circ, \quad (3.38)$$

$$b_{\text{вх}} = 9,47 \text{ м.}$$

$$a_{\text{вх}} = r_{\text{вх}} - r_a = 10,27 - 4,900 = 5,37 \text{ м.} \quad (3.39)$$

Дальнейший расчёт спиральной камеры выполнен аналитическим методом. Результаты расчёта сведены в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Расчёт спиральной камеры

величина	сечения											
	вх	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	вых
$r_i$	10,27	9,73	9,18	8,64	8,09	7,55	7,01	6,46	5,92	5,37	4,83	4,29
$b_i$	9,47	8,79	8,10	7,42	6,73	6,05	5,36	4,68	3,99	3,30	2,62	1,93
$r_k$	6,71	6,53	6,35	6,16	5,98	5,79	5,61	5,43	5,24	5,06	4,88	4,69
$\frac{r_k}{r_a}$	1,37	1,33	1,29	1,26	1,22	1,18	1,15	1,11	1,07	1,03	1,00	0,96
$\ln \frac{r_k}{r_a}$	0,31	0,29	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,10	0,07	0,03	0,00	-0,04
$\frac{r_i}{r_a}$	2,10	1,98	1,87	1,76	1,65	1,54	1,43	1,32	1,21	1,10	0,99	0,87
$\ln \frac{r_i}{r_a}$	0,74	0,69	0,63	0,57	0,50	0,43	0,36	0,28	0,19	0,09	-0,01	-0,13
$b_i \cdot \ln \frac{r_i}{r_a}$	7,01	6,02	5,09	4,20	3,38	2,61	1,92	1,29	0,75	0,30	-0,04	-0,26
$r_k \cdot ctg \gamma$	25,05	24,37	23,68	23,00	22,31	21,62	20,94	20,25	19,57	18,88	18,20	17,51
$r_k \cdot ctg \gamma \cdot \ln \frac{r_k}{r_a}$	7,89	6,99	6,12	5,27	4,44	3,63	2,84	2,07	1,33	0,61	-0,09	-0,76
$m_i$	6,76	6,08	5,39	4,71	4,02	3,34	2,65	1,97	1,28	0,60	-0,09	-0,77
$J_i$	6,25	5,47	4,72	4,01	3,33	2,69	2,10	1,55	1,07	0,66	0,32	0,09
$\varphi_i$	210,00	157,57	136,00	115,38	95,81	77,41	60,33	44,74	30,86	18,95	9,35	2,51

По рассчитанным промежуточным сечениям спирали построен график, представленный на рисунке 3.1.

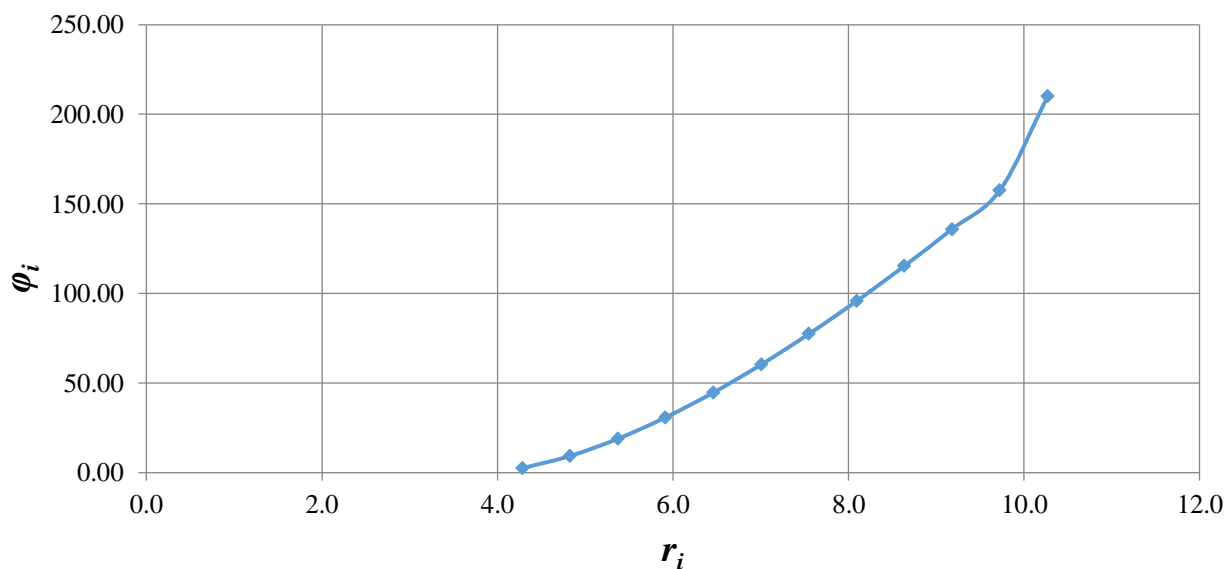


Рисунок 3.1 – График зависимости  $\varphi_i = f(r_i)$

План спирали строится по таблице 3.7. Значения для таблицы получены путем разбиения угла охвата спиральной части камеры на интервалы с  $\Delta\varphi_{сп} = 15^\circ$

Таблица 3.7 – Разбиение угла охвата спиральной камеры

$\varphi_{сп}$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210
$r$	4,3	5,2	5,9	6,5	7,2	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	9,8	10,0	10,1	10,3	10,3

Ширина подвода:

$$B' = 2,65 \cdot D_1 = 2,65 \cdot 6,3 = 16,7 \text{ м.} \quad (3.40)$$

Так как ширина подвода  $B' = 16,7 \text{ м} > 7 \text{ м}$ , то необходимо установить промежуточный бычок, толщину которого можно приближённо назначить из выражения:

$$b = 1 + \frac{Q_{\max}}{400} = 1 + \frac{274}{400} = 1,69 \text{ м,} \quad (3.41)$$

где  $Q_{\max}$  - максимальный расход воды через турбину,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

$$Q_{\max} = \frac{N}{9,81 \cdot H_p \cdot \eta_{\max}} = \frac{33000}{9,81 \cdot 13,8 \cdot 0,89} = 274 \text{ м}^3/\text{с,} \quad (3.42)$$

где  $N$  - номинальная мощность турбины;

$\eta_{\max}$  - КПД турбины при максимальном расходе и номинальной мощности.

Ширина подвода с учётом ширины бычка:

$$B = B' + b = 16,7 + 1,69 = 18,39 \text{ м.} \quad (3.43)$$

По полученным данным строится бетонная спиральная камера. План бетонной спиральной камеры представлен в Приложении В, Рисунок В.4.

### 3.5 Расчёт деталей и узлов гидротурбины

#### 3.5.1 Расчёт вала на прочность

Расчёт вала на прочность необходимо производить с учётом совместного действия скручивающих, изгибающих и растягивающих усилий.

Наружный диаметр вала:

$$D_B^* \geq \left( 5,1 \cdot \frac{M_{кр}}{[\tau_{доп}]} \right)^{0,33} = \left( 5,1 \cdot \frac{3,64}{32,5} \right)^{0,33} = 0,83 \text{ м}, \quad (3.44)$$

где  $[\tau_{доп}] = 35,2 \text{ МПа}$ ;

Крутящий момент:

$$M_{кр} = 0,00974 \cdot \frac{N}{n_{синх}} = 0,00974 \cdot \frac{33000}{88,2} = 3,64 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (3.45)$$

Значение диаметра округляется до стандартного  $D_B = 0,85 \text{ м}$ .

### 3.5.2 Расчёт подшипника

Расчёт подшипника сводится к определению его размера и проверке по критерию работоспособности.

Радиальная сила на РК:

$$R_{рад} = 0,8 \cdot \frac{N}{n_{синх} \cdot D_1} = 0,8 \cdot \frac{33000}{88,2 \cdot 6,3} = 47,51 \text{ кН}. \quad (3.46)$$

Диаметр вала под подшипником:

$$d_{п} = D_B^* + 0,02 = 0,85 + 0,02 = 0,87 \text{ м}. \quad (3.47)$$

Для кольцевого подшипника удельное давление равно:

$$p_{уд} = \frac{R_{рад}}{d_{п} \cdot h_{п}} \leq [p_{уд}]. \quad (3.48)$$

где  $h_{п}$  - высота подшипника, равная 400 мм, для данного диаметра вала.

Допускаемое удельное давление:

$$[p_{уд}] = \frac{29 \cdot \pi \cdot n_{синх} \cdot d_{п}}{30} = \frac{29 \cdot 3,14 \cdot 88,2 \cdot 0,87}{30} = 232,9 \text{ кПа}. \quad (3.49)$$

$$p_{уд} = \frac{47,51}{0,87 \cdot 0,4} = 136,5 \text{ кПа} < [p_{уд}] = 232,9 \text{ кПа}.$$

Условие выполнено.

Усилие на наиболее нагруженный сегмент:

$$R_1 = \frac{R_{\text{рад}}}{(1 + 2\cos\alpha + 2\cos 2\alpha)} = \frac{47,51}{1 + 2\cos 45^\circ + 2\cos 90^\circ} = 19,68 \text{ кН}, \quad (3.50)$$

где  $\alpha$  - центральный угол расположения сегментов, равный:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{Z_{\text{сегм}}} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ. \quad (3.51)$$

где  $Z_{\text{сегм}}$  - количество сегментов, равное 8 для данного диаметра вала.

Удельная нагрузка на сегмент:

$$p_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{рад}}}{l_{\text{сегм}} \cdot h_{\text{п}}} \leq [p_{\text{уд}}], \quad (3.52)$$

где  $l_{\text{сегм}}$  - длина сегмента в окружном направлении, равная:

$$l_{\text{сегм}} = 0,9 \cdot \pi \cdot \frac{d_{\text{п}}}{Z_{\text{сегм}}} = 0,9 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,87}{8} = 0,31 \text{ м}. \quad (3.53)$$

$$[p_{\text{уд}}] = \frac{50 \cdot \pi \cdot n_{\text{синх}} \cdot d_{\text{п}}}{30} = \frac{50 \cdot 3,14 \cdot 88,2 \cdot 0,87}{30} = 401,6 \text{ кПа}, \quad (3.54)$$

$$p_{\text{уд}} = \frac{47,51}{0,31 \cdot 0,4} = 386,5 \text{ кПа} < [p_{\text{уд}}] = 401,6 \text{ кПа}.$$

Условие выполнено.

Оба вида подшипников удовлетворяют вышесказанным условиям, но выбираем сегментный, так как он является более технологичным.

### 3.6 Выбор МНУ и электрогидравлического регулятора

Габаритные размеры МНУ определяются объёмом масловоздушного котла, зависящего от суммарного числа сервомоторов, обслуживаемых одной МНУ.

По номограмме определяется тип МНУ для напора  $H_{\text{max}} = 19$  м и диаметра  $D_1 = 6,3$  м:

МНУ 10/1-40-12,5-2,

где  $10$  – объём гидроаккумулятора;

$1$  – количество сосудов;

$40$  – сосуд, рассчитанный на давление  $40 \text{ кгс/см}^2$ ;

$12,5$  – вместимость сливного бака в  $\text{м}^3$ ;

$2$  – количество насосов.

Так как турбина поворотно-лопостная, то выбран ЭГРК (для ГА с двумя регулирующими органами):

ЭГРК-100-4,

где  $100$  – диаметр главного золотника;

$4$  – гидромеханическая колонка 4-го исполнения.

## **4 Компоновка гидроузла, расчет основных сооружений**

### **4.1 Определение класса сооружений**

На основании исходных данных определён класс ГТС по [10].

1) Класс основных ГТС в зависимости от их высоты и типа грунтов оснований – IV.

2) Класс основных ГТС в зависимости от их социально-экономической ответственности и условий эксплуатации – III.

3) Класс ГТС в зависимости от последствий возможных гидродинамических аварий – II.

В конечном итоге Тасеевская ГЭС относится к II классу ГТС. Обеспеченность расхода принята равной 1%.

### **4.2 Проектирование сооружений напорного фронта**

#### **4.2.1 Определение отметки гребня бетонной плотины**

За отметку гребня бетонной плотины  $\nabla_{\text{ГБП}}$  принимаем:

$$\nabla_{\text{ГБП}} = \nabla_{\text{НПУ}} + h_{1\%} + \square h_{\text{set}} + a \quad (4.1)$$

где  $a$  – конструктивный запас возвышения гребня плотины, принимаемый в зависимости от класса гидротехнического сооружения, для плотины II класса  $a = 0,6 \text{ м}$ ;

$\square h_{\text{set}}$  – высота ветрового нагона.

Высота ветрового нагона:

$$\square h_{\text{set}} = k_w \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot d} \cos \alpha, \quad (4.2)$$



где  $k_w$  – коэффициент, зависящий от расчетной скорости ветра  $V_w$  (скорость назначается для основного и особого сочетаний нагрузок и воздействий в соответствии с классом сооружения):

$$k_w = 3 \cdot (1 + 0,3 \cdot V_w) \cdot 10^{-7} = 3 \cdot (1 + 0,3 \cdot 15) \cdot 10^{-7} = 0,00000165 ; \quad (4.3)$$

$V_w = 15,0$  м/с – расчётная скорость ветра;

$L = 955,08$  м – длина разгона волны для заданной расчетной скорости ветра;

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

$d$  – условная расчётная глубина воды в водохранилище, определяемая по формуле (4.4):

$$d = \frac{\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дно}}}{2} = \frac{114 - 94}{2} = 10 \text{ м.} \quad (4.4)$$

Определим высоту ветрового нагона волны в ВБ:

$$\square h_{set} = 0,00000165 \cdot \frac{15^2 \cdot 955,08}{9,81 \cdot 10} = 0,00361 \text{ м.}$$

Определим высоту волны 1% обеспеченности для основного и поверочного случаев для этого необходимо найти безразмерные величины по формулам (4.5) и (4.6):

$$\frac{gL}{V_w^2} = \frac{9,81 \cdot 955,08}{15^2} = 41,64 , \quad (4.5)$$

$$\frac{gt}{V_w} = \frac{9,81 \cdot 21600}{15} = 14126 , \quad (4.6)$$

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

Из графика [3, Приложение А, рисунок А.1] по верхней огибающей для полученных значений  $\frac{gL}{V_w^2}$  и  $\frac{gt}{V_w}$  определяем параметры,  $\frac{g\bar{h}}{V_w^2}$  и  $\frac{g\bar{T}}{V_w}$ , результаты заносим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – определение безразмерных величин

Безразмерные величины	$\frac{g\bar{h}}{V_w^2}$	$\frac{g\bar{T}}{V_w}$
$\frac{gL}{V_w^2}$	0,0125	1,3
$\frac{gt}{V_w}$	0,08	4,0

Вычисляем средний период волны  $\bar{T}$  (с) и среднюю высоту волны  $\bar{h}$  (м) по формулам (4.7) и (4.8), используя меньшие из полученных значений  $\frac{g\bar{h}}{V_w^2}$  и  $\frac{g\bar{T}}{V_w}$

$$\bar{T} = \frac{1,3 \cdot V_w}{g} = \frac{1,3 \cdot 15}{9,81} = 1,99 \text{ с.} \quad (4.7)$$

$$\bar{h} = \frac{0,0125 \cdot V_w^2}{g} = \frac{0,0125 \cdot 15^2}{9,81} = 0,29 \text{ м.} \quad (4.8)$$

Вычисляем среднюю длину волны:

$$\bar{\lambda}_d = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot 1,99^2}{2 \cdot 3,14} = 6,17 \text{ м.} \quad (4.9)$$

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

$$d = 10 > 0,5\bar{\lambda}_d = 0,5 \cdot 6,17 = 3,09 \text{ м.}$$

Условие выполняется, т.е. зона глубоководная.

Высоту волны 1% обеспеченности для глубоководной зоны определяем по формуле:

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot K_i = 0,29 \cdot 2,1 = 0,60 \text{ м,} \quad (4.10)$$

где  $K_i$  – коэффициент, определяемый по графику [3, Приложение А, рисунок А.2] в зависимости от значения  $\frac{gL}{V_w^2}$ .

Отметка гребня бетонной плотины с вертикальной напорной гранью:

$$\nabla\text{ГБП} = 114 + 0,6 + 0,00361 + 0,6 = 115,20\text{ м.} \quad (4.11)$$

## 4.2.2 Гидравлические расчеты

### 4.2.2.1 Определение ширины водосливного фронта

Расчетный расход воды для основного расчетного случая  $Q_p$ , который должен пропускаться, как правило, при НПУ через все эксплуатационные водопропускные сооружения гидроузла при полном их открытии и через гидроагрегаты ГЭС определяется по формуле:

$$Q_p = Q_{\text{max.p.осн}} - Q_{\text{ГЭС}} - Q_{\text{вод}}, \quad (4.12)$$

где  $Q_{\text{max.p.осн}} = 492,4 \text{ м}^3/\text{с}$  – максимальный расчетный расход с вероятностью превышения, соответствующего классу сооружения (для II класса принимается  $P_{1,0\%}$ );

$Q_{\text{вод}}$  – расход через водовыпуск, рассчитываемый по формуле

$$Q_{\text{вод}} = \frac{V_{\text{пол}}}{t_{\text{ср}}} = \frac{1,18 \cdot 10^9}{15768017} = 74,8 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.13)$$

$Q_{\text{ГЭС}}$  – расход через гидроагрегаты ГЭС, участвующие в пропуске расчетного расхода.

Количество агрегатов, участвующих в пропуске расчетных расходов, должно быть не более  $(n-1)$  при числе гидроагрегатов ГЭС  $n \leq 6$ . В проектируемом сооружении число агрегатов 4 шт, расход через один агрегат равен  $Q_{\text{агр}} = 98,4 \text{ м}^3/\text{с}$ ., тогда  $Q_{\text{ГЭС}} = 295,2 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Тогда расчетный расход воды для основного случая по формуле 4.12 равен:

$$Q_p = 437,2 - 295,2 - 74,8 = 67,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{Q_p}{q_b}, \quad (4.14)$$

где  $q_b$  – удельный расход на водосливе.

$$q_b = 1,25q_p = 1,25 \cdot 12,5 = 15,6 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.15)$$

где  $q_p$  – удельный расход на рисберме.

$$q_p = [v_h] \cdot h_{\text{НБ}} = 5 \cdot 2,5 = 12,5 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.16)$$

где  $h_{\text{НБ}} = 2,5 \text{ м}$  – глубина воды в нижнем бьефе, определяемая по кривой  $\nabla_{\text{НБ}} = f(Q_{\text{НБ}})$  при  $Q_{\text{max, п.осн}}$ .

$[v_h] = 5,0 \text{ м/с}$  – допустимая скорость на рисберме для скальных грунтов.

Тогда ширина водосливного фронта вычисляется по формуле 4.14:

$$B = \frac{67,2}{15,6} = 4,30 \text{ м}.$$

Ширину водосливного фронта  $B$  принимаем равной стандартному значению, поэтому полученное значение округляем в большую сторону:

$$B = b \cdot n = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ м}, \quad (4.17)$$

где  $n$  – число пролетов (не менее  $2 \div 3$ ),

$b$  – стандартная ширина пролета, принимается в соответствии с техническим регламентом заводов-изготовителей гидромеханического оборудования.

#### 4.2.2.2 Определение отметки гребня водослива

Из основной формулы расхода для водосливов всех типов методом последовательных приближений был определен напор на гребне водослива, сначала без учета сжатия и подтопления –  $H_{01}$ , а затем с учетом сжатия и подтопления –  $H_{02}$ .

$$H_{01} = \left( \frac{Q_p}{mB\sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (4.18)$$

где  $m = 0,49$  – коэффициент расхода водослива практического профиля А.

$$H_{01} = \left( \frac{67,2}{0,49 \cdot 5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 3,37 \text{ м}.$$

Определяем напор на гребне водослива с учётом сжатия и подтопления:

$$H_{02} = \left( \frac{Q_p}{m \varepsilon \sigma_{\Pi} B \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (4.19)$$

где  $\sigma_{\Pi} = 1$  – коэффициент подтопления, с учетом того, что водослив в НБ не затоплен;

$\varepsilon$  – коэффициент бокового сжатия, зависящий от условий входа, определяем по формуле:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{\xi_y + (n-1)\xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b} \quad (4.20)$$

где  $b$  – ширина пролетов;

$n$  – число пролетов;

$\xi_y = 0,7$  – коэффициент формы вертикальных устоев;

$\xi_0 = 0,45$  – коэффициент, круглой формы быка в плане.

Тогда коэффициент бокового сжатия определяется по формуле 4.19:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{0,7 + (2-1) \cdot 0,45}{2} \cdot \frac{3,37}{2,5} = 0,84$$

Напор перед водосливом:

$$H_{02} = \left( \frac{67,2}{0,49 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 5 \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 3,77 \text{ м.}$$

Напор на гребне водослива без учета скорости подхода потока к водосливу  $V_0$ :

$$H = H_{02} - \frac{\alpha V_0^2}{2g}, \quad (4.21)$$

Скорость подхода потока перед водосливом:

$$V_0 = \frac{Q_p}{(\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{дно}})(B + (n-1)\delta_6)}, \quad (4.22)$$

где  $\delta_6$  – толщина разрезного быка, определяемая по формуле Березинского:

$$\delta_6 = 0,25 \cdot b = 0,25 \cdot 2,5 = 1 \text{ м.} \quad (4.23)$$

При разрезке толщина быка увеличивается на 1 метр:

$$\delta_6 = 1 + 1 = 2 \text{ м.}$$

Тогда:

$$V_0 = \frac{67,2}{(114 - 94) \cdot (5 + (2 - 1) \cdot 2)} = 0,48 \text{ м/с.}$$

Напор на гребне водослива:

$$H = 3,77 - \frac{1,1 \cdot 0,48^2}{2 \cdot 9,81} = 3,76 \text{ м.}$$

Отметку гребня водослива определяют по формуле:

$$\nabla_{ГВ} = \nabla_{НПУ} - H_{ст} = 114 - 4 = 110 \text{ м.} \quad (4.24)$$

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

#### 4.2.2.3 Проверка на пропуск расчетного расхода при поверочном расчетном случае

Определим напор над гребнем водослива при пропуске расхода поверочного расчетного случая:

$$H_{01пов} = \left( \frac{Q_{р.пов}}{mB\sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left( \frac{197,2}{0,49 \cdot 5\sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 6,91 \text{ м.} \quad (4.25)$$

$$Q_{р.пов} = Q_{пов.мах} - Q_{ГЭС} - Q_c = 492,4 - 295,2 = 197,2 \quad (4.26)$$

где  $Q_{пов.мах}$  – максимальный расчётный расход при обеспеченности 0,1% для II класса сооружений;

$Q_c$  – расход, сбрасываемый через другие водопропускные сооружения гидроузла, а также через водозаборы, шлюзы, рыбопропускные сооружения.

Полный напор на водосливе:

$$H_{02\text{пов}} = \left( \frac{Q_{\text{р.пов}}}{m\varepsilon\sigma_{\text{п}}B\sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left( \frac{197,2}{0,49 \cdot 0,84 \cdot 1,5\sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 8,92 \text{ м.} \quad (4.27)$$

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

$$H_{\text{пов}} = H_{02\text{пов}} - \frac{\alpha V_{0\text{пов}}^2}{2g} = 8,92 - \frac{1,1 \cdot 1,34^2}{2 \cdot 9,81} = 8,82 \text{ м/с,} \quad (4.28)$$

$$V_{0\text{пов}} = \frac{Q_{\text{р.пов}}}{(\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{дно})(B + (n-1)\delta_6)}, \quad (4.29)$$

Тогда:

$$V_{0\text{пов}} = \frac{197,2}{(115 - 94) \cdot (5 + (2-1) \cdot 2)} = 1,34 \text{ м/с.}$$

Определяем расчетную отметку форсированного уровня:

$$\nabla\text{ФПУ}_p = \nabla\text{ГВ} + H_{\text{пов}} = 110,00 + 8,82 = 118,82 \text{ м.} \quad (4.30)$$

#### 4.2.2.4 Построение оголовка профиля водосливной грани по Кригер-Офицерову

Очертание оголовка строится по координатам Кригера-Офицера, где координаты, представленные в [4, табл. 6-12], перемножаются на  $H_{\text{ст}} = 4 \text{ м}$ .

Отметку верха быка вычисляем по формуле:

$$\nabla\text{ГБ} = \nabla\text{ГВ} + 1,6H_{\text{ст}} = 110,00 + 1,6 \cdot 4 = 116,40 \text{ м.} \quad (4.31)$$

Сравнив полученную отметку верха быка с отметкой гребня бетонной плотины (пункт 4.2.1), за проектную отметку гребня бетонной плотины принята наивысшая из рассчитанных, то есть  $\nabla\text{ГБП} = 116,40 \text{ м}$ .

Таблица 4.2 – Данные для построения оголовка водосливной грани

№	x	y	x · H <sub>ст</sub>	y · H <sub>ст</sub>	№	x	y	x · H <sub>ст</sub>	y · H <sub>ст</sub>
1	0	0,126	0,0	0,504	21	2,0	1,235	8,0	4,940
2	0,1	0,036	0,4	0,144	22	2,1	1,369	8,4	5,476
3	0,2	0,007	0,8	0,028	23	2,2	1,508	8,8	6,032

Окончание таблицы 4.2 – Данные для построения оголовка водосливной грани

4	0,3	0	1,2	0,000	24	2,3	1,653	9,2	6,612
5	0,4	0,006	1,6	0,024	25	2,4	1,894	9,8	7,576
6	0,5	0,027	2,0	0,108	26	2,5	1,96	10,0	7,840
7	0,6	0,06	2,4	0,240	27	2,6	2,122	10,4	8,488
8	0,7	0,1	2,8	0,400	28	2,7	2,289	10,8	9,156
9	0,8	0,146	3,2	0,584	29	2,8	2,462	11,2	9,848
10	0,9	0,198	3,6	0,792	30	2,9	2,64	11,6	10,560
11	1	0,256	4,0	1,024	31	3,0	2,824	12,0	11,296
12	1,1	0,321	4,4	1,284	32	3,1	3,013	12,4	12,052
13	1,2	0,394	4,8	1,576	33	3,2	3,207	12,8	12,828
14	1,3	0,475	5,2	1,900	34	3,3	3,405	13,2	13,620
15	1,4	0,564	5,6	2,256	35	3,4	3,609	13,6	14,436
16	1,5	0,661	6,0	2,644	36	3,5	3,818	14,0	15,272
17	1,6	0,764	6,4	3,056	37	3,6	4,031	14,4	16,124
18	1,7	0,873	6,8	3,492	38	3,7	4,249	14,8	16,996
19	1,8	0,987	7,2	3,948	39	3,8	4,471	15,2	17,884
20	1,9	1,108	7,6	4,432	40	3,9	4,698	15,6	18,792

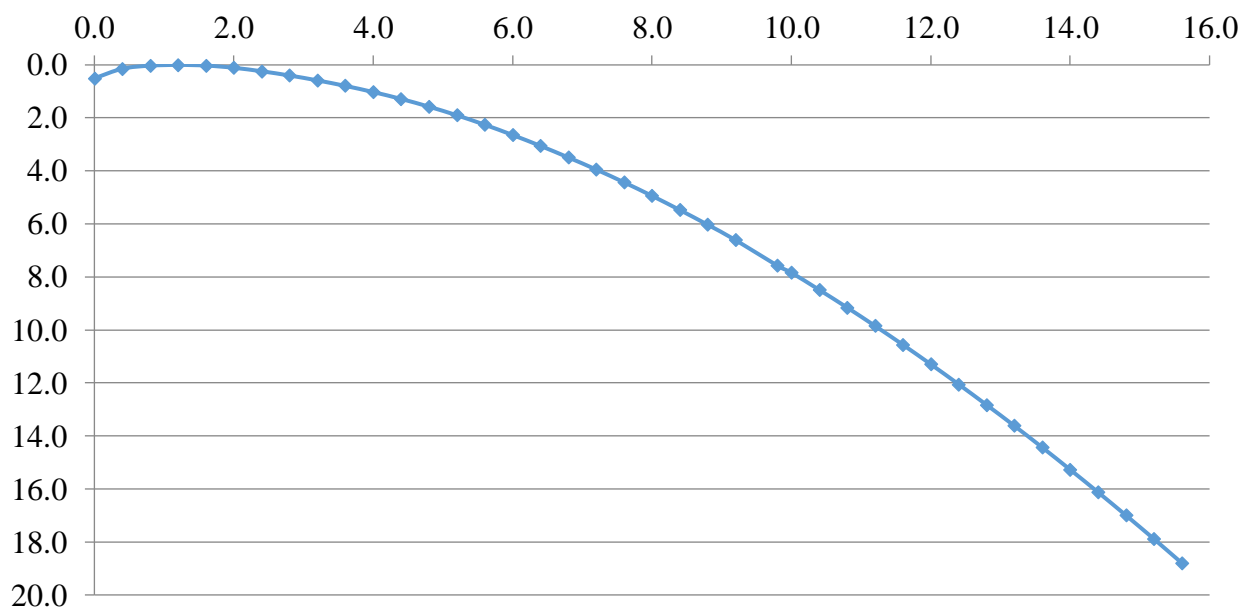


Рисунок 4.1 – Начальное очертание гребня нормальной безвакуумной водосливной стенки Кригер-Офицера

Высота плотины равна:

$$H_{пл} = \nabla ГБ - \nabla ДНО = 116,40 - 94 = 22,4 \text{ м.} \quad (4.32)$$

#### 4.2.2.5 Расчет сопряжения потока в нижнем бьефе



Для плотины на нескальном основании принимаем сопряжение бьефа с донным режимом.

Вычисляем критическую глубину потока при полном открытии всех отверстий:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q_p^2}{(B + (n-1)\delta_0)^2 g}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 67,2^2}{(5 + (2-1) \cdot 2)^2 \cdot 9,81}} = 2,18 \text{ м}, \quad (4.33)$$

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

Полная удельная энергия перед водосливом:

$$T_0 = \nabla \text{НПУ} - \nabla \text{ДНО} = 114 - 94 = 20 \text{ м}. \quad (4.34)$$

Относительную удельную энергию вычисляем по формуле:

$$\xi_{T_0} = \frac{T_0}{h_{кр}} = \frac{20}{2,18} = 9,19 \text{ м}. \quad (4.35)$$

По графику определения глубины в сжатом сечении и глубины сопряженной с ней [4, рис. 9-55] в зависимости от коэффициента скорости  $\varphi = 0,95$  (для плотин высотой более 15 м.) и относительной удельной энергии  $\xi_{T_0}$  определяют относительные глубины  $\xi_c$  и  $\xi_c''$ .

Значения относительных глубин:

$$\xi_c = 0,28, \quad \xi_c'' = 2,5.$$

Сопряженные глубины:

$$h_c' = \xi_c h_{кр} = 0,28 \cdot 2,18 = 0,61 \text{ м}, \quad (4.36)$$

$$h_c'' = \xi_c'' h_{кр} = 2,5 \cdot 2,18 = 5,44 \text{ м}. \quad (4.37)$$

За водосливом устроен водобой, представляющий собой бетонную плиту.

Толщина водобойной плиты:

$$\delta_B = 0,15 \cdot v_c \cdot \sqrt{h_c'} = 0,15 \cdot 15,7 \cdot \sqrt{0,61} = 1,84 \text{ м}, \quad (4.38)$$

где  $v_c$  – скорость потока в сжатом сечении:

$$v_c = \frac{Q_p}{(B + (n-1)\delta_6) \cdot h_c'} = \frac{67,2}{(5 + (2-1) \cdot 2) \cdot 0,61} = 15,7 \text{ м/с} \quad (4.39)$$

Окончательно принимаем  $\delta_6 = 2,0$  м.

Отметку пола водобоя определяем по формуле

$$\nabla_{ПВ} = \nabla_{ДНО} = 94,0 = 94,0 \text{ м.} \quad (4.40)$$

Так как  $h_c'' = 5,44 \text{ м} > h_{НБ} = 2,5 \text{ м}$  значит, прыжок является отогнанным.

Таким образом, для того, чтобы спроектировать сопряжение бьефов по типу затопленного прыжка необходимо создать в нижнем бьефе непосредственно за водосливом соответствующую глубину или погасить часть избыточной энергии с помощью гасителей энергии.

#### 4.2.2.6 Расчет водобойной стенки

Высота водобойной стенки:

$$h_{ст} = \sigma h_c'' - H_{ст} = 1,1 \cdot 5,44 - 2,55 = 3,44 \text{ м.} \quad (4.41)$$

где  $H_{ст}$  – напор над водобойной стенкой:

$$H_{ст} = \left( \frac{q_{ВБ}}{m \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^2 - \left( \frac{\alpha \cdot q_{ВБ}^2}{2 \cdot g \cdot \sigma^2 \cdot h_c''^2} \right), \quad (4.42)$$

где  $q_{ВБ}$  – удельный расход на водобое, определяемый по формуле

$$q_{ВБ} = \frac{Q_p}{B + (n-1) \cdot \delta_6} = \frac{67,2}{5 + (2-1) \cdot 2} = 9,59 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (4.43)$$

$\sigma = 1,1$  – коэффициент запаса;

$m$  – коэффициент расхода в зависимости от типа стенки.

Тогда:

$$H_{\text{ст}} = \left( \frac{9,59}{0,49 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} - \left( \frac{1,1 \cdot 9,59^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 1,1^2 \cdot 5,44^2} \right) = 2,55 \text{ м.}$$

После расчета первой стенки проверяем условие сопряжения бьефов за стенкой.

Рассчитываем полную удельную энергию перед стенкой:

$$T_0 = 3,44 + 2,55 = 5,99 \text{ м.} \quad (4.44)$$

Вычисляем новое отношение:

$$\xi_{T_0} = \frac{5,99}{2,18} = 2,75 \text{ м.}$$

С учетом ранее выбранного коэффициента скорости  $\varphi$  и вычисленного нового значения относительной удельной энергии  $\xi_{T_0}$  относительные глубины равны  $\xi_c' = 0,58$  и  $\xi_c'' = 1,68$

Определяем новые значения сопряженных глубин:

$$h_c' = 0,58 \cdot 2,18 = 1,26 \text{ м,}$$

$$h_c'' = 1,8 \cdot 2,18 = 3,66 \text{ м.}$$

Так как  $h_c'' = 3,66 \text{ м} > h_{\text{НБ}} = 2,5 \text{ м}$ , за стенкой образовывается отогнанный прыжок, необходима вторая водобойная стенка.

Длина водобоя при наличии на нём гасителей:

$$l_{\text{в}} = (0,8 \div 1) \cdot l_{\text{пр}} = 1,0 \cdot 14,2 = 14,2 \text{ м,} \quad (4.45)$$

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

$$l_{\text{пр}} = 2,5 \cdot (1,9h_c'' - h_c') = 2,5 \cdot (1,9 \cdot 3,66 - 1,26) = 14,2 \text{ м.} \quad (4.46)$$

Напор, образуемый над второй стенкой, определяем аналогично первой по формуле (4.42):

$$H_{\text{ст}} = \left( \frac{9,59}{0,49 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}} - \left( \frac{1,1 \cdot 9,59^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 1,1^2 \cdot 3,66^2} \right) = 2,37 \text{ м.}$$

Высота стенки определяется по формуле 4.41:

$$h_{\text{ст}} = 1,1 \cdot 2,37 - 3,66 = 1,66 \text{ м.}$$

После расчета стенки необходимо проверить условие сопряжения бьефа за второй стенкой.

Полная удельная энергия перед стенкой:

$$T_0 = 1,66 + 2,37 = 4,02 \text{ м.}$$

Вычисляем отношение по формуле 4.35:

$$\xi_{T_0} = \frac{4,02}{2,18} = 1,85 \text{ м.}$$

С учетом ранее выбранного коэффициента скорости  $\varphi$  и вычисленного нового значения относительной удельной энергии  $\xi_{T_0}$  относительные глубины равны  $\xi_c = 0,52$  и  $\xi_c'' = 1,14$ .

Определяем новые значения сопряженных глубин:

$$h_c' = 0,52 \cdot 2,18 = 1,13 \text{ м,}$$

$$h_c'' = 1,14 \cdot 2,18 = 2,48 \text{ м.}$$

Так как  $h_c'' = 2,48 \text{ м} < h_{\text{НБ}} = 2,5 \text{ м}$ , за стенкой образовывается затопленный прыжок. Таким образом, в качестве гасителей принимаются две водобойные стенки.

#### 4.2.2.7 Рисберма

Рисберма – участок за водобоем, предназначенный для успокоения и рассеивания потока, выполняемая чаще всего в виде крепления из бетонных или железобетонных плит.

Длина рисбермы принимается:

$$l_p = (1 \div 2) \cdot l_b = 1,0 \cdot 14,2 = 14,2 \text{ м.} \quad (4.47)$$

Определим толщину плит:

$$t_p = \frac{p_w \cdot h_p \cdot K_c}{(p_{\sigma} - p_w)} = \frac{1 \cdot 3,8 \cdot 1,25}{(2,4 - 1)} = 3,4 \text{ м}, \quad (4.48)$$

где  $K_c$  – коэффициент запаса, не менее 1,25;

$$h_p = 2h_v \cdot \left( \frac{h_{кр.р}}{x} \right)^{1,34} = 2 \cdot 13,82 \cdot \left( \frac{3,21}{14,2} \right)^{1,34} = 3,8 \text{ м}, \quad (4.49)$$

где  $x$  – расстояние от сжатого сечения до рассматриваемой плиты;

$$h_v = \frac{\alpha \cdot v_c^2}{2 \cdot g} = \frac{1,1 \cdot 15,7^2}{2 \cdot 9,81} = 13,82 \text{ м}, \quad (4.50)$$

$v_c$  – скорость воды в сжатом сечении определенной по формуле (4.39) в пункте 4.2.2.5;

$h_{кр.р}$  – критическая глубина на рисберме:

$$h_{кр.р} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q_p^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 9,59^2}{9,81}} = 3,21 \text{ м}, \quad (4.51)$$

$q_p = q_{вб}$  – удельный расход на рисберме, принимаемый равным удельному расходу на водобое определенному по формуле 4.43.

Результаты расчета всех трех плит рисбермы приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – результаты расчета плит рисбермы

Параметры	Плита 1	Плита 2
$x$ , м	14,2	24,2
$h_p$ , м	3,8	1,8
$t_p$ , м	3,4	1,6
Принятое значение $t_p$ , м	3,4	1,6

Толщина первой плиты принимается не менее половины толщины плиты водобоя, таким образом, принимаем толщину первой плиты рисбермы равной толщине плиты водобоя.

## 4.3 Конструирование бетонной плотины

### 4.3.1 Определение ширины подошвы плотины

Одной из основных задач при проектировании гидросооружений является обеспечение наиболее минимальной ширины конструкции по основанию при заданной высоте сооружения. Такому критерию соответствует наиболее экономичный треугольный профиль плотины с минимальной шириной по низу, схема которого представлена на рисунке 4.2.

Однако данный профиль должен удовлетворять следующим условиям:

- отсутствие растягивающих напряжений в плотине;
- устойчивость сооружения против сдвига по основанию.

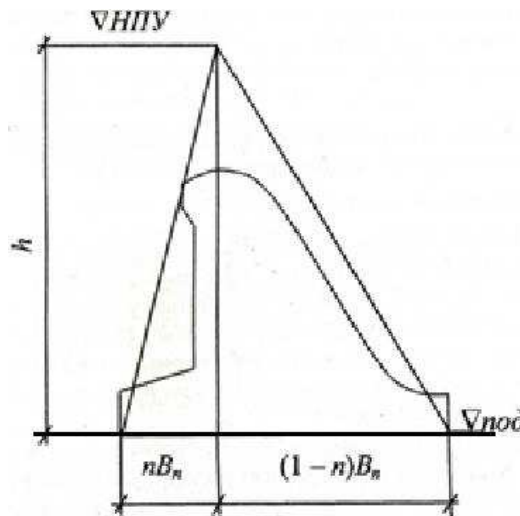


Рисунок 4.2 – Схема треугольного профиля плотины

Так как основным материалом при возведении плотин выступает бетон имеющий свойство слабо сопротивляться растяжению, то необходимо предусмотреть меры, не допускающие появления трещин с напорной грани, которые в дальнейшем могут привести к развитию опасной фильтрации со всеми вытекающими последствиями.

Исходя из условия недопущения растягивающих напряжений, на верховой грани, ширину подошвы плотины определяют по формуле 4.52:

$$B_{\Pi}^I = \frac{h}{\sqrt{\frac{p_{\sigma}}{p_w} \cdot (1-n) + n \cdot (2-n) - \alpha_1}}, \quad (4.52)$$

где  $\alpha_1 = 0,5$  – коэффициент, учитывающий потерю фильтрационного давления за счет устройства противофильтрационных завес, дренажей и шпунтов;

$p_{\sigma}$  – плотность бетона;

$p_w$  – плотность воды.

Высота плотины:

$$h = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{под}}. \quad (4.53)$$

Отметка подошвы зависит от конструкции устройств в НБ:

$$\nabla_{\text{под}} = \nabla_{\text{ДНО}} - \delta_{\text{в}} = 94 - 2,0 = 92,0 \text{ м}, \quad (4.54)$$

где  $\delta_{\text{в}}$  – толщина водобойной плиты;

Высота плотины высчитывается по формуле 4.53:

$$h = 114 - 92 = 22 \text{ м}.$$

Исходя из устойчивости плотины против сдвига по основанию, ширина подошвы плотины определяется следующим образом:

$$B_{\text{п}}^{\text{II}} = \frac{\gamma_n h}{\text{tg} \varphi \cdot \left( \frac{p_{\sigma}}{p_w} + n - \alpha_1 \right)}, \quad (4.55)$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта основания;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый в зависимости от класса сооружения.

Ширину водосливной плотины на нескальном основании определяем, задаваясь различными значениями,  $n$  по формулам (4.52) и (4.55) определяем соответствующие значения  $B_{\text{п}}$  и строим два графика зависимости  $B_{\text{п}}^{\text{I}} = f(n)$  и  $B_{\text{п}}^{\text{II}} = f(n)$  (рисунок 4.3), точка пересечения которых определяет расчетную ширину подошвы и величину  $n$ , характеризующую наклон граней плотины.

Таблица 4.4 – Определение ширины подошвы плотины

$n$	$B_n^{\text{I}}$	$B_n^{\text{II}}$
0	15,96	18,53
0,1	16,17	17,60
0,2	16,49	16,76
0,3	16,58	16,58
0,4	16,92	16,00
0,5	17,50	15,30
0,6	18,27	14,67
0,6455	19,30	14,08
0,7	20,70	13,54
0,8	22,69	13,04

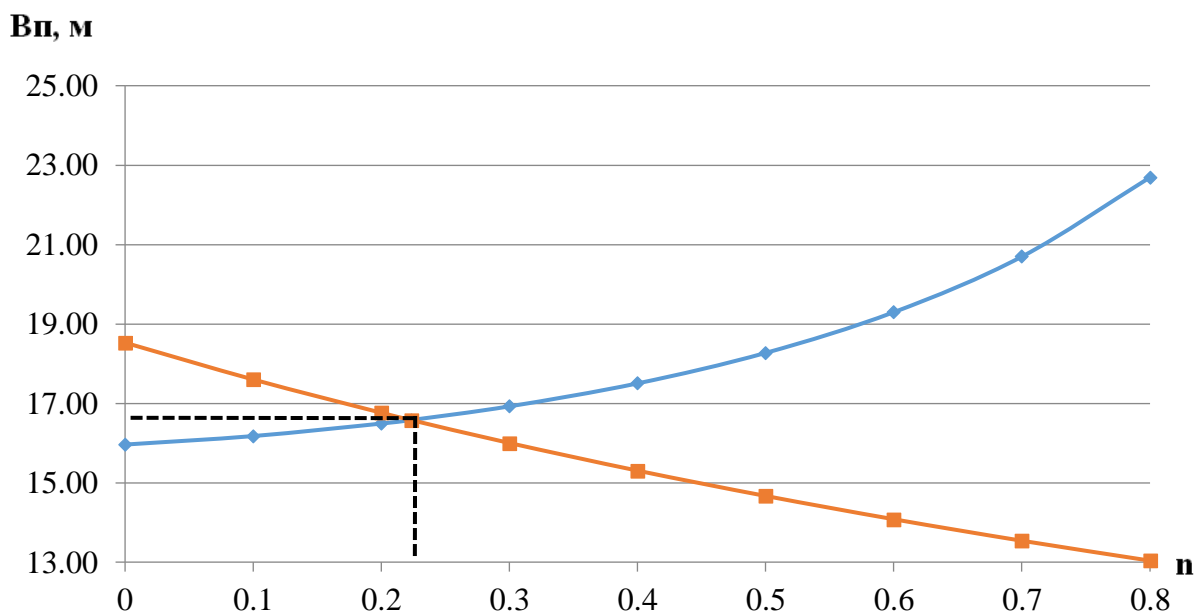


Рисунок 4.3 – Определение ширины подошвы

Таким образом, окончательно ширина подошвы плотины принята  $B_{п} = 16,60$  м при  $n = 0,2235$ .

### 4.3.2 Разрезка бетонных плотин швами

При проектировании бетонных плотин предусматривается их разрезка постоянными и временными деформационными швами с целью недопущения трещинообразования при неравномерной осадке плотины и неравномерном распределении температуры в теле плотины.

Тогда ширина одной секции между швами:

$$B_c = b + \delta_B = 2,5 + 2 = 4,5 \text{ м}, \quad (4.56)$$

где  $b$  – ширина пролета водосливной плотины;

$\delta_B$  – толщина быка.

Ширину постоянных деформационных температурно-осадочных швов принимаем равной 5 см в верхней части и 1,5 см в пределах фундаментной плиты.

### 4.3.3 Быки

Головная часть быка представляет собой обтекаемую форму.

Толщина разрезного быка состоит из 2 полубыков, суммарная величина которых на 1 м больше, чем неразрезного.

Ширина паза рабочего затвора равна 1,5 м, длина 0,5 м.



Длина и ширина паза ремонтно-аварийного затвора 0,5 м.

Расстояние между пазами рабочего и ремонтно-аварийного затворов со стороны верхнего бьефа принято равным 1,0 м с целью обеспечения удобных условий для проведения ремонтных работ на затворе.

#### 4.3.4 Устои

Для Тасеевской ГЭС в проекте предусмотрено два вида устоев: сопрягающий и отдельный.

Правый сопрягающий устой предназначен для предотвращения размыва водой, проходящей через водосливы, а так же является опорой для плоских затворов водосливной плотины.

Отдельный устой, отделяющий водослив от здания ГЭС или глухой бетонной плотины.

#### 4.3.5 Дренаж тела бетонных плотин

Вдоль напорной грани плотины следует предусмотреть устройство дренажа в виде вертикальных скважин (дрен), имеющих выходы в продольные галереи, или горизонтальных дрен, приуроченных к ярусам бетонирования и имеющих выходы в смотровые шахты, расположенные в межсекционных швах сооружения.

Диаметр вертикальных дренажных скважин принят 10÷30 см; расстояние между осями дрен 2÷3 м.

Расстояние от напорной грани до оси дренажа должно быть не менее 2 м при соблюдении условия:

Для галереи на отметке:

$$a_{др} \geq \frac{H_d \gamma_n}{I_{кр,м}} = \frac{20,84 \cdot 1,20}{25} = 1,00 \text{ м}, \quad (4.57)$$

где  $H_d = \nabla \text{НПУ} - \nabla \text{УНБ}_{\min} = 117 - 96,16 = 20,84 \text{ м}$  – напор над расчетным сечением;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения;

$I_{кр,м}$  – критический средний градиент напора для бетона плотины, для гравитационных и массивно-контрфорсных плотин равный 25.

Расстояние от напорной грани до оси дренажной скважины принимаем 2 м.

#### 4.3.6 Галереи в теле плотин

В связи с небольшой высотой проектируемого сооружения в теле плотины можно предусмотреть устройство одной галерей. Продольная

галерея проектируется выше максимального уровня НБ для обеспечения самотечного отвода воды из всей вышележащей части плотины.

Галереи имеют следующие размеры: ширина – 2,5 м, высота – 2,5 м.

#### 4.3.7 Ширина плотины по гребню

Ширина плотины по гребню состоит из ширины проезжей части, пешеходной дорожки и места расположения подкрановых путей.

Для обеспечения проезда транспорта по гребню плотины Тасеевской ГЭС предусмотрена однополосная дорога V категории. Проезжая часть принимается шириной 4 м. Ширина путей козлового крана принята 6 м. Безопасное расстояние между путями козлового крана и автодорогой принимается равным 2 м.

Расстояние между путями козлового крана и верховой гранью быка принимается 2 м.

Таким образом, окончательная ширина плотины по гребню принимается равной 14 м.

#### 4.3.8 Гидравлический расчет глубинных (донных) водосбросов

При возникновении аварийной ситуации на гидроэлектростанции расходы при опорожнении водохранилища могут сбрасываться через глубинные водосбросы (донные отверстия).

В зависимости от ширины секции назначается размер и число отверстий.

Площадь одного водосбросного отверстия:

$$\omega_{\text{во}} = \frac{Q_{\text{вод}}}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\text{во}}}} = \frac{74,8}{0,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 14}} = 5,64 \text{ м}^2, \quad (4.58)$$

где  $Q_{\text{вод}}$  – расход через водовыпуск рассчитывается по формуле 3.16;

$\mu = (0,8 \div 0,82)$  – коэффициент расхода;

$H_{\text{во}}$  – напор над центром выходного отверстия:

$$H_{\text{во}} = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{ВО}} = 114 - 100 = 14 \text{ м}, \quad (4.59)$$

где  $\nabla_{\text{ВО}}$  – отметка центра выходного водосбросного отверстия.

Принимаем один водовыпуск прямоугольного сечения, высотой 2 м, шириной 3 м и площадью сечения одного водовыпуска 6 м<sup>2</sup>.

#### 4.4 Назначение размеров основных элементов плотин

#### 4.4.1 Конструирование отдельных элементов подземного контура плотины

##### 4.4.1.1 Цементационная завеса

Для того чтобы уменьшить фильтрацию и снизить противодиффузионное давление в основании плотины предусматривается устройство цементационной завесы.

Расстояние от напорной грани плотины до оси цементационной завесы:

$$l_3 = (0,10 \div 0,25) \cdot B_n = (0,10 \div 0,25) \cdot 16,6 = 1,66 \div 4,15 \text{ м}, \quad (4.60)$$

где  $B_n$  – ширина подошвы плотины,

Принимаю  $l_3 = 4$  м.

Глубина цементационной завесы:

$$h_{зав} = 0,6 \cdot H_d = 0,6 \cdot 20,84 = 12,5 \text{ м}, \quad (4.61)$$

где  $H_d$  – напор над расчетным сечением.

Толщина цементационной завесы определяется исходя из допустимого градиента фильтрации через завесу:

$$\delta_3 \geq \frac{\Delta H \cdot \gamma_n}{J_{cr.m}} \quad (4.62)$$

где  $\Delta H$  – потери напора на цементационной завесе,

$J_{cr.m}$  – критический градиент напора для бетонной плотины ( $J_{cr.m} = 25$ );

$$\Delta H = h_{пл} - 0,4 \cdot H_d = 24,4 - 0,4 \cdot 20,84 = 16,06 \text{ м}, \quad (4.63)$$

$h_{пл}$  – высота плотины.

Тогда, согласно формуле 4.62:

$$\delta_3 \geq \frac{16,06 \cdot 1,20}{25},$$

$$\delta_3 \geq 0,77 \text{ м}.$$

Принимаем толщину цементационной завесы равной 1,0 м.

Глубина дренажных скважин равна:

$$h_{op} = 0,6 \cdot h_{зав} = 0,6 \cdot 12,5 = 7,5 \text{ м.}$$

#### 4.4.1.2 Дренажные устройства в основании

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

В скальных грунтах дренаж выполняют в виде вертикальных скважин диаметром 200 мм с шагом 2,5 м.

### 4.5 Фильтрационные расчеты подземного контура. Построение эпюры фильтрационного давления

Расчет фильтрации производится в соответствии с [13, таблица 5, рисунок 7].

Напор на сооружении:

$$H_d = \nabla_{НПУ} - \nabla_{УНБ_{\min}} = 114 - 96,16 = 20,84 \text{ м.}$$

### 4.6 Определение основных нагрузок на плотину

#### 4.6.1 Вес сооружения и затворов

Вес одного погонного метра водосливной части плотины с учётом устройства зубьев:

$$G_{пл} = \frac{S_{пл} \cdot b \cdot g \cdot p_{б}}{b + \delta_{б}} = \frac{164,9 \cdot 2,5 \cdot 9,81 \cdot 2,4}{2,5 + 2} = 2156,9 \text{ кН/м,} \quad (4.64)$$

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

$b$  – ширина одного пролета водосливной плотины, м;

$p_{б}$  – плотность бетона;

$\delta_{б}$  – толщина быка.

Точка приложения равнодействующей веса плотины  $G_{пл}$  была определена посредством программы «AutoCAD»:  $X_{пл}, Y_{пл}$ .

Вес быка и его центр тяжести определяем аналогично плотине:

$$G_{б} = \frac{S_{б} \cdot \delta_{б} \cdot g \cdot p_{б}}{b + \delta_{б}} = \frac{258,4 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 2,4}{2,5 + 2} = 2703,9 \text{ кН/м} \quad (4.65)$$

Вес плоского затвора по формуле Березинского:

$$Q_3 \approx 0,055 \cdot f \cdot \sqrt{f} \cdot g \approx 0,055 \cdot 23,3 \cdot \sqrt{23,3} \cdot 9,81 \approx 60,7 \text{ кН}, \quad (4.66)$$

где  $f$  – площадь затвора, равная:

$$f = (\nabla\Phi\PYU_p - \nabla\Gamma\text{В} + 0,5) \cdot b = (118,82 - 110 + 0,5) \cdot 2,5 = 23,3 \text{ м}^2. \quad (4.67)$$

Вес затвора к 1 п. м. длины секции:

$$q_3 = \frac{Q_3}{b + \delta_\sigma} = \frac{60,7}{2,5 + 2} = 13,5 \text{ кН/м}. \quad (4.68)$$

#### 4.6.2 Сила гидростатического давления

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

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды со стороны верхнего бьефа:

$$T_B = \frac{p_w \cdot g \cdot h_1^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 22^2}{2} = 2374,0 \text{ кН/м}. \quad (4.69)$$

$$T'_B = \frac{p_w \cdot g \cdot h_1'^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 23^2}{2} = 2755,1 \text{ кН/м}. \quad (4.70)$$

где  $h_1$  – высота действия гидростатического напора со стороны ВБ для основного случая,

$$h_1 = (\nabla\text{НПУ} - \nabla\text{под}) = (114 - 92) = 22 \text{ м}. \quad (4.80)$$

$h_1'$  – высота действия гидростатического напора со стороны ВБ для поперечного случая,

$$h_1' = (\nabla\Phi\PYU - \nabla\text{под}) = (115,70 - 92) = 23,7 \text{ м}. \quad (4.81)$$

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды со стороны нижнего бьефа:

$$T_H = \frac{p_w \cdot g \cdot h_2^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 4,16^2}{2} = 84,9 \text{ кН/м.} \quad (4.82)$$

$$T'_H = \frac{p_w \cdot g \cdot h_2'^2}{2} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 6,18^2}{2} = 187,3 \text{ кН/м.} \quad (4.83)$$

где  $h_2$  – высота действия гидростатического напора со стороны НБ,

$$h_2 = (\nabla_{\text{УНБ}_{\min}} - \nabla_{\text{Под}}) = (96,16 - 92) = 4,16 \text{ м.} \quad (4.84)$$

$h_2'$  – высота действия гидростатического напора со стороны ВБ для поперечного случая,

$$h_2' = (\nabla_{\text{УНБ}_{\max}} - \nabla_{\text{Под}}) = (98,18 - 92) = 6,18 \text{ м.} \quad (4.85)$$

### 4.6.3 Равнодействующая взвешивающего давления

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

$$h_{\text{вз}} = (\nabla_{\text{УНБ}_{\min}} - \nabla_{\text{Под}}) = (96,16 - 92) = 4,16 \text{ м.} \quad (4.86)$$

$$h'_{\text{вз}} = (\nabla_{\text{УНБ}_{\max}} - \nabla_{\text{Под}}) = (98,18 - 92) = 6,18 \text{ м.} \quad (4.87)$$

Сила взвешивающего давления:

$$W_{\text{вз}} = p_w \cdot g \cdot S_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 69,1 = 677,9 \text{ кН/м,} \quad (4.88)$$

$$W'_{\text{вз}} = p_w \cdot g \cdot S'_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 102,6 = 1006,5 \text{ кН/м,} \quad (4.89)$$

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

### 4.6.4 Сила фильтрационного давления

Эпюра фильтрационного давления, действующая на подземный контур, была построена ранее.

Сила фильтрационного давления, действующая на плотину:

$$W_{\text{ф}} = p_w \cdot g \cdot S_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 75,6 = 741,6 \text{ кН/м,} \quad (4.90)$$

$$W'_\phi = p_w \cdot g \cdot S'_{\text{эп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 12,7 = 124,6 \text{ кН/м}, \quad (4.91)$$

где  $S'_{\text{эп}}$ ,  $S'_{\text{эп}}$  – площадь эпюры фильтрационного давления под плотиной.

#### 4.6.5 Давление грунта

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

$$p_H = \gamma_H \cdot h_H \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_H}{2} \right) = 12,0 \cdot 2 \cdot \text{tg}^2 (45^\circ - 10^\circ) = 11,8 \text{ кН/м}^2, \quad (4.92)$$

где  $h_H = 2 \text{ м}$  – толщина слоя наносов;

$\varphi_H = 40^\circ$  – угол внутреннего трения наносов;

$\gamma_H^{\text{взв}} = 12,0 \text{ кН/м}^3$  – удельный вес наносов во взвешенном состоянии;

Равнодействующая давления наносов:

$$E_H = \frac{p_H \cdot h_H}{2} = \frac{11,8 \cdot 2}{2} = 11,8 \text{ кН/м}. \quad (4.93)$$

#### 4.6.6 Активное давление грунта

Активное давление грунта основания со стороны верхнего бьефа:

$$p_1 = \gamma_H \cdot h_H \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_H}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot \text{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi_H}{2} \right) = 12,0 \cdot 2 \cdot \text{tg}^2 (45^\circ - 10^\circ) - 2 \cdot 110 \cdot \text{tg} (45^\circ - 10^\circ) = -98,1 \text{ кН/м}^2. \quad (4.94)$$

В точке на нижней границе слоя грунта толщиной  $h_{\text{гр}}$ , где действует вес наносов и вес грунта, активное давление:

$$\begin{aligned} p_2 &= \left( \gamma_H \cdot h_H + \gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{гр}} \right) \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_H}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot \text{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi_H}{2} \right) = \\ &= (12 \cdot 2 + 23,005 \cdot 2) \cdot \text{tg}^2 (45^\circ - 10^\circ) - 2 \cdot 110 \cdot \text{tg} (45^\circ - 10^\circ) = \\ &= -87,9 \text{ кН/м}^2, \end{aligned} \quad (4.95)$$

где  $c$  – сцепление грунта, равное 110 кПа;

$\gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}}$  – удельный вес взвешенного грунта определяются по формуле:

$$\gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} = \gamma_{\text{гр}}^{\text{сух}} - (1 - n) \cdot \gamma_w = 24 - (1 - 0,005) \cdot 1 = 23,005 \text{ кН/м}^2, \quad (4.96)$$

где  $\gamma_{\text{гр}}^{\text{сух}}$  – удельный вес сухого грунта;

$n$  – пористость сухого грунта;

$\gamma_w$  – удельный вес воды.

Численное значение равнодействующего активного давления грунта на 1 п.м:

$$E_{\text{ак}} = \frac{p_1 + p_2}{2} = \frac{-98,1 - 87,9}{2} = -93,0 \text{ кН/м}. \quad (4.97)$$

Так как полученное значение отрицательно, то активное давление грунта на гидротехническое сооружение отсутствует.

#### 4.6.7 Пассивное давление грунта

Пассивное давление грунта со стороны нижнего бьефа:

$$\begin{aligned} p_{\text{гр}} &= \gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{гр}} \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot \text{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2} \right) = \\ &= 23,005 \cdot 2 \cdot \text{tg}^2 (45^\circ + 10^\circ) + 2 \cdot 110 \cdot \text{tg} (45^\circ + 10^\circ) = \\ &= 412,8 \text{ кН/м}^2, \end{aligned} \quad (4.98)$$

Численное значение равнодействующего пассивного давления грунта на 1 п.м:

$$E_{\text{пас}} = \frac{p_{\text{гр}} \cdot h_{\text{гр}}}{2} = \frac{412,8 \cdot 2}{2} = 412,8 \text{ кН/м}. \quad (4.99)$$

#### 4.6.8 Волновое давление

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

$$\begin{aligned} W_{\text{волн}} &= 0,5 \cdot p_w \cdot g \cdot h_{1\%} \cdot \left( \frac{\bar{\lambda}_d}{\pi} + \frac{h_0}{2} \right) = 0,5 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 0,66 \cdot \left( \frac{6,17}{3,14} + \frac{0,18}{2} \right) = \\ &= 6,1 \text{ кН/м}, \end{aligned} \quad (4.100)$$

где  $h_{1\%}$  – высота волны 1 %-ной обеспеченности (4.10);



$\bar{\lambda}_d$  – средняя длина волны (4.9).

$$h_0 = \frac{\pi \cdot h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}_d} = \frac{3,14 \cdot 0,66^2}{6,17} = 0,18 \text{ м.} \quad (4.101)$$

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

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}_d}{2 \cdot \pi} - \frac{3}{8} \cdot h_{1\%} = \frac{6,17}{2 \cdot 3,14} - \frac{3}{8} \cdot 0,66 = 0,7 \text{ м.} \quad (4.102)$$

Эюра волнового давления представлена в виде треугольника, основание которого параллельно верховой грани плотины, одна вершина треугольника, лежащая на основании, расположена не выше  $1,1 \cdot h_{1\%} = 1,1 \cdot 0,6 = 0,66$  м над уровнем верхнего бьефа, а другая не ниже  $8 \cdot h_{1\%} = 8 \cdot 0,66 = 5,28$  м УВБ.

## 4.7 Обоснование надежности и устойчивости плотины

### 4.7.1 Оценка прочности плотины. Расчет краевых напряжений плотины

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

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

Все ранее рассчитанные нагрузки приведены в таблице 4.5.

Эюры нагрузок, действующих на плотину, представлены в приложении Б.

Таблица 4.5 – Основные нагрузки на плотину

Обозначение силы	$\gamma_f$	Направление	Основной случай				Поверочный случай				
			Си-ла, кН	$\gamma_f$ Си-ла,	Пле-чо, м	Мо-мент, кН·м	Си-ла, кН	$\gamma_f$ Си-ла,	Пле-чо, м	Мо-мент, кН·м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
$T_B$ ( $T'_B$ )	1,0	→	2374,0	2374,0	7,33	17401,6	2755,1	2755,1	7,9	21765,2	
$T_H$ ( $T'_H$ )	1,0	←	84,9	84,9	1,39	-118,0	187,3	187,3	2,06	-385,9	
$G_{III}$	0,95	↓	2156,9	2049,0	2,88	-5901,3	2156,9	2049,0	2,88	-5901,3	
$G_6$	0,95	↓	2703,9	2568,7	4,63	-11893,1	2703,9	2568,7	4,63	-11893,1	
$W_{ВЗВ}$	1,0	↑	677,9	677,9	0	0,0	1006,5	1006,5	0	0,0	
$W_\phi$	1,0	↑	741,6	741,6	4,57	3389,3	721,0	721,0	4,63	3338,4	
$E_H$	1,2	→	11,8	14,1	2,67	37,7	11,8	14,1	37,7	531,0	
$E_{Пас}$	0,8	←	412,8	330,2	0,67	-221,2	412,8	330,2	0,67	-221,2	
$W_{ВОЛН}$	1,0	→	6,1	6,1	21,3	129,4	6,1	6,1	23	139,8	
$q_3$	0,9*	↓	13,5	12,1	5,99	-72,8	13,5	12,1	5,99	-72,8	
$W_H$	1,0	↓	49,1	49,1	7,01	343,8	124,6	124,6	6,63	826,0	
			$\sum N = 3259,4$			$\sum M = 3095,4$		$\sum N = 3026,9$		$\sum M = 8126,1$	

#### 4.7.1.1 Расчет краевых напряжений верховой грани для основного и особого сочетания нагрузок

Для основного расчетного случая:

Нормальное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_{\Pi}} + \frac{6\sum M}{B_{\Pi}^2} = -\frac{3259,4}{16,6} + \frac{6 \cdot 3095,4}{16,6^2} = -129,0 \text{ кПа}, \quad (4.103)$$

где  $N$  – сумма всех сил, действующих на плотину;

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

$B_{\Pi}$  – ширина подошвы плотины, м.

Нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u m_B^2 - \gamma_w h_B (1 - m_B^2) = -129,0 \cdot 0 - 10 \cdot 22 \cdot (1 - 0) = -220 \text{ кПа} \quad (4.104)$$

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

$h_B = 22 \text{ м}$  – напор над расчётным сечением со стороны верхнего бьефа;

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

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

Касательное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\tau_{xy}^u = (\gamma_w \cdot h_B + \sigma_y^u) \cdot m_B = (10 \cdot 22 - 129,0) \cdot 0 = 0 \text{ кПа}, \quad (4.105)$$

Максимальное растягивающее главное напряжение:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u \cdot (1 - m_B^2) + \gamma_w \cdot h_B \cdot m_B^2 = -129,0 \cdot (1 - 0) + 10 \cdot 22 \cdot 0 = -129,0 \text{ кПа}. \quad (4.106)$$

Максимальное сжимающее главное напряжение:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w \cdot h_B = -10 \cdot 22 = -220 \text{ кПа}. \quad (4.107)$$

Нормальное напряжение на площадке контактного сечения верховой грани:

$$\begin{aligned} \sigma_c^u &= \frac{(1 + m_B^2)}{2} \cdot \left\{ \sigma_y^u [\cos 2(\alpha - \delta) + 1] + \gamma_w \cdot h_B \cdot \left[ \cos 2(\alpha - \delta) - \frac{(1 - m_B^2)}{(1 + m_B^2)} \right] \right\} = \\ &= \frac{(1 + 0)}{2} \cdot \left\{ -129,0 [\cos 2(0 - 0) + 1] + 10 \cdot 22 \cdot \left[ \cos 2(0 - 0) - \frac{(1 - 0)}{(1 + 0)} \right] \right\} = \\ &= -64,5 \text{ кПа}. \end{aligned} \quad (4.108)$$

**Для особого сочетания нагрузок:**

Нормальное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\sigma_y'^u = -\frac{N'}{B} + \frac{6 \sum M'}{B^2} = -\frac{3026,9}{16,6} + \frac{6 \cdot 8126,1}{16,6^2} = -5,4 \text{ кПа}. \quad (4.109)$$

Нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\begin{aligned} \sigma_x'^u &= \sigma_y'^u m_B'^2 - \gamma_w h_B' (1 - m_B'^2) = -5,4 \cdot 0 - 10 \cdot 23,7 \cdot (1 - 0) = \\ &= -237,0 \text{ кПа}. \end{aligned} \quad (4.110)$$

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

$h'_B = 23,7 \text{ м}$  – напор над расчётным сечением со стороны верхнего бьефа;

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

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

Касательное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\tau_{xy}^{uu} = (\gamma_w \cdot h'_B + \sigma_y^{uu}) \cdot m_B = (10 \cdot 23,7 - 5,4) \cdot 0 = 0 \text{ кПа.} \quad (4.111)$$

Максимальное растягивающее главное напряжение:

$$\begin{aligned} \sigma_1^{uu} &= \sigma_y^{uu} \cdot (1 - m_B'^2) + \gamma_w \cdot h'_B \cdot m_B^2 = -5,4 \cdot (1 - 0) + 10 \cdot 23,7 \cdot 0 = \\ &= -5,4 \text{ кПа.} \end{aligned} \quad (4.112)$$

Максимальное сжимающее главное напряжение:

$$\sigma_3^{uu} = -\gamma_w \cdot h'_B = -10 \cdot 23,7 = -237,0 \text{ кПа.} \quad (4.113)$$

Нормальное напряжение на площадке контактного сечения верховой грани:

$$\begin{aligned} \sigma_c^{uu} &= \frac{(1 + m_B^2)}{2} \cdot \left\{ \sigma_y^{uu} [\cos 2(\alpha - \delta) + 1] + \gamma_w \cdot h'_B \cdot \left[ \cos 2(\alpha - \delta) - \frac{(1 - m_B^2)}{(1 + m_B^2)} \right] \right\} = \\ &= \frac{(1 + 0)}{2} \cdot \left\{ -5,4 [\cos 2(0 - 0) + 1] + 10 \cdot 23,7 \cdot \left[ \cos 2(0 - 0) - \frac{(1 - 0)}{(1 + 0)} \right] \right\} = \\ &= -2,7 \text{ кПа.} \end{aligned} \quad (4.114)$$

#### 4.7.1.2 Расчет краевых напряжений низовой грани для основного и особого сочетания нагрузок

**Для основного расчетного случая:**

Нормальные напряжения по низовой грани:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B_{\Pi}} - \frac{6 \sum M}{B_{\Pi}^2} = -\frac{3259,4}{16,6} - \frac{6 \cdot 3095,4}{16,6^2} = -263,8 \text{ кПа.} \quad (4.115)$$

Нормальные напряжения по вертикальной площадке:

$$\begin{aligned}\sigma_x^t &= \sigma_y^t m_H^2 - \gamma_w h_H (1 - m_H^2) = -263,8 \cdot 0,78^2 - 10 \cdot 4,16 \cdot (1 - 0,78^2) = \\ &= -41,6 \text{ кПа},\end{aligned}\quad (4.116)$$

где  $h_H = 4,16$  м – напор над расчётным сечением со стороны нижнего бьефа

$$m_H = \operatorname{tg}(\alpha_2) = 0,78;$$

$\alpha_2$  – угол между низовой гранью и вертикалью,  $\alpha_2 = 38^\circ$ .

Касательное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\tau_{xy}^t = -(\gamma_w \cdot h_H + \sigma_y^t) \cdot m_H = -(10 \cdot 4,16 - 263,8) \cdot 0,78 = 3,0 \text{ кПа} . \quad (4.117)$$

Максимальное растягивающее главное напряжение:

$$\begin{aligned}\sigma_3^t &= \sigma_y^t \cdot (1 + m_H^2) + \gamma_w \cdot h_H \cdot m_H^2 = -263,8 \cdot (1 + 0,78^2) + 10 \cdot 4,16 \cdot 0,78^2 = \\ &= -263,8 \text{ кПа}.\end{aligned}\quad (4.118)$$

Максимальное сжимающее главное напряжение:

$$\sigma_1^t = -\gamma_w \cdot h_H = -10 \cdot 4,16 = -41,6 \text{ кПа} . \quad (4.119)$$

**Для особого сочетания нагрузок:**

Нормальные напряжения по низовой грани:

$$\sigma_y^{II} = -\frac{N'}{B_H} - \frac{6 \sum M'}{B_H^2} = -\frac{3026,9}{16,6} - \frac{6 \cdot 8126,1}{16,6^2} = -359,3 \text{ кПа} . \quad (4.120)$$

Нормальные напряжения по вертикальной площадке:

$$\begin{aligned}\sigma_x^{II} &= \sigma_y^{II} m_H^2 - \gamma_w h_H' (1 - m_H^2) = -359,3 \cdot 0,78^2 - 10 \cdot 6,18 \cdot (1 - 0,78^2) = \\ &= -61,9 \text{ кПа},\end{aligned}\quad (4.121)$$

где  $h_H' = 6,18$  м – напор над расчётным сечением со стороны нижнего бьефа.

Касательное напряжение по горизонтальной площадке:

$$\tau_{xy}^{II} = -(\gamma_w \cdot h_H' + \sigma_y^{II}) \cdot m_H = -(10 \cdot 6,18 - 359,3) \cdot 0,78 = 4,0 \text{ кПа} . \quad (4.122)$$

Максимальное растягивающее главное напряжение:

$$\sigma_3'' = \sigma_y'' \cdot (1 + m_H^2) + \gamma_w \cdot h_H' \cdot m_H^2 = -359,3 \cdot (1 + 0,78^2) + 10 \cdot 6,18 \cdot 0,78^2 = -359,3 \text{ кПа.} \quad (4.123)$$

Максимальное сжимающее главное напряжение:

$$\sigma_1'' = -\gamma_w \cdot h_H' = -10 \cdot 6,18 = -61,8 \text{ кПа.} \quad (4.124)$$

Расчет краевых напряжений сведен в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Краевые напряжения, действующие на плотину

Напряжения, кПа	Основной случай		Поверочный случай	
	Напорная грань	Низовая грань	Напорная грань	Низовая грань
$\sigma_y$	-129,0	-263,8	-5,4	-359,3
$\sigma_x$	-220,0	-41,6	-237,0	-61,9
$\tau_{xy}$	0,0	3,0	0,0	4,0
$\sigma_1$	-129,0	-41,6	-5,4	-61,8
$\sigma_3$	-220,0	-263,8	-237,0	-359,3

#### 4.7.1.3 Критерии прочности плотины

На данном этапе производится проверка расчетов напряжений, для основного сочетания нагрузок исходя из следующих условий:

1. Во всех точках плотины:

$$\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3| \leq \gamma_c \cdot R_b, \quad (4.125)$$

где  $\gamma_n = 1,20$  – коэффициент надежности по назначению для II класса сооружения;

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

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

$R_b$  – расчетное сопротивление бетона сжатию, для основного и особого сочетания нагрузок соответственно:

$$R_b \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3|}{\gamma_c} = \frac{1,20 \cdot 1,0 \cdot |-263,8|}{0,9} = 351,7 \text{ кН/м}^2 \quad (4.126)$$

Тогда:

$$351,7 \text{ кН/м}^2 \leq 6000 \text{ кН/м}^2$$

Условие выполняется.

$$R'_b \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma'_3|}{\gamma_c} = \frac{1,20 \cdot 1,0 \cdot |-359,3|}{0,9} = 479,1 \text{ кН/м}^2 \quad (4.127)$$

$$479,1 \text{ кН/м}^2 \leq 6000 \text{ кН/м}^2$$

Условие выполняется.

Таким образом, исходя из условий (8.24) и (8.25) предварительно принимается бетон В10 [7] с расчетным сопротивлением на сжатие  $R_b = 6000 \text{ кН/м}^2$ , укладываемый в зоне возникновения максимальных сжимающих напряжений.

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

$$\sigma_y'' < 0. \quad (4.128)$$

В данном случае  $\sigma_y'' = -129,0 \text{ кПа}$ ,  $\sigma_y''' = -5,4 \text{ кПа}$ , следовательно, условия выполняются.

3. В зоне верховой грани плотины:

$$|\sigma_y''| \geq 0,25 \cdot \gamma_w \cdot h_b \quad (4.129)$$

$$|-129,0| \geq 0,25 \cdot 10 \cdot 22$$

$$128,95 \text{ кН/м}^2 \geq 55,0 \text{ кН/м}^2.$$

Условие выполняется.

4. В контактном сечении:

$$\sigma_c'' < 0. \quad (4.130)$$

В данном случае  $\sigma_c'' = -64,5 \text{ кПа}$ ,  $\sigma_c''' = -2,7 \text{ кПа}$ , следовательно, условия выполняются.

#### 4.7.1.4 Обоснование устойчивости плотины

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

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

$$\frac{R \cdot \gamma_c}{F \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n, \quad (4.131)$$

где  $R$  – расчетное значение обобщенной несущей способности:

$$\begin{aligned} R &= (G_{пл} + G_6 + q_3 - W_\phi - W_{взв} + W_H) \cdot \operatorname{tg} \varphi + E_{пас} \cdot \gamma'_c + c \cdot B = \\ &= (2049 + 2568,7 + 12,1 - 741,6 - 677,9 + 49,1) \cdot 0,7 + 330,2 \cdot 0,7 + 90 \cdot 16,6 = \\ &= 3972,4 \text{ кН/м}, \end{aligned} \quad (4.132)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – тангенс угла внутреннего трения грунта основания;

$c$  – сцепление грунта;

$B$  – ширина подошвы плотины.

$F$  – сдвигающая сила:

$$F = T_B - T_H + W_{волн} + E_H = 2374 - 84,9 + 6,1 + 14,1 = 2309,3 \text{ кН}. \quad (4.133)$$

Таким образом

$$\frac{3972,4 \cdot 0,9}{2309,3 \cdot 1} \geq 1,20$$

$$1,55 \geq 1,20$$

Условие на сдвиг выполняется.

Для особого сочетания нагрузок:

$$\begin{aligned} R' &= (G_{пл} + G_6 + q_3 - W'_\phi - W'_{взв} + W_H) \cdot \operatorname{tg} \varphi + E_{пас} \cdot \gamma'_c + c \cdot B = \\ &= (2049 + 2568,7 + 12,1 - 721 - 1006,5 + 124,6) \cdot 0,7 + 330,2 \cdot 0,7 + \\ &+ 90 \cdot 16,6 = 3756,8 \text{ кН/м}. \end{aligned} \quad (4.134)$$

Сдвигающая сила:



$$F' = T'_B - T'_H + W'_{\text{волн}} + E_H = 2755,1 - 187,3 + 6,1 + 14,1 = 2587,9 \text{ кН} \quad (4.135)$$

Тогда

$$\frac{3756,8 \cdot 0,9}{2587,9 \cdot 1} \geq 1,20$$

$$1,31 \geq 1,20$$

Условие на сдвиг при особом сочетании нагрузок выполняется.

Сравнив результаты рассчитанных напряжений в плотине с критериями прочности можно сделать вывод, что плотина удовлетворяет требованиям прочности и устойчивости.

## **5 Организация и производство гидротехнических работ**

### **5.1 Периоды и этапы строительства ГЭС**

Выполнение строительных работ на ГТС производим в три периода: подготовительный, основной, заключительный

Первый период – подготовительный. Главной задачей которого является подготовка к ведению работ по основным сооружениям.

Второй период – основной. Главной задачей которого является возведение основных сооружений в объёме, необходимом для пуска объекта.

Третий период – заключительный. Главной задачей которого является подготовка и сдача объекта в эксплуатацию. В этот период заканчиваем все работы по объекту.

В основном периоде выделяем этапы, связанные с очередностью возведения сооружений с учётом пропуска строительного расхода и наполнения водохранилища:

I этап – возведение сооружений для перекрытия русла;

II этап – перекрытие русла;

III этап – возведение сооружений для начала наполнения водохранилища;

IV этап – наращивание сооружений до проектных отметок, наполнение водохранилища, пуск гидроагрегатов.

#### **5.1.1 I этап – возведение сооружений для перекрытия русла**

Основной задачей I этап является возведение сооружений для перекрытия русла реки.

Состав работ I этапа:

- отсыпка верховой, продольной и низовой перемычек I очереди;
- откачка воды и водопонижение котлована I очереди;
- выемка грунта из котлована I очереди;
- возведение бетонных сооружений в котловане I очереди: водосливная
- плотина и правобережная глухая бетонная плотина.

Пропуск расходов на I этапа осуществляется через стеснённое русло реки со стороны левого берега.

### 5.1.1.1 Гидравлический расчёт пропуска строительных расходов I очереди через стеснённое русло

#### Определяем максимальный строительный расход

В соответствии с СП 58.13330. Пункт 8.32 назначаем класс перемычек 4 со сроком строительства 10 лет. Максимальный строительный расход соответствует 10% обеспеченности  $Q_{10\%}=378,3$  м<sup>3</sup>/с.

Отметка УВ  $Q_{10\%}=96,64$  м.

Скорость потока в сжатом русле:

$$V_{сж} = \frac{Q_{\max}^{стр}}{\omega_{сж}} = \frac{378,3}{225,7} = 1,7 \text{ м/с}, \quad (5.1)$$

где  $\omega_{сж}$  - площадь сечения сжатого русла, определяемая по формуле

$$\omega_{сж} = B_{сж} \cdot h_{сж} = 85,5 \cdot 2,64 = 225,7 \text{ м}^2, \quad (5.2)$$

где  $B_{сж}$  - ширина сжатого русла, определяемая из условия

$$B_{сж} = (50\%) \cdot B_0 = 0,5 \cdot 171 = 85,5 \text{ м}, \quad (5.3)$$

где  $B_0$  - ширина русла реки, принимается по геологическому разрезу створа ГЭС при  $\nabla_{УВ}(Q_{10\%}) = 171$  м.

Высота сжатого русла:

$$h_{сж} = \nabla_{УВ}(Q_{10\%}) - \nabla_{дно} = 96,64 - 94 = 2,64 \text{ м} \quad (5.4)$$

Так как  $V_{сж} = 1,7 \text{ м/с} < V_{доп} = 19 \text{ м/с}$  (для скальных грунтов-долерит), следовательно, размыва русла не происходит.

$$Z_{расч} = \frac{V_{сж}^2}{2\varphi^2 g} - \frac{V_0^2}{2g} = \frac{1,7^2}{2 \cdot 0,82^2 \cdot 9,81} - \frac{0,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,2 \text{ м} \quad (5.5)$$

где  $\varphi = 0,82$  - коэффициент скорости;

$g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}$  - ускорение свободного падения;

$V_0$  - скорость течения в естественном русле с учётом подпора, определяем по формуле:

$$V_0 = \frac{Q_{\max}^{\text{стр}}}{\omega_0} = \frac{378,3}{451,4} = 0,8 \text{ м/с} \quad (5.6)$$

где  $\omega_0$  - живое сечение реки перед ВП, определяемое по формуле

$$\omega_0 = B_0 \cdot h_0 = 171 \cdot 2,64 = 451,4 \text{ м}^2, \quad (5.7)$$

где  $h_0$  - глубина воды в русле реки, определяемая по формуле

$$h_0 = \nabla_{\text{УВ}}(Q_{10\%}) - \nabla_{\text{дно}} = 96,64 - 94 = 2,64 \text{ м}. \quad (5.8)$$

Гребень верховой перемычки I очереди:

$$\nabla_{\text{ГВП}}_{\text{Iоч}} = \text{УВ}_{Q_{\max}^{\text{стр}}} + Z_{\text{расч}} + d = 96,64 + 0,2 + 6,5 = 103,3 \text{ м}, \quad (5.9)$$

где  $d$  - запас высоты гребня, определяемый по формуле:

$$d = h_{\text{н}} + \Delta h + \alpha + \alpha_1 + \alpha_2 = 0,5 + 0,5 + 0,5 + 3 + 2 = 6,5 \text{ м}, \quad (5.10)$$

где  $h_{\text{н}} = 0,5 \text{ м}$  - высота наката ветровой волны на откос;

$\Delta h = 0,5 \text{ м}$  - высота ветрового нагона;

$\alpha = 0,5 \text{ м}$  - запас;

$\alpha_1 = 3 \text{ м}$  - глубина сезонного промерзания грунта;

$\alpha_2 = 2 \text{ м}$  - запас при наличии ледохода на реке.

Гребень низовой перемычки I очереди:

$$\nabla_{\text{ГНП}}_{\text{Iоч}} = \text{УВ}_{Q_{\max}^{\text{стр}}} + \alpha + \alpha_1 + \alpha_2 = 96,64 + 0,5 + 3 + 2 = 102,14 \text{ м} \quad (5.11)$$

По плану определяем длины перемычек:

– верховой  $L_{\text{в}} = 146 \text{ м}$ ;

– продольной  $L_{\text{п}} = 290 \text{ м}$ ;

– низовой  $L_{\text{н}} = 126 \text{ м}$ .

### 5.1.2 Гидравлический расчёт пропуска строительных расходов II очереди через донные отверстия в водосбросной плотине

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

$$n_{\min} = \frac{Q_{\max}^{\text{стр}}}{V_{\text{доп}} \cdot h_p \cdot l} = \frac{378,3}{11 \cdot 2,64 \cdot 2,5} = 5,2 \text{ округляем – 6 отверстий} \quad (5.12)$$

где  $V_{\text{доп}} = 11$  м/с - допустимая средняя скорость для бетона;

$h_p$  - глубина воды в русле реки;

$l$  - ширина донного отверстия.

В водосливной плотине для пропуска половодий и паводков предусмотрено два пролета по 2,5 м и один донный водовыпуск высотой 3 м и шириной 2 м и с отметкой порога 99 м. Сопряжение бьефов осуществляется с помощью водобойного колодца.

*Определяем отметку порога донных отверстий*

Назначаем размеры отверстия, исходя из конструкции бетонной водосливной плотины: 6 донных отверстий шириной 2,5 м, высотой 3 м.

Время перекрытия русла – осенняя межень, месяц ноябрь с расходом 103,38 м<sup>3</sup>/с. Следовательно  $Q_{\text{пер}} = 103,38$  м<sup>3</sup>/с, тогда  $\nabla_{\text{УВ}}(Q_{\text{пер}}) = 95,26$  м.

Определяем уровень верхнего бьефа при перекрытии русла по формуле

$$\nabla_{\text{УВБ}} = \nabla_{\text{УВ}}_{Q_{\text{пер}}} + Z_{\max} = 95,26 + 1 = 96,26 \text{ м}, \quad (5.13)$$

где  $Z_{\max} = 1$  м - перепад при перекрытии русла.

Глубина воды в ВБ над порогом донного отверстия:

$$H_{\text{п}} = \left( \frac{Q_{\text{пер}}}{m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left( \frac{103,38}{0,35 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 8,93 \text{ м}, \quad (5.14)$$

где  $b = 2,5$  м - ширина донного отверстия;

$m = 0,35$  - коэффициент расхода водослива.

Из-за того, что глубина воды над порогом получается значительной, рассматриваем пропуск строительных расходов второй очереди через «гребенку».

**Пропуск строительных расходов второй очереди через «гребенку».**

Определяем минимально допустимое количество пролетов гребенки из условия неразмываемости русла реки:

$$n_{\min} = \frac{Q_{\max}^{\text{стр}}}{V_{\text{доп}} \cdot h_p \cdot l} = \frac{378,3}{11 \cdot 2,64 \cdot 2,5} = 5,2 \text{ округляем – 6 пролетов} \quad (5.15)$$

где  $V_{\text{доп}} = 11 \text{ м/с}$  - допустимая средняя скорость для бетона;

$h_p$  - глубина воды в русле реки;

$l$  - ширина донного отверстия.

Определяем расчётную отметку порога «гребенки»ВПГ:

$$Q_{\text{пер}} = 103,38 \text{ м}^3/\text{с}, \text{ тогда } \nabla_{\text{УВ}}(Q_{\text{пер}}) = 95,26 \text{ м} \quad (5.16)$$

Определяем критическую глубину над порогом гребенки

$$h_{\text{кр}} = \left(\frac{\alpha \cdot q^2}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{1,1 \cdot 6,89^2}{9,81}\right)^{1/3} = 1,75 \quad (5.17)$$

где  $\alpha$  – коэффициент неравномерности распределения скоростей,  $\alpha = 1,1$

$q$ -удельный расход (на единицу ширины),

$g$ -ускорение свободного падения, равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ ,

$$q = \frac{Q_{\text{пер}}}{n \cdot b} = \frac{103,38}{2,5 \cdot 6} = 6,89 \quad (5.18)$$

где  $n$  – количество донных отверстий строительного периода

$b$  - ширина донного отверстия

Находим напор перед водосливом

$$H = \left(\frac{Q_{\text{пер}}}{m \cdot \varepsilon \cdot n \cdot b \cdot \sqrt{2g}}\right)^{2/3} = \left(\frac{103,38}{0,35 \cdot 0,95 \cdot 6 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}}\right)^{2/3} = 2,8 \text{ м} \quad (5.19)$$

где  $n$  – количество донных отверстий строительного периода

$b$  - ширина донного отверстия

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

$\varepsilon$  – коэффициент сжатия,  $\varepsilon = 0,9 - 0,95$

По соотношению  $h_{\text{кр}}$  и  $H$  определяем подтоплен водослив или неподтоплен:

Водослив не подтоплен, если

$$H=2,8 < h_{кр} + Z_{max};=1,75+1=2,75 \quad (5.20)$$

Тогда:

$$\nabla\PiГ=\nablaУНБ(Q_{пер})+Z_{max}; -H=95,26+1-2.8=93,46 \text{ м.} \quad (5.21)$$

Отметка ДНА=94м.

Назначаем окончательную  $\nabla\PiГ=93,46$  м.

Определяем условия пропуска паводка  $Q_{стр}$

$Q_{10\%}=378,3$  м<sup>3</sup>/с.

Отметка УВ  $Q_{10\%}=96,64$  м.

Определяем глубину на пороге водослива при  $Q_{стр}$

$$h_{п} = УНБ(Q_{стр}) - \nabla\PiГ=96,64-93,46=3,18 \text{ м}$$

где  $h_{п}$  –глубина воды над порогом при  $Q_{стр}$

Определяем критическую глубину над порогом гребенки

$$h_{кр} = \left(\frac{a \cdot q^2}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{1,1 \cdot 25,22^2}{9,81}\right)^{1/3} = 4,15 \quad (5.22)$$

$$q = \frac{Q_{пер}}{n \cdot b} = \frac{378,3}{2 \cdot 6} = 25,22 \text{ м}^3/\text{с на м} \quad (5.23)$$

По соотношению  $h_{кр}$  и  $h_{п}$  определяем подтоплен водослив или неподтоплен:

При  $h_{п}=3,18 < h_{кр}=4,15$ – водослив не подтоплен

Находим напор на водосливе:

$$H = \left(\frac{Q_{пер}}{m \cdot \varepsilon \cdot n \cdot b \cdot \sqrt{2g}}\right)^{2/3} = \left(\frac{378,3}{0,35 \cdot 0,95 \cdot 6 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}}\right)^{2/3} = 6,64 \quad (5.24)$$

$$УВБ(Q_{стр}) = \nabla\PiГ + H=93,46+6,64=100,11 \text{ м}$$

Пропуск строительных расходов через «гребенку» осуществляем до начала наполнения водохранилища

Определяем отметки гребня перемычек II очереди:

$$\nablaГВ\Pi_{Поч} = УВБ(Q_{стр})+d=104,1+6,5=110,6, \text{ м.}$$

$$\nabla \text{ГНП}_{\text{Юч}} = \text{УНБ} (Q_{\text{ср}}) + \alpha = 96,64 + 5,5 = 102,14.$$

### 5.1.2.1 Отсыпка верховой, продольной и низовой перемычек I очереди

#### 5.1.2.1.1 Конструкция перемычек

Тип перемычек: каменно-земляные. Профиль перемычек: трапециевидный. Ширина по гребню 7 м. Верховой и низовой откосы назначены в зависимости от угла естественного откоса отсыпаемых грунтов и метода возведения сооружения: верховой – 1:1,5; низовой – 1:1,5.

Конструкции верховых и низовых перемычек с их основными размерами представлены на рисунках 2.1, 2.2, 2.3 и 2.4 соответственно.

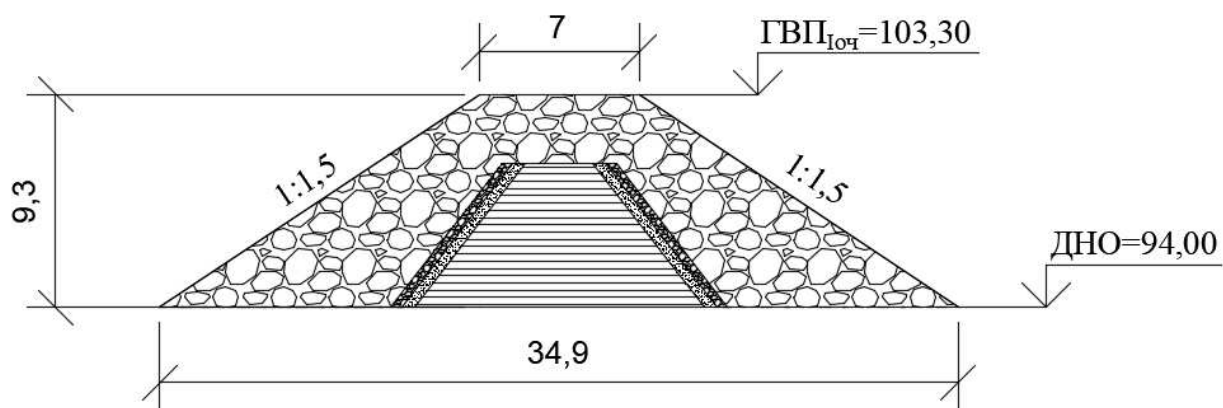


Рисунок 5.1 – Верховая перемычка I очереди

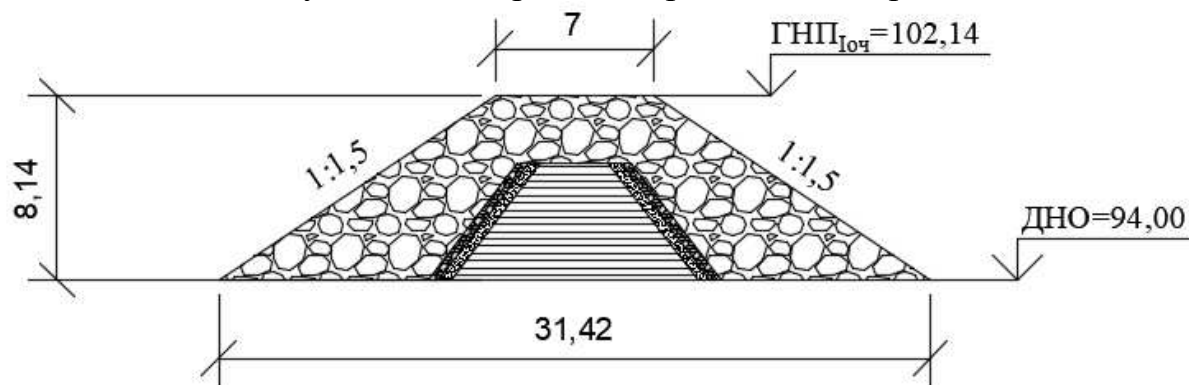


Рисунок 5.2 – Низовая перемычка I очереди

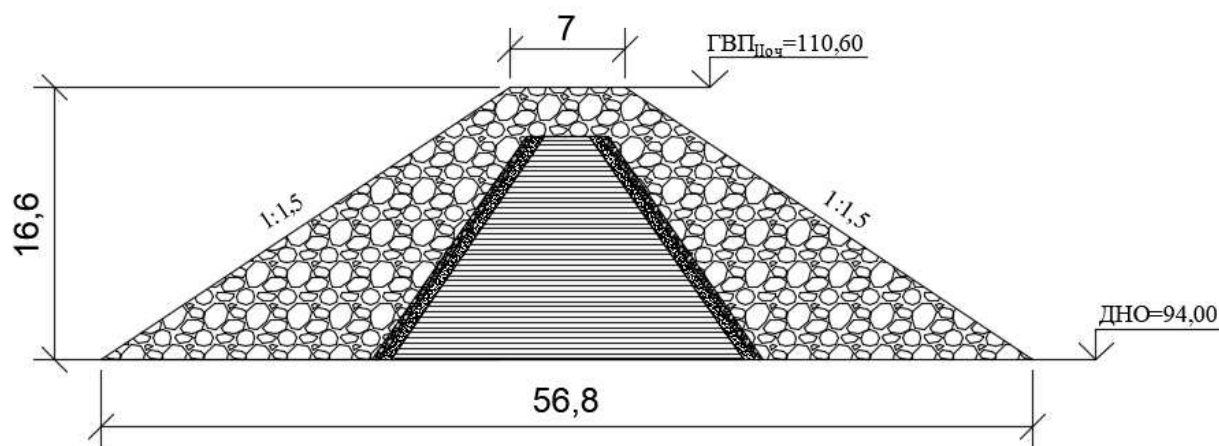


Рисунок 5.3 – Верховая перемычка II очереди

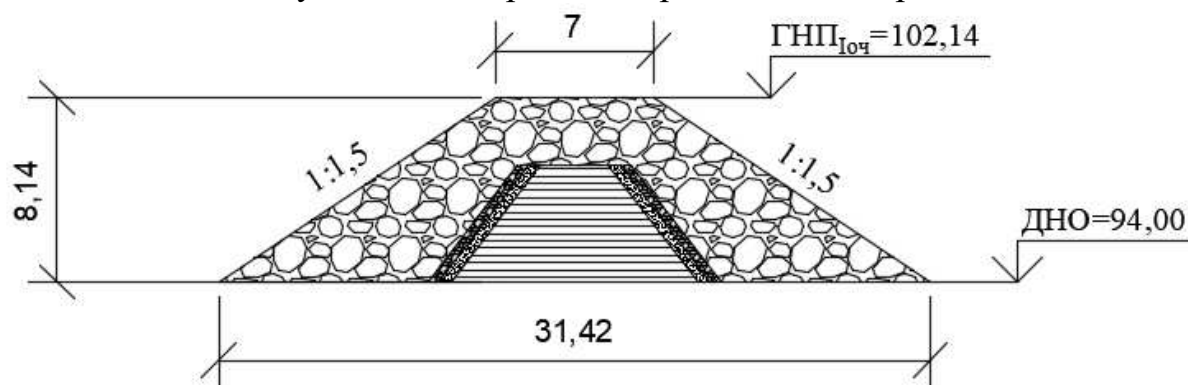


Рисунок 5.4 – Низовая перемычка II очереди

#### 5.1.2.1.2 Технология возведения перемычек

Предварительно, перед возведением перемычек производится отсыпка скального банкета, затем начинается отсыпка перемычек в стоячую воду.

Площади поперечного сечения перемычек определены при помощи программы AutoCAD и равны:  $S_{вп} = 194,84 \text{ м}^2$ ,  $S_{нп} = 156,37 \text{ м}^2$ .

Суммарный объём верховой и продольной перемычек первой очереди:

$$V_{\text{сум}} = L_{\text{вп}} \cdot S_{\text{вп}} + L_{\text{пп}} \cdot S_{\text{пп}} = 146 \cdot 194,84 + 290 \cdot 194,84 = 84950,24 \text{ м}^3, \quad (5.25)$$

где  $S_{\text{вп}}$ ,  $S_{\text{пп}}$  - площади поперечных сечений продольной и верховой перемычек соответственно;

$L_{\text{вп}}$ ,  $L_{\text{пп}}$  - длины продольной и верховой перемычек соответственно.

Объём низовой перемычки:

$$V_{\text{нп}} = L_{\text{нп}} \cdot S_{\text{нп}} = 126 \cdot 156,37 = 19702,62 \text{ м}^3, \quad (5.26)$$

где  $L_{\text{нп}}$  - длина низовой перемычки;



$S_{\text{нп}}$  - площадь поперечного сечения низовой перемычки.

Суммарный объём перемычек:

$$V_{\text{пер}} = V_{\text{сум}} + V_{\text{нп}} = 84950,24 + 19702,62 = 104652,86 \text{ м}^3. \quad (5.27)$$

Количество машино-часов по ГЭСН 36-01-004-03 «Взведение плотин способом отсыпки грунта в искусственные прудки слоями до 4 м» – 14,96 маш/ч на 100 м<sup>3</sup> грунта .

Время возведения перемычек:

$$T = \frac{V_{\text{пер}} \cdot T_{\text{пер}}}{1000} = \frac{104652,86 \cdot 14,96}{1000} = 1566 \text{ маш/ч}. \quad (5.28)$$

Интенсивность возведения перемычек:

$$J_{\text{пер}} = \frac{T}{V_{\text{пер}}} = \frac{1566}{104652,86} = 0,015 \text{ маш.ч/м}^3. \quad (5.29)$$

### 5.1.2.2 Откачка воды и водопонижение котлована I очереди

Водоотлив котлована состоит из 2-х этапов: первоочередная откачка воды котлована и водопонижение.

#### 5.1.2.2.1 Первоочередная откачка воды

Первоочередная откачка воды выполнена методом открытого водоотлива.

Объём воды, которую необходимо откачать из котлована с учётом фильтрации:

$$V_{\text{воды}} = S_{\text{кот}} \cdot h_{\text{в}} \cdot 3 = 13343,3 \cdot 2,64 \cdot 3 = 105678,9 \text{ м}^3, \quad (5.30)$$

где  $S_{\text{кот}}$  - площадь котлована, определена с помощью программы AutoCAD;

$h_{\text{в}}$  - глубина воды в котловане при  $Q_{\text{max}}^{\text{стр}} = 378,3 \text{ м}^3/\text{с}$ , равная:

$$h_{\text{в}} = \nabla_{\text{УВ}}(Q_{\text{max}}^{\text{стр}}) - \nabla_{\text{дно}} = 96,64 - 94 = 2,64 \text{ м}. \quad (5.31)$$

Откачка воды из котлована осуществляется насосами, установленными на берегу.

Запланировано четыре центробежных насоса.

Консольные моноблочные поверхностные центробежные насосы серии КМ предназначены для перекачивания холодной и горячей технической воды (кроме морской) в стационарных условиях с рН=6 – 9, содержащей механические примеси не более 0,1 % по объему и размером частиц не более 0,2 мм, а также других жидкостей, сходных с водой, температурой от -10 до +120 °С.

Применяем насосы КМ 100-80-160Б-С.

Время откачки:

$$T_{\text{отк}} = \frac{V_{\text{в}}}{W_{\text{в}} \cdot n} = \frac{105678,9}{80 \cdot 4} = 330 \text{ часов} = 14 \text{ суток.} \quad (5.32)$$

Интенсивность понижения уровня воды:

$$J = \frac{h}{t_{\text{отк}}} = \frac{2,64}{14} = 0,19 \text{ м/сут.} \quad (5.33)$$

$J = 0,5 \div 0,8$  м/сут - допустима интенсивность откачки для скальных и крупнозернистых грунтов.

$J = 0,19$  м/сут - меньше допустимой.

#### **5.1.2.2.2 Водопонижение**

Для поддержания котлована в сухом состоянии необходимо выполнить осушение котлована способом открытого водоотлива, при котором откачка воды из котлована производится непосредственно с воды. Для открытого водоотлива применяются насосы производительностью 20 м<sup>3</sup>/час, расположенные во временных передвижных насосных станциях.

Были выбраны насосы Гном 25-20.

#### **5.1.2.3 Буровзрывные работы**

Скальная порода имеет очень прочную структуру, и это является как её преимуществом, так и недостатком. С одной стороны, такой грунт может выдержать рекордное давление в 110 Мпа, с другой — он с трудом поддается обработке.

Буровзрывные работы должны обеспечивать:

- 1) достаточную степень и равномерность дробления горных пород;
- 2) нормальную проработку подошвы уступа без оставления порогов, затрудняющих работу экскаватора;
- 3) образование развала взорванной горной массы требуемой формы и размеров;

4) достаточный для бесперебойной работы экскаваторов объем взорванных пород;

5) высокую экономичность и безопасность работ.

Класс пород долеритов-диабазов по трудности бурения  $P_6 = 15$  относится к весьма труднобуримым породам.

Для класса пород  $P_6 = 15$  принимаем модель бурового станка СБУ-125А-24 с технической скоростью бурения  $V_6 = 5$  м/ч.

Определяем производительность бурового станка.

Сменная производительность определяется:

$$P_{6,см} = \left( \frac{T_{см}}{T_0 + T_в} \right) \cdot K_{и.б} = \frac{8 \cdot 0,8}{0,2 + 0,04} = 26,7 \text{ м/см}, \quad (5.34)$$

где  $T_{см} = 8$  ч – продолжительность смены, ч;

$T_0$  и  $T_в$  – продолжительность основных и вспомогательных операций (20% от  $T_0$ ), приходящихся на 1 м скважины, ч;

$K_{и.б}$  - коэффициент использования сменного времени

$$T_0 = \frac{1}{V_6} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ ч}, \quad (5.35)$$

$$T_в = 0,04 \text{ м/ч}$$

Станки роторно-шарошечного бурения СБШ снабжены автономными компрессорами.

Электроснабжение станков осуществляется переменным током 380 В от передвижных трансформаторных подстанций.

Определяем длину буровой скважины

$$L_{скв} = H_{уст} + h_{п} = 4 + 1,25 = 5,25 \text{ м}, \quad (5.36)$$

$$\text{Где } h_{п} = 10 \cdot d_{скв} = 10 \cdot 125 = 1250 \text{ мм} = 1,25 \text{ м}, \quad (5.37)$$

$$H_{уст} = 4 \text{ м},$$

Объем грунта, приходящийся на одну скважину:

$$W_{скв} = 4 \cdot 4 \cdot 5,25 = 84 \text{ м}^3 \quad (5.38)$$

Объёмы земляных работ равен  $58597,42\text{м}^3$ .

Количество скважин:

$$N = \frac{W_э}{W_{\text{свк}}} = \frac{58597,42}{84} = 698 \text{ штук}, \quad (5.39)$$

Определяем объем буровых работ в погонных метрах:

$$W_{\text{б.р}} = N \cdot L_{\text{свк}} = 698 \cdot 5,25 = 3665 \text{ м.} \quad (5.40)$$

Определяем время бурения:

$$T_{\text{б.р}} = \frac{W_{\text{б.р}}}{\Pi_{\text{б.р}}} = \frac{3665}{26,7} = 137 \text{ смен, } 137/21=6,5 \text{ мес.} \quad (5.41)$$

#### **5.1.2.3.1 Выемка грунта из котлована I очереди**

Цикл производства земляных работ состоит из разработки грунта, погрузки экскаватором, транспортировки автосамосвалом и складирования его для дальнейшего использования в качестве строительного материала.

Объём земляных работ:

$$W_{\text{зр}} = W_1 + W_2 + W_3 = 16934,49 + 6773,8 + 34889,13 = 58597,42 \text{ м}^3, \quad (5.42)$$

где  $W_1$  - объём правобережной врезки котлована;

$W_2$  - выемка дорог и проездов 40% от объёма врезки котлована;

$W_3$  - выемка под водобой.

Для разработки скальных грунтов применяем экскаватор ЕТ-26. Полноповоротный одноковшовый универсальный гидравлический экскаватор ЕТ-26 на гусеничном ходу тракторного типа изготавливается в соответствии с ГОСТ 30067 по рабочим чертежам, утверждённым в установленном порядке.

Экскаватор ЕТ-26 предназначен для разработки не мёрзлых грунтов I - IV категорий, а так же предварительно разрыхленных скальных и мерзлых грунтов с величиной кусков не более 400 мм. в диапазоне температур окружающей среды от -40С до +40С.

Технические характеристики экскаватора:

Прямая лопата, емкость ковша 1 куб.

Техническая производительность экскаватора:

$$\Pi_T = \frac{3600qK_n}{t_{\text{ц}}K_p} = \frac{3600 \cdot 1 \cdot 1,2}{30 \cdot 1,4} = 102,9 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.43)$$

где  $q$  - вместимость ковша,  $\text{м}^3$ ;

$K_n$  - коэффициент наполнения ковша;

$K_p$  - коэффициент разрыхления грунта;

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

Эксплуатационная производительность экскаватора:

$$\Pi_3 = \Pi_T \cdot T_p \cdot K_b = 102,9 \cdot 1 \cdot 0,76 = 78,2 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.44)$$

где  $\Pi_T$  - техническая производительность;

$T_p$  - длительность периода работы, ч;

$K_b$  - коэффициент использования машины по времени за соответствующий период.

Время погрузки грунта экскаватором в автотранспорт:

$$(m-1) \cdot T_{\text{п}}, \quad (5.45)$$

где  $m$  - необходимое количество самосвалов;

$T_{\text{п}}$  - время погрузки 1 машины, рассчитываемое по формуле

$$T_{\text{п}} = \frac{W}{\Pi_3} = \frac{5}{78,2} = 0,06 \text{ ч}, \quad (5.46)$$

где  $W$  - ёмкость кузова самосвала,  $\text{м}^3$ ;

$\Pi_3$  - эксплуатационная производительность экскаватора,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Ёмкость кузова самосвала равен  $4 \div 5$  ковшам экскаватора, т.е.  $W = 5 \cdot 1 = 5 \text{ м}^3$ .

Время пока загруженный транспорт проедет до места выгрузки, разгрузится и вернётся к экскаватору:

$$\frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} + T_p + T_3, \quad (5.47)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  - длина пути гружёной машины и обратно, км;

$V_1$  и  $V_2$  - скорость в пути гружёной машины и обратно, км/ч;

$T_p$  - время разгрузки самосвала, ч;

$T_3$  - время задержки в пути, ч.

$$(m-1) \cdot T_{\text{п}} = \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} + T_p + T_3 = \frac{2}{40} + \frac{2}{60} + 0,008 + 0,25 = 0,3 \text{ ч}, \quad (5.48)$$

$$m = \frac{0,3}{0,06} = 5,3 \text{ шт.} \quad (5.49)$$

Принято  $m = 6$  единиц транспорта.

Требуемая грузоподъемность:  $5 \cdot 2,6 = 13\text{т}$ .

В качестве транспорта для погрузки грунта выбран Самосвал КамАЗ 65115. Грузоподъемность 15 т, емкость кузова  $10 \text{ м}^3$ .

Объём выемки одного экскаватора в месяц:

$$\Pi_9 = \Pi_9 \cdot T_p = 78,2 \cdot 8 \cdot 21 = 13137,6 \text{ м}^3/\text{мес}, \quad (5.50)$$

где  $\Pi_9$  - эксплуатационная производительность экскаватора.

Время работы экскаватора:

$$T = \frac{W_{\text{зр}}}{\Pi_9} = \frac{58597,42}{13137,6} = 4,5 \text{ мес}, \quad (5.51)$$

где  $W_{\text{зр}}$  - объём земляных работ;

$\Pi_9$  - производительность экскаватора в месяц.

Интенсивность земляных работ:

$$J_{\text{зр}} = \frac{T}{W_{\text{зр}}} = \frac{4,5}{58597,42} = 0,00008 \text{ мес/м}^3. \quad (5.52)$$

где  $W_{\text{зр}}$  - объём земляных работ;

$T$  - время работы экскаватора.

#### **5.1.2.4 Возведение бетонных сооружений**

##### **5.1.2.4.1 Объём бетонных работ**

По ГЭСН 37-01-001-01

Наименование: Укладка бетонной смеси кранами на гусеничном ходу: 25 т в железобетонные блоки высотой до 5 м на 100 м<sup>3</sup> железобетона в конструкции.

**Состав работ:**

01. Подготовка блока к бетонированию.
02. Перегрузка бетонной смеси из автомобиля-самосвала в бадью.
03. Подача и укладка бетонной смеси.
04. Уход за бетоном.
05. Монтаж и демонтаж приемных устройств.

Объём бетонных работ:

$$W_6 = 150000 \text{ м}^3.$$

#### **5.1.2.4.2 Приготовление бетонной смеси**

Цикл приготовления бетонной смеси:

- приём и хранение компонентов бетонной смеси;
- дозирование их в заданных объёмах;
- перемешивание;
- выдача в транспортные средства.

Приготовление бетонной смеси осуществляется на полустационарном автоматизированном бетонном заводе Флагман-15.

Базовая комплектация бетонного завода:

- двухвальный бетоносмеситель БП-2Г-375с;
- рама опорная РО-30;
- дозирующий комплекс ДК-24 (мобильный);
- блок дозаторов БД-15;
- компенсатор Акас В 5900 В/200 СТ 5,5;
- комплект для сборки и подключения РБУ КОМПАКТ;
- операторская кабина;
- модульная сэндвич-обшивка МСО-30;
- крышки бункеров с автоматическим приводом КБ-2;
- регистры обогрева бункеров РОБ-2.

#### **5.1.2.4.3 Транспортировка бетонной смеси**

Транспортирование бетонной смеси – это комплекс мероприятий, обеспечивающих доставку бетонной смеси от бетонного завода до места укладки и укладка в блоки бетонирования.

Транспортная схема подразделяется на две части:

- горизонтальный транспорт;
- вертикальный транспорт.

*Горизонтальный транспорт*

Доставка бетонной смеси от бетонного завода до места укладки осуществляется с помощью автобетоносмесителем ЗДА на шасси КАМАЗ-43255 с ёмкостью барабана 3 м<sup>3</sup>.

#### *Вертикальный транспорт*

Вертикальная подача бетонной смеси в блоки бетонирования осуществляется с применением башенных бетоноукладочных кранов. Схема подачи бетона в блоки – с размещением бетоноукладочных кранов на отметках дна котлована.

В качестве основного средства механизации выбраны краны КБГС-450, грузоподъёмностью 10-25.

#### **5.1.2.4.4 Опалубочные работы**

По ГЭСН 37-01-015-01

Наименование: Установка и разборка кранами башенными бетоноукладочными 10-25 т опалубки деревянной крупнопанельной щитовой: плоской с горизонтальными и наклонными тяжами.

Состав работ:

01. Установка опалубки с подачей ее кранами и крепление.

02. Разборка опалубки с обрезкой тяжей и анкеров.

Площадь опалубливаемой поверхности:

$$F_{\text{оп}} = W_{\text{б}} \cdot K_{\text{оп}} = 150000 \cdot 0,5 = 75000 \text{ м}^2, \quad (5.53)$$

где  $W_{\text{бр}}$  - объём бетона внутри площади опалубливаемой поверхности;

$K_{\text{оп}}$  - коэффициент опалубливаемой поверхности (для массивных плотин  $K_{\text{оп}} = 0,4 \div 0,6 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ). Назначаем коэффициент равный  $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^3$ .

#### **5.1.2.4.5 Арматурные работы**

По ГЭСН 37-01-027-02

Наименование: Установка кранами башенными бетоноукладочными: 10-25 т армокаркасов и армоферм массой до 5 т.

Состав работ:

01. Установка арматурных конструкций с электроприхваткой.

02. Сварка стыков.

$$G_{\text{ар}} = W_{\text{бр}} \cdot \mu = 150000 \cdot 15 = 2250 \text{ т}, \quad (5.54)$$

где  $W$  - объём бетона внутри площади опалубливаемой поверхности;

$\mu$  - коэффициент армирования, кг/м<sup>3</sup>.



#### **5.1.2.4.6 Мероприятия по подготовке блоков к бетонированию**

Цель мероприятий по подготовке блоков к бетонированию – обеспечение условий производства работ, для набора бетоном проектной прочности, получение сцепления с основанием или ранее уложенным бетоном.

Мероприятия по подготовке блоков к бетонированию подразделяются на:

- установка деревянной крупнопанельной щитовой опалубки: плоская с горизонтальными и наклонными тяжами, заделка щелей;
- установка и зачистка проектных арматурных конструкций;
- установка закладных частей для различного оборудования;
- подготовка площадок и оборудования для приема бетонной смеси;
- подготовка поверхностей оснований блоков;
  
- приемка блоков к бетонированию;
- проверка готовности транспорта и подачи бетонной смеси в блок и их соответствия проектным условиям.
- установка тепляков или шатров, поддержание в них температурного режима (в зимний период);
- сдача блоков приёмочной комиссии.

#### **5.1.2.4.7 Уход за бетоном**

Уход за свежеложенным бетоном подразумевает создание благоприятных условий для гидратации цемента.

Основные цели ухода за бетоном:

- свести к минимуму пластическую усадку готовой бетонной смеси;
- обеспечить достаточную прочность и долговечность;
- предохранить бетон от перепадов температур;
- предохранить бетон от преждевременного высыхания;
- предохранить бетон от механического или химического повреждения.

При обнаружении дефектов бетона, необходимо установить причины их появления и незамедлительно устранить.

Правила ухода за бетоном разделяются на летний и зимний периоды.

*Уход за бетоном в летний период*

- 1) Защитить все поверхности, подверженные воздействию ветра и солнечных лучей, накрыв бетон влагоёмкими материалами.
- 2) Поддерживать поверхность постоянно влажной до набора 70% прочности бетона, посыпая её опилками и поливая водой (при температуре ниже +5° полив водой не требуется).
- 3) Неснятая деревянная опалубка должна постоянно находиться во влажном состоянии.

*Уход за бетоном в зимний период*

1) Сохранение положительных температур бетонной смеси в процессе укладки.

2) При снижении температур до  $+5^{\circ}$  и ниже, влажный уход за бетоном необходимо заменить укрытием паро- или гидроизоляционными материалами (полиэтиленовая пленка, ПВХ, толь и т. п.), при необходимости поверх них устраивается теплоизоляционный слой.

#### **5.1.2.4.8 Контроль качества бетонных работ**

За процессом бетонирования необходимо вести систематический контроль на всех операциях, начиная приготовлением бетонной смеси и заканчивая распалубкой.

Контроль осуществляет строительная лаборатория вместе с непосредственными исполнителями.

Для приготовления бетонной смеси применяют качественные и чистые материалы (песок, щебень, цемент). При этом периодически необходимо проверять крупность песка и щебня, их влажность, количество вредных глинистых и пылеватых частиц, а т.ж. прочность щебня на сжатие. Лабораторный контроль организовывается за такими показателями цемента как: сроки его схватывания, тонкость помола, прочность на сжатие.

Особое внимание необходимо уделить точности дозирования составляющих.

У места укладки бетонной смеси проверяют её однородность, подвижность и объём.

Если при перевозке смесь расслоилась, немедленно корректируется её состав, изменяется маршрут перевозки (если это возможно), модернизируются транспортные средства и т.д.

При отклонении от заданной подвижности изменяют В/Ц и улучшают условия транспортирования.

Контроль за качеством подачи, распределения и укладки бетонной смеси ведёт технический персонал стройки. Контроль заключается в наблюдении за организацией работ и выполнением всех технологических операций.

Особое внимание уделяется контролю виброуплотнения бетонной смеси. Контроль ведётся визуально, судя по степени осадки смеси, прекращению выхода из неё пузырьков воздуха и появлению цементного молока.

#### **5.1.2.4.9 Время производства бетонных работ**

##### **Время укладки бетона:**

Количество машино-часов для укладка бетонной смеси кранами на гусеничном ходу: 25 т в железобетонные блоки высотой до 5 м по ГЭСН 37-01-001-01– 12,14 маш.-ч. на  $100 \text{ м}^3$  железобетона в конструкции.

$$T_{\text{бет}} = \frac{W_{\text{бр}} \cdot T}{100} = \frac{150000 \cdot 12,14}{100} = 18210 \text{ маш/ч} = 759 \text{ сут}, \quad (5.55)$$

где  $W_{\text{бр}}$  - объём бетонных работ;

$T$  - количество машино-часов для кладки бетона.

### **Время выполнения опалубочных работ:**

Количество машино-часов для установки и разборки опалубки бетоноукладочными кранами КБГС-450 грузоподъёмностью 10-25 т по ГЭСН 37-01-015-01 – 18,76 маш/ч на 100 м<sup>2</sup> опалубливаемой поверхности.

$$T_{\text{оп}} = \frac{S \cdot T}{100} = \frac{75000 \cdot 18,76}{100} = 14070 \text{ маш/ч} = 586 \text{ сут}, \quad (5.56)$$

где  $S$  - площадь опалубливаемой поверхности;

$T$  - количество машино-часов для установки и разборки опалубки.

### **Время выполнения арматурных работ:**

Количество машино-часов для установки армокаркасов и армоферм массой свыше 1 до 5 т производится бетоноукладочными кранами КБГС-450 грузоподъёмностью 10-25 т по ГЭСН 37-01-027-02 – 75,21 маш/ч на 100 т.

$$T_{\text{арм}} = \frac{K_{\text{ар}} \cdot T}{100} = \frac{2250 \cdot 75,21}{100} = 1692,2 \text{ маш/ч} = 71 \text{ сут}, \quad (5.57)$$

где  $K_{\text{ар}}$  - количество арматуры;

$T$  - количество машино-часов для установки арматуры.

### **Время вибрирования:**

Количество машино-часов для вибрирования по ГЭСН 37-01-001-01– 31,89 маш.-ч. на 100 м<sup>3</sup> железобетона в конструкции.

$$T_{\text{вибр}} = \frac{W_{\text{бр}} \cdot T}{100} = \frac{150000 \cdot 31,89}{100} = 47835 \text{ маш/ч} = 1993 \text{ сут}. \quad (5.58)$$

где  $W_{\text{бр}}$  - объём бетонных работ;

$T$  - количество машино-часов вибрирования.

Суммарное время выполнения бетонных работ:

$$\begin{aligned} \sum T &= T_{\text{бет}} + T_{\text{оп}} + T_{\text{арм}} + T_{\text{вибр}} = \\ &= 18210 + 14070 + 1692,2 + 47835 = 81807,2 \text{ маш/ч.} \end{aligned} \quad (5.59)$$

Интенсивность бетонных работ:

$$J_{\text{бр}} = \frac{T}{W_{\text{бр}}} = \frac{81807,2}{150000} = 0,55 \text{ маш.ч/м}^3, \quad (5.60)$$

где  $W_{\text{бр}}$  - объём бетонных работ;

$T$  - суммарное время выполнения бетонных работ.

### 5.1.3 II этап – перекрытие русла

Состав работ II этапа:

- предварительное стеснение русла верховой и низовой перемычками II очереди;
- разбор низовой перемычки I очереди, затопление котлована I очереди;
- разбор верховой перемычки I очереди, пропуск расходов через «гребенку», расположенную в водосливной плотине котлована I очереди;
- для перекрытия русла реки возводятся перемычки II очереди до полного сечения.

Конструкция, технология возведения и механизмы перемычек II очереди аналогичны перемычкам I очереди.

### 5.1.4 III этап – возведение сооружений для начала наполнения водохранилища

На III этапе сооружения возводятся в котловане II очереди и наращиваются до отметки пуска гидроагрегатов.

Состав работ III этапа:

- откачка воды и водопонижение котлована II очереди;
- выемка грунта из котлована II очереди;
- бетонирование здания ГЭС;
- возведение левобережной бетонной глухой плотины

### 5.1.5 IV этап – наращивание сооружений до проектных отметок, наполнение водохранилища, пуск гидроагрегатов

Состав работ IV этапа:

- разбор низовой перемычки II очереди, затопление котлована II очереди;

- разбор верховой перемычки II очереди;
- наполнение водохранилища до отметки пуска гидроагрегатов;
- пуск гидроагрегатов;
- наращивание сооружений до проектных отметок.

## 5.2 Ведомость распределения объемов работ по этапам строительства

### Результаты расчётов

Время возведения перемычек:

$$T = \frac{V_{\text{пер}} \cdot T_{\text{пер}}}{1000} = \frac{104652,86 \cdot 14,96}{1000} = 1566 \text{ маш/ч}, \quad (5.61)$$

Интенсивность возведения перемычек:

$$J_{\text{пер}} = \frac{T}{V_{\text{пер}}} = \frac{1566}{104652,86} = 0,015 \text{ маш.ч/м}^3, \quad (5.62)$$

Интенсивность земляных работ:

$$J_{\text{зр}} = \frac{T}{W_{\text{зр}}} = \frac{4,5}{58597,42} = 0,00008 \text{ мес/м}^3, \quad (5.63)$$

Интенсивность бетонных работ:

$$J_{\text{б}} = \frac{T}{W_{\text{бр}}} = \frac{81807,2}{150000} = 0,55 \text{ маш.ч/м}^3. \quad (5.64)$$

Таблица 5.1 - Ведомость распределения объемов работ по этапам строительства

№ этапа	Наименование сооружений	Наименование работ	Ед. изм.	Количество	Время мес.	Примечание
I	Перемычки I очереди	Насыпь	м <sup>3</sup>	104653	5	1 смена 2 механизм
I	Котлован I очереди	Выемка	м <sup>3</sup>	58598	5	1 смена 1 механизм
I	Возведение водосливной плотины до отм. 111,6 м	Бетонные работы	м <sup>3</sup>	16491	15	Скользкий график 1 кран
I	Возведение глухой правобережной плотины до отм. 111,6 м	Бетонные работы	м <sup>3</sup>	50838	44	Скользкий график 1 кран
II	Перекрытие русла					

## Окончание таблицы 5.1 – Ведомость распределения объемов работ по этапам строительства

II	Перемычки II очереди	Насыпь	м <sup>3</sup>	155705	14	Скользкий график
II	Котлован II очереди	Выемка	м <sup>3</sup>	103266	8	Скользкий график
III	Возведение глухой левобережной плотины до отметки 111,6 м	Бетонные работы	м <sup>3</sup>	20219	18	Скользкий график 1 кран
III	Возведение здания ГЭС до 111,6 м	Бетонные работы	м <sup>3</sup>	47724	42	Скользкий график 1 кран
III	Наращивание правобережной плотины с отм. 111,6 до проектной отметки 116,4 м	Бетонные работы	м <sup>3</sup>	9888	9	Скользкий график 1 кран
III	Возведение водосливной плотины с отм. 111,6 до проектной отметки 116,4 м	Бетонные работы	м <sup>3</sup>	900	1	Скользкий график 1 кран
IV	Наращивание левобережной плотины и здания ГЭС до проектной отметки 116,4 м	Бетонные работы	м <sup>3</sup>	10250	9	Скользкий график 1 кран

## 6. Пожарная безопасность. Охрана труда

### 6.1 Пожарная безопасность

Требования к пожарной безопасности в РФ изложены в действующем нормативном документе «Правила противопожарного режима в РФ», утверждённые Постановлением Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. вступившего в силу с 1 января 2021 г. и действующего вплоть до 31 декабря 2026 г. включительно.

Пожарная безопасность объекта обеспечивается системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные требования пожарной безопасности для гидротехнических сооружений:

- В отношении каждого объекта руководителем организации утверждается инструкция о мерах пожарной безопасности.

- Лица допускаются к работе на объекте только после прохождения обучения мерам пожарной безопасности.

- Руководитель организации назначает лицо, ответственное за пожарную безопасность, которое обеспечивает соблюдение требований пожарной безопасности на объекте.

- Запрещается курение на территории и в помещениях на пожаровзрывоопасных и пожароопасных объектах.

– Обеспечивается наличие звуковой сигнализации для оповещения людей при пожаре, телефонной связи, а также запасов воды для целей пожаротушения.

– На период устойчивой сухой, жаркой и ветреной погоды, а также при введении особого противопожарного режима осуществляются следующие мероприятия:

а) введение запрета на разведение костров, проведение пожароопасных работ на определенных участках, на топку котельных установок;

б) организация патрулирования добровольными пожарными;

в) подготовка для возможного использования в тушении пожаров имеющейся водовозной и землеройной техники;

г) проведение соответствующей разъяснительной работы с гражданами о мерах пожарной безопасности и действиях при пожаре.

– Запрещается оставлять емкости с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, горючими газами.

– Запрещается устраивать свалки горючих отходов.

– Руководитель организации обеспечивает исправность источников наружного противопожарного водоснабжения, а также доступность подъезда к ним.

– Руководитель организации обеспечивает исправное состояние пожарных гидрантов, их утепление и очистку от снега и льда в зимнее время, доступность подъезда пожарной техники к пожарным гидрантам в любое время года.

– Направление движения к водоемам, являющимся источником противопожарного водоснабжения, должно обозначаться указателями с четко нанесенными цифрами расстояния до их месторасположения.

– Выжигание сухой травянистой растительности на земельных участках может производиться в безветренную погоду при условии, что:

а) участок для выжигания сухой травянистой растительности располагается на расстоянии не ближе 50 метров от ближайшего объекта;

б) территория вокруг участка для выжигания сухой травянистой растительности очищена в радиусе 25 - 30 метров от сухостойных деревьев, валежника, порубочных остатков, других горючих материалов и отделена противопожарной минерализованной полосой шириной не менее 1,4 метра;

в) на территории, включающей участок для выжигания сухой травянистой растительности, не действует особый противопожарный режим;

г) лица, участвующие в выжигании сухой травянистой растительности, обеспечены первичными средствами пожаротушения.

### **6.1.1 Требования к инструкции о мерах пожарной безопасности**

Инструкция о мерах пожарной безопасности разрабатывается на основе настоящих Правил и нормативных правовых актов по пожарной безопасности, исходя из специфики пожарной опасности зданий, сооружений, помещений,

технологических процессов, технологического и производственного оборудования.

В инструкции о мерах пожарной безопасности необходимо отражать следующие вопросы:

- порядок содержания территории, зданий, сооружений и помещений, эвакуационных путей и выходов, в том числе аварийных, а также путей доступа подразделений пожарной охраны на объекты защиты (на этажи, кровлю (покрытие) и др.);

- мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов при эксплуатации оборудования и производстве пожароопасных работ;

- порядок и нормы хранения и транспортировки пожаровзрывоопасных веществ и материалов;

- порядок осмотра и закрытия помещений по окончании работы;

- расположение мест для курения, применения открытого огня, проезда транспорта, проведения огневых или иных пожароопасных работ;

- порядок сбора, хранения и удаления горючих веществ и материалов, содержания и хранения спецодежды;

- порядок и периодичность уборки горючих отходов и пыли, хранения промасленной спецодежды, ветоши;

- предельные показания контрольно-измерительных приборов (манометры, термометры и др.), отклонения от которых могут вызвать пожар или взрыв;

- обязанности и действия работников при пожаре, в том числе при вызове пожарной охраны, открытии и блокировании в открытом состоянии вращающихся дверей и турникетов, а также других устройств, препятствующих свободной эвакуации людей, аварийной остановке технологического оборудования, отключении вентиляции и электрооборудования, пользовании средствами пожаротушения и пожарной автоматики, эвакуации горючих веществ и материальных ценностей, осмотре и приведении в пожаровзрывобезопасное состояние всех помещений предприятия

- допустимое (предельное) количество людей, которые могут одновременно находиться на объекте защиты.

В инструкции о мерах пожарной безопасности указываются лица, ответственные за обеспечение пожарной безопасности, в том числе за:

- сообщение о возникновении пожара в пожарную охрану и оповещение (информирование) руководства, дежурных и аварийных служб объекта защиты;

- организацию спасения людей с использованием для этого имеющихся сил и технических средств;

- проверку включения автоматических систем противопожарной защиты (систем оповещения людей о пожаре, пожаротушения, противодымной защиты);



– перекрытие сырьевых, газовых, паровых и водных коммуникаций, остановку работы систем вентиляции в аварийном и смежных с ним помещениях, а также выполнение других мероприятий, способствующих предотвращению развития пожара и задымления помещений здания, сооружения;

– удаление за пределы опасной зоны всех работников, не задействованных в тушении пожара;

– осуществление общего руководства тушением пожара (с учетом специфических особенностей объекта защиты) до прибытия подразделения пожарной охраны;

– обеспечение соблюдения требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;

– организацию одновременно с тушением пожара эвакуации и защиты материальных ценностей;

– встречу подразделений пожарной охраны и оказание помощи в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;

– сообщение подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожаров и проведения связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ, сведений, необходимых для обеспечения безопасности личного состава, о перерабатываемых или хранящихся на объекте защиты опасных (взрывоопасных), взрывчатых веществах;

– по прибытии подразделения пожарной охраны информирование руководителя тушения пожара о конструктивных и технологических особенностях объекта защиты, прилегающих строений и сооружений, о количестве и пожароопасных свойствах хранимых и применяемых на объекте защиты веществ, материалов, изделий и сообщение других сведений, необходимых для успешной ликвидации пожара;

– организацию привлечения сил и средств объекта защиты к осуществлению мероприятий, связанных с ликвидацией пожара и предупреждением его развития.

## **6.2 Охрана труда**

Охрана труда – это система сохранения жизни, здоровья и работоспособности персонала в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Общие требования безопасности:

– Не допускается нахождение на территории и в производственных помещениях организации ГЭС лиц, не имеющих отношения к обслуживанию расположенного в них оборудования, без сопровождающих.

– Для движения транспортных средств на территории организации должны быть разработаны и установлены на видных местах схемы движения.

– В организации должны быть установлены сроки и порядок проверки состояния транспортных путей.

– Все проходы и проезды, входы и выходы как внутри производственных сооружений, так и внешние, на примыкающих к ним территориях, должны быть освещены, свободны и безопасны для персонала и транспорта.

– Элементы оборудования, арматуры и приборы, требующие периодического осмотра, должны быть расположены в местах, удобных для обслуживания.

– Стоки и дренажные каналы для отвода воды с поверхности пола заглубленных помещений (помещения дроссельных затворов, струйных реле, насосов откачки) должны содержаться в исправности и обеспечивать полный отвод воды.

– Участки дорог, проходящие в скальных вырубках и в местах возможного обрушения породы, должны быть защищены от обвалов специальными ограждениями.

– Шахты, колодцы и шурфы должны быть закрыты прочными и плотными щитами или иметь ограждения. Траншеи и котлованы в месте прохода людей должны быть ограждены.

– Химические вещества и материалы, содержащие легковоспламеняющиеся, взрывоопасные и токсичные компоненты, следует хранить в специальных соответствующих проектным решениям складах, изолированных от других помещений.

– Не разрешается хранить в производственных помещениях или на рабочих местах бензин, спирт, нитрокраски, растворители, разбавители и другие легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, смазочные материалы, в количествах превышающих суточную потребность.

– Материалы, изделия, оборудование и их детали, находящиеся на месте ремонтных работ вне помещений, должны быть уложены на выровненных и утрамбованных площадках, которые в зимнее время следует очищать от снега и льда.

– На территории и в рабочих помещениях должна соблюдаться чистота. Разлитые или протекшие жидкости должны быть немедленно удалены.

Не разрешается применять при уборке помещений и оборудования горючие вещества (например, бензин, керосин, толуол, ацетон).

– Курение на территории и в производственных помещениях разрешается только в специально оборудованных местах, не опасных в пожарном отношении, при соблюдении необходимых мер пожарной безопасности. У этих мест должны быть вывешены указательные знаки безопасности.

– В каждом подразделении (участке) ГЭС должны быть определены места расположения средств для оказания первой медицинской помощи

– На узлах гидротехнических сооружений ГЭС, находящихся на расстоянии более чем на 300 м от утепленных помещений, следует оборудовать помещения для регламентированного отдыха персонала.

### 6.2.1 Обслуживание оборудования

– У каждого руководителя структурного подразделения ГЭС должен постоянно храниться комплект действующих в подразделении инструкций по охране труда для работников всех профессий, должностей и по всем видам работ данного подразделения, а также перечень этих инструкций, утвержденный руководителем ГЭС.

– До начала работы руководителем структурного подразделения должно быть проверено выполнение всех требований безопасности, относящихся к предстоящей работе. При несоблюдении этого положения и необеспечении персонала необходимыми средствами индивидуальной защиты не разрешается приступать к работе.

– Не разрешается находиться без производственной необходимости вблизи оборудования, находящегося в работе, а также при его пуске, останове и испытании.

– Не разрешается ведение работ на не остановленных механизмах и оборудовании.

– Не допускается пуск и даже кратковременная работа машин и механизмов с движущимися и вращающимися частями при отсутствии или неисправном состоянии ограждающих устройств.

– Движущиеся части производственного оборудования, к которым возможен доступ работающих, должны иметь защитное ограждение, надежное и прочно закрепленное, не ограничивающее технологических возможностей оборудования.

– Капитальные и средние ремонты оборудования, а также работы, связанные с его монтажом или демонтажем, должны выполняться по ППР или технологической документации, содержащим конкретные требования безопасности при подготовке к работе и в процессе ее выполнения.

– При ремонтных работах, для отмычки и обезжиривания деталей технологического оборудования должны применяться только пожаробезопасные моющие вещества.

– Предельные значения температур наружного воздуха и силы ветра в данном климатическом районе, при которых следует приостанавливать производство работ на открытом воздухе, определяются в установленном порядке местными органами власти.

– Работник, прежде чем приступить к работе, должен убедиться в полной исправности инструмента.

– Гаечные ключи должны соответствовать размерам гаек.

– При работе ударным пневматическим или электрическим инструментом рабочие должны обеспечиваться антивибрационными рукавицами.

– Если во время работы работник заметит неисправность электроинструмента или почувствует хотя бы слабое действие тока, он обязан

немедленно прекратить работу и сдать неисправный инструмент в инструментальную для проверки и ремонта.

## **7 Охрана окружающей среды**

### **7.1 Общие сведения о районе строительства**

Тасеевская область находится на юго-востоке Красноярского края и подвержена влиянию умеренного климатического пояса с резко-континентальным климатом.

Не замерзание Енисея зимой и наличие Енисейского водохранилища, оказывают смягчающее влияние на суровый климат региона. Основными характеристика становятся малоснежная морозная зима и жаркое лето, круглогодично с большими перепадами температур воздуха. В области преобладание имеют сухие степные воздушные массы из Казахстана, что делают климат значительно теплее вместе с близко расположенными водоёмами.

Территория района расположена в юго-западной части Средне-Сибирского плато (Канско-Рыбинской котловины). В основании располагается Сибирская платформа, фундамент которой представлен складчатыми толщами дориферийского возраста. Рельеф представляет собой всхолмленную равнину с колебаниями абсолютных отметок над уровнем моря от 80 до 500 метров. большей частью рельеф территории сглаженный, склоны пологие, т.к. коренные породы сложены, в основном, слабо сцементированными песчаниками. И лишь в долине реки Бирюсы наблюдается резкопересеченный рельеф с крутизной склонов до 35 градусов, местами на поверхность выступают скалы и россыпи. Типичны неглубокие врезанные широкие террасированные долины крупных рек и их притоков. Повсеместно развиты покровные лессовые породы и овражно-балочный рельеф. На террасах рек имеются эоловые формы рельефа. К окружающим горам абсолютные высоты повышаются.

Почвы преобладают подзолистые, иллювиально-гумусовые, подзолы глеевые, торфяные и торфянистые.

#### **Машуковский заказник**

**Машуковский Заказник** – заказник краевого значения. Биологический природоохранный комплекс для восстановления природных компонентов и акваторий.

Расположение:

Поселок Мотыгино, Красноярский край, Сибирский округ. Заказник находится на территории Мотыгинского и Тасеевского административного района, лесной фонд Мотыгинского лесхоза, Первомайское лесничество.

Машуковский представляет собой неповторимый ландшафт, так как заказник раскинулся на притоках красивейших рек Сибири – Ангары.

Площадь более 46,6 тыс. га

Открыт сравнительно недавно в 2004 г., с помощью проекта «Подарок земле», для воспроизведения охотничье-промысловых видов животных. Заказник расположен на месте переправы сибирской косули через реку Тасеева, так же здесь находится основное обитание лося во время зимовки и миграции. **Машуковский Заказник** — это участок естественного расселения бобра.

Под защитой находятся многие ценные не только в научном, но и в эстетическом отношении виды редких птиц, животных и рыб. Норка, соболь, выдра, рысь, стерлядь ангарской популяции. Планируется расширение территории.

Мотыгинский район очень богат природными ископаемыми, но на территории заказника запрещены любые работы и хозяйственная деятельность.

Недалеко от территории заказника можно рыбачить. Многие туристы занимаются сплавом по реке Ангара и ее притокам. Воды здесь очень стремительные и холодные. Во время сплава по рекам можно в полной мере рассмотреть живописную дикую природу, хребты гор и многое другое.

## 7.2 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды

Создание водохранилища представляет собой подготовку ложа, включая освобождение территории под зону затопления.

При строительстве Тасеевского ГУ выполняются следующие виды работ:

- возведение перемычек
- выемка грунта и складирование его в бурте;
- подготовка площадки к строительству;
- возведение временных зданий и сооружений;
- возведение основных зданий и сооружений;
- демонтаж временных зданий и сооружений.

В период строительства происходят следующие воздействия на окружающую среду:

- нарушается естественный ландшафт района;
- происходит насыщение воды органическими осадками, ухудшается её качество «зацветает»;
- меняется климат;
- происходит подъём уровня воды.

В проекте гидроэлектростанции должен быть разработан раздел «Мероприятия по подготовке зоны водохранилища», в составе которого решаются вопросы:

- переселения населения;
- возмещения потерь с/х производства;
- защиты от затопления с/х земель;
- инженерной защиты или переноса (сноса) населённых пунктов, отдельных сооружений или строений;
- переустройства автомобильных дорог, линий электропередачи и связи;
- санитарной подготовки ложа водохранилища;
- лесосводки и лесочистки;
- создание условий для транспортного и рыбохозяйственного освоения водохранилища;
- охраны и рационального использования водных ресурсов.

### **7.3 Мероприятия по подготовке ложа водохранилища**

Ложе водохранилища под затопление подготавливают одновременно с основными работами по устройству насыпи плотины. До заполнения водохранилища водой ложе освобождают от леса, кустарника и выполняют работы по санитарной подготовке.

Контур водохранилища закрепляют знаками, которые служат ориентирами при выполнении работ по подготовке чаши для затопления.

Санитарная подготовка ложа водохранилища включает в себя ряд мероприятий, которые должны предохранить от загрязнения воду в водохранилище:

- 1) территорию по всей зоне затопления очищают от навоза, соломы, строительного мусора и остатков древесины, которые неизбежно остаются после сноса жилых строений и сельскохозяйственных построек;
- 2) засыпают колодцы, подвалы, смотровые колодцы водопроводной и канализационной сети и прочие искусственные углубления. Перед засыпкой их очищают от отложений, которые могут привести к загрязнению воды в водохранилище;
- 3) очищают с последующей засыпкой выгребные ямы общественного пользования;
- 4) тампонируют действующие и бездействующие трубчатые колодцы, и артезианские скважины;
- 5) обрабатывают территории кладбищ и скотомогильников или переносят их на новые места.

Все мероприятия по санитарной обработке водохранилища предварительно согласуют с органами Государственной санитарной инспекции, под контролем которой и проводят всю работу.

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.

Основными мероприятиями в период подготовки ложа водохранилища являются: организационные и санитарно-технические.

К организационным мероприятиям относятся:

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

- разработка и утверждение проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР);

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

- получение разрешений на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

- получение разрешений на сброс загрязняющих веществ в водные объекты;

- оформление Решения о предоставлении водного объекта в пользование в целях сброса сточных или дренажных вод;

- расчет и своевременное внесение платы за негативное воздействие на окружающую среду;

- организация и проведение производственного экологического контроля.

К санитарно-техническим мероприятиям относятся:

- раздельное накопление опасных отходов по видам отходов и классам опасности;

- размещение отходов на специализированных и оборудованных в соответствии с требованиями законодательства полигонах;

- передача на использование лома черных и цветных металлов, отходов кабельной продукции;

- передача отработанных масел на обезвреживание специализированной организации;

- учет образования, использования, передачи отходов с регистрацией в журналах;
- организация контроля за соблюдением установленных нормативов ПДВ; организация и осуществление контроля качества сточных, дренажных и природных поверхностных вод;
- соблюдение режима хозяйствования в водоохраной зоне;
- передача хозяйственно бытовых сточных вод специализированной организации на обезвреживание;
- организация стоянок автотранспорта в специально-оборудованных местах, имеющих твердое покрытие.

#### **7.4 Отходы, образующиеся при строительстве**

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

- лом бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме;
- лом и отходы, содержащиеся незагрязнённые чёрные металлы в виде изделий, кусков, несортированные.

##### **7.4.1 Лом бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме**

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

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho = \frac{96257,2 \cdot 1,8}{100} \cdot 2,5 = 4331,5 \text{ т}, \quad (7.1)$$

где  $N$  – объём бетонных работ, м<sup>3</sup>;  
 $q = 1,8\%$  – удельный норматив образования, %;  
 $\rho = 2,5 \text{ т/м}^3$  – плотность бетона, т/м<sup>3</sup>.

##### **7.4.2 Лом и отходы, содержащие незагрязнённые чёрные металлы в виде изделий, кусков, несортированные**

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

Удельный норматив образования отходов принимается в соответствии с Приложением к сборнику Типовых норм потерь материальных ресурсов в строительстве (дополнение к РДС 82-202-96) Москва, Госстрой России, 1988 г., таблица 4, норма образования отходов арматуры составляет 1,0 %.

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho = \frac{96257,2 \cdot 1}{100} \cdot 2 = 1925,1 \text{ т}, \quad (7.2)$$



где  $N$  – объём бетонных работ, м<sup>3</sup>;  
 $q = 1,0\%$  – удельный норматив образования, %;  
 $\rho = 2,0$  т/м<sup>3</sup> – удельный вес арматуры, т/м<sup>3</sup>.

## **7.5 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации**

Гидроэлектростанция оказывает существенное влияние на окружающую природную среду. Это влияние является локальным.

В период эксплуатации происходит разностороннее влияние ГЭС на окружающую среду. Наиболее существенное влияние на природу оказывает водохранилище. Необходимо разработать и утвердить правила эксплуатации водохранилища.

Чтобы снизить риск негативного воздействия водохранилища на природную среду обязательен санитарный попуск воды в нижний бьеф. Рациональным регулированием расходов и уровней воды можно удовлетворить потребности сельского хозяйства, промышленности, населения и природных комплексов.

Также в период эксплуатации Тасеевского гидроузла необходимо провести мероприятия по:

- отчистке воды, сбрасываемой в водные объекты;
- обеспечению непопадания вредных, загрязняющих веществ в водные объекты;
- обеспечению непопадания эксплуатационных отходов в водные объекты;
- обеспечению непопадания в атмосферу выбросов от: генераторов, сварочных, окрасочных и других работ, проводимых в период текущих и капитальных ремонтов.

В связи с тем, что рядом с проектируемой Тасеевской ГЭС располагается деревня то, согласно СП от 2.2.1/2.1.1.11200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», требуется проведение исследований на наличие необходимости установления санитарно-защитной зоны:

- химические факторы: выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от источников выбросов;
- физические факторы: шум, инфразвук, интенсивность электромагнитных полей, вибрация.

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

## 8 Технико-экономическое обоснование

### 8.1 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации

#### 8.1.1 Оценка объёмов реализации электроэнергии

Проектирование ГЭС предполагает выполнение различных этапов, которые охватывают большой спектр разнообразных работ, начиная созданием котлована и заканчивая установкой оборудования. Оценка объёмов реализации электроэнергии в первые годы эксплуатации представлена в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Оценка объёмов реализации электроэнергии в первые годы эксплуатации

Наименование показателя	Единица измерения	Год реализации проекта				
		2026	2027	2028	2029	2030
Установленная мощность	МВт	127	127	127	127	127
Число часов использования установленной мощности	Часы	2421	2421	2421	2421	2421
Выработка электроэнергии за год	МВт·ч	13660	25614	25614	25614	25614
Расход электроэнергии на собственные нужды	%	2	2	2	2	2
Расход электроэнергии на собственные нужды	МВт·ч	273	512	512	512	512
Объём реализации электроэнергии за год	МВт·ч	13387	25101	25101	25101	25101
Тариф на электроэнергию	руб/МВт·ч	1262	1289	1318	1346	1375
Выручка от реализации электроэнергии	млн.руб	16,895	32,356	33,084	33,787	34,515
НДС к выручке	млн.руб	2,577	4,935	5,046	5,153	5,265

Анализируя таблицу 1 можно прийти к выводу, что при установившемся объеме реализации электроэнергии, выручка продолжает расти, в связи с ростом тарифов на электроэнергию. Следовательно, данный проект с каждым годом все быстрее окупается и подтверждает свою необходимость.

#### 8.1.2 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. Текущие расходы посчитаны с учётом реализованной электроэнергии.

Единые сценарные условия предназначены для унифицирования исходной информации в целях обеспечения единого подхода при формировании прогнозов на среднесрочный и долгосрочный этап жизни проекта компании ОАО «РусГидро», а также всем дочерним организациям и зависимыми организациями ДЗООАО «РусГидро».

Единые сценарные условия представляют собой перечень наиболее значимых показателей, условий и допущений, необходимых для подготовки расчётов в рамках формирования прогнозных документов.

Текущие расходы влияют на себестоимость продукции, так как характеризуют величину затрат на единицу продукции.

В нашем случае текущие 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 определены по каждому виду актива, в соответствии с рассчитанной нормой амортизации.

Расходы по страхованию имущества принимаются в размере 0,08%.

Эксплуатационные расходы (оплата труда, производственные затраты, и т.д.) ГЭС определяем на 1 МВт установленной мощности.

Таблица 8.2 – Эксплуатационные расходы гидроузла

Наименование	Ставка, тыс.руб/МВт	Сумма, млн.руб.
Расходы на оплату труда	255,2	17,280
Прочие	274,0	18,553
Итоги по ГЭС		35,833

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

Таблица 8.3 – Удельные значения расходов на ремонт

Этап проекта, год	Величина, %
От 1 до 5	0,45
От 6 до 20	0,65
Свыше 21	1,1

Учитываются услуги регулирующих организаций исходя из ставок в соответствии с едиными сценарными условиями ПАО «РусГидро». Данные представлены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – Расходы на услуги регулирующих организаций

Наименование	Ставка, тыс.руб/МВт	Сумма, млн.руб.
ОАО «СО-ЕЭС»	135,38тыс.руб/МВт	9,166
НП АТС (администратор торговой системы)	0,001097 , тыс.руб/МВт·ч	0,513
ЦРФ (центр финансовых расчетов)	0,000318тыс.руб/МВт·ч	0,148
Итого		9,829

Таблица 8.5 – Текущие затраты по гидроузлу

Наименование	Год реализации проекта				
	2026	2027	2038	2029	2030
Амортизационные отчисления, млн.руб	3307,608	1,775	1,775	1,775	1,775
Расходы на страхование, млн.руб	4,251	1,589	1,572	1,555	1,538
Эксплуатационные затраты, млн.руб	35,833	67,187	67,187	67,187	67,187
Расходы на ремонт производственных фондов, млн.руб	2,878	1,076	1,064	1,053	1,041
Расходы на услуги регулирующих компаний, млн.руб	9,829	18,739	18,739	18,739	18,739

Окончание таблицы 8.5 – Текущие затраты по гидроузлу

Налог на воду, млн.руб	2,021	5,050	5,264	5,264	5,264
Итого, млн.руб	3366,052	95,418	95,604	95,575	95,546

Значительное повышение затрат по гидроузлу за первый год исследуемого периода можно объяснить закупкой гидроагрегатов.

Текущие затраты за рассматриваемый период представлены на рисунке 8.1.

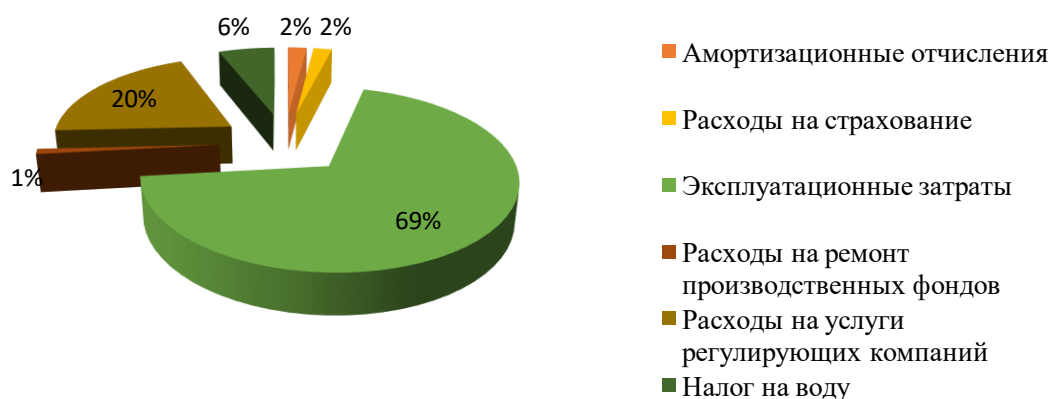


Рисунок 8.1 – Структура текущих затрат по гидроузлу, %

### 8.1.3 Налоговые расходы

Налоговые расходы показывают отток денежных средств после строительства Тасеевская ГЭС. Налогообложение является важным средством наполнения бюджета края и страны и осуществляется в соответствии с Налоговым Кодексом РФ.

Предполагаемые налоговые расходы при отсутствии льгот приведены в таблице 8.6.

Таблица 8.6 – Налоговые расходы

Наименование	Год реализации проекта				
	2031	2032	2033	2034	2035
Налог на прибыль, млн.руб	2,923	244,923	262,994	268,807	274,792
НДС, млн.руб	127,280	268,167	273,955	279,761	285,738
Взносы в социальные фонды, млн.руб	10,380	10,380	10,380	10,380	10,380
Налог на имущество, млн.руб	3,498	3,459	3,420	3,381	3,342
Итого, млн.руб	141,159	526,931	550,750	562,331	574,252

Налоги, отчисляемые государству, увеличиваются пропорционально возрастающим доходам проекта.

### 8.2 Оценка прибыли

Прибыль является конечным результатом от реализации электроэнергии генерирующей компании. В конечном итоге она представляет собой разницу между ценой продукции и себестоимостью.

Таблица 8.7 – Годовая прибыль в первые годы эксплуатации

Наименование	Год реализации проекта				
	2026	2027	2028	2029	2030
Выручка (нетто), млрд.руб	0,507	1,207	1,234	1,260	1,287
Текущие расходы, млрд.руб	3,362	95,418	95,604	95,575	95,546
ЕВИТДА (валовая прибыль), млрд.руб	0,505	1,202	1,229	1,255	1,282
ЕВИТ (прибыль от налогообложения), млрд.руб	-2,893	1,113	1,156	1,205	1,233
Скорректированный налог на прибыль, млрд.руб	0,08	0,257	0,263	0,269	0,275
НОРАТ (чистая прибыль), млрд.руб	-2,893	1,113	1,156	1,205	1,233
Ставка налога на прибыль, %	20,00				

### 8.3 Анализ денежных потоков

На рисунке 8.2 представлен график Cash-Flow с указанием укрупненных этапов строительства станции

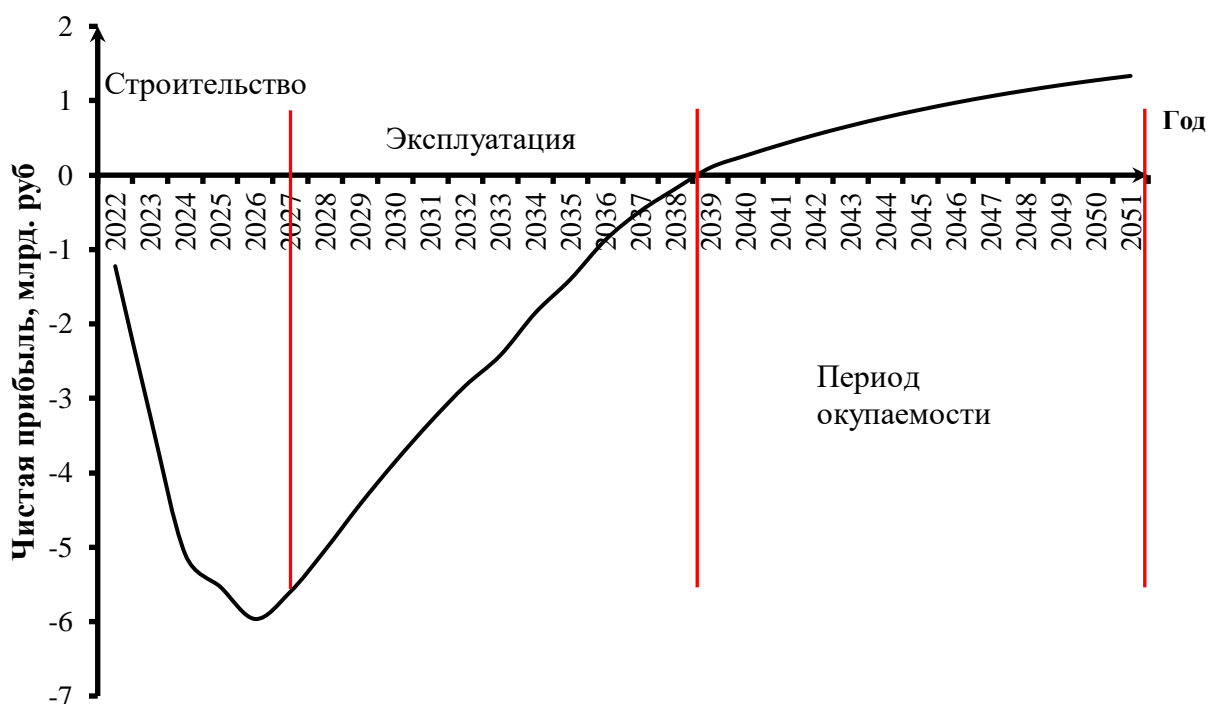


Рисунок 8.2 – График Cash-Flow

Из графика видно, что по данному проекту, с начала его реализации наблюдается отрицательный денежный поток, который связан со строительными работами и приобретением оборудования вплоть до 2026 года. С начала производства электроэнергии денежный поток остается отрицательным, поскольку затраты превышают доходы. Начиная с 2026 года по проекту отрицательный денежный поток начинает сокращаться и к 2039 году становится положительным. После доходы начинают покрывать расходы и приносить прибыль.

Из графика видно, что период окупаемости приблизительно 17 лет.

### 8.4 Оценка инвестиционного проекта

Главная цель инвестиционного проекта заключается в целесообразности реализации проекта с точки зрения заказчика. (Выдержка из Приложения к приказу ОАО «РусГидро» от 16.01.2017 №9 – «Единые сценарные условия ОАО «РусГидро» на 2017-2042 гг.»)

#### 8.4.1 Методология, исходные данные

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

1. Чистый, дисконтированный доход (NPV);
2. Индекс прибыльности (PI);
3. Срок окупаемости (PP)

Расчёт показателей эффективности проекта выполняется в соответствии со следующими нормативными документами:

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 ПАО «РусГидро» от 16.01.2017 №9 – «Единые сценарные условия ПАО «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 Тасеевской ГЭС составляет 30 лет, что соответствует сроку службы основного оборудования.

2) Используемая при оценке эффективности информация отражает экономическую ситуацию, сложившуюся в 1 кв. 2022 года.

3) Предполагается что в течении прогнозного периода не будет происходить глобальных изменений в экономической ситуации существующих правил и законов.

#### 8.4.2 Коммерческая эффективность

Коммерческая эффективность отражена в показателях, представленных в таблице 8.8.

Таблица 8.8 – Показатели эффективности реализации проекта Тасеевской ГЭС на реке Тасеева

Наименование	Значение
Ставка дисконтирования	11,60
Дисконтированный период окупаемости – DPB, мес	332
Чистый приведенный доход – NPV, млн. руб	149
Индекс прибыльности – PI, руб	1,06
Внутренняя норма рентабельности – IRR, %	11,91
Себестоимость эл. энергии, руб/кВт·ч	0,39
Удельные капиталовложения, руб/кВт	57328,50

Индекс прибыльности PI больше нуля, себестоимость электроэнергии приемлемая. Следовательно, проект можно рассматривать, как экономически удачный и целесообразный.

### 8.4.3 Бюджетная эффективность

Показатели бюджетной эффективности, отражают влияние результатов проекта на доходы федерального и регионального бюджета. Доходная часть бюджетов разных уровней формируется за счёт налоговых отчислений, которые представлены в таблице 8.9.

Таблица 8.9 – Предполагаемые налоговые поступления в федеральный и региональный бюджеты

Год	2028	2029	2030	2031	2032
В федеральный бюджет, млн.руб	15,645	15,645	21,845	24,695	21,002
В региональный бюджет, млн.руб	3,537	3,576	3,615	3,676	9,266
Налоговые поступления, млн.руб	19,250	19,289	25,568	28,499	30,392

Рост налоговых отчислений обоснован вводом новых мощностей и увеличением продажи электроэнергии и мощности.

### 8.5 Анализ чувствительности

Основным методом исследования рисков, является анализ чувствительности – метод оценки влияния основных параметров финансовой модели на результирующий показатель.

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

- 1) График объемов инвестиций представлен на рисунке 8.3;
- 2) График цены сбыта представлен на рисунке 8.4;
- 3) График ставки дисконтирования представлен на рисунке 8.5.



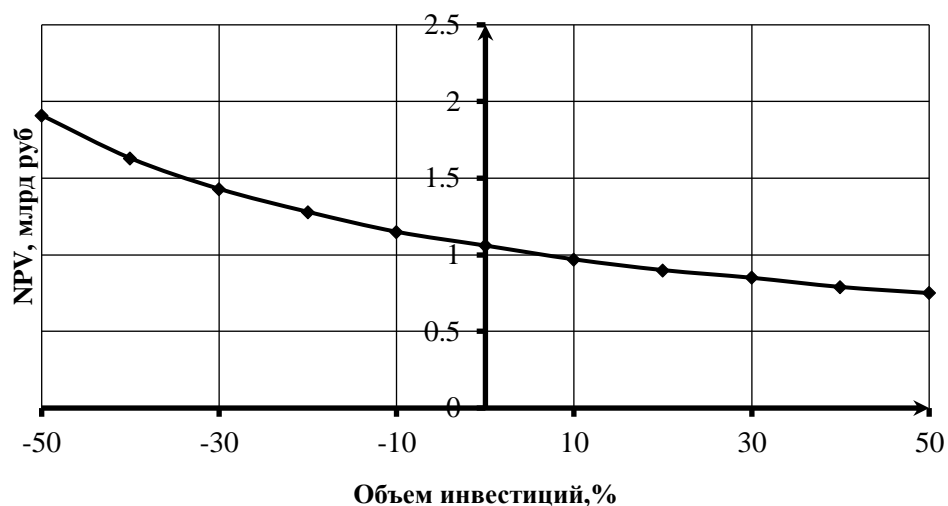


Рисунок 8.3 – Изменение NPV в зависимости от изменения объема инвестиций

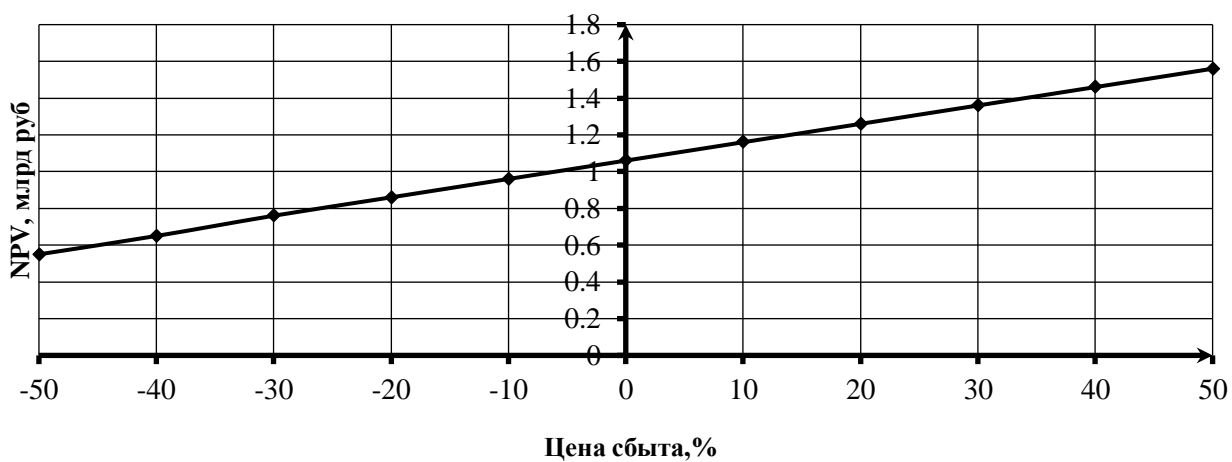


Рисунок 8.4 – Сумма NPV в зависимости от изменения цены сбыта



Рисунок 8.5 – Сумма NPV в зависимости от изменения ставки дисконтирования.

Анализируя приведенные графики можно вывести следующие закономерности:

- Увеличение объема инвестиций приводит к уменьшению доходности проекта.
- Увеличение цены сбыта приводит к увеличению доходности проекта.
- Увеличение ставки дисконтирования приводит к уменьшению доходности проекта.
- Наибольшее влияние на NPV оказывает ставка дисконтирования и цена сбыта продукции.

## **9 Контроль фильтрационного режима в скальном основании бетонных плотин. Эпюры противодействия**

### **9.1 Противофильтрационные элементы в основании плотины СШГЭС**

Проектом предусмотрены следующие противофильтрационные и дренажные мероприятия в основании плотины СШГЭС:

- глубокая цемзавеса из двух рядов скважин на глубину до 100 м с дополнительной цементацией зоны сопряжения её с плотиной в сторону ВБ до напорной грани на глубину 35 м;
- в пределах стационарной и водосбросных частей плотины предусмотрен железобетонный понур длиной 15 м и толщиной 3 м с однорядной цемзавесой в его начале глубиной 15-20 м;
- скважинный дренаж в основании плотины глубиной 47-56 м с углом наклона 25° в сторону НБ;
- укрепительная цементация основания.

Удаление цемзавесы под понуром на 15 м от верховой грани продиктовано наличием зоны растяжения под верховой гранью плотины, где прогнозировалось раскрытие контактного шва.

Глубокая цементационная завеса выполнена под всеми секциями русловой части плотины, продлена на 65 м на правобережном примыкании плотины и на 80 м - на левобережном. Завеса состоит из двух рядов глубоких скважин на расстоянии до 15 м от верховой грани и трёх рядов наклонных в сторону верхнего бьефа скважин сопрягающей цементации на глубину до 35 м. На русловом участке завеса выполнена из цементационно-дренажной галереи №1, а в береговых примыканиях – из штолен, галерей плотины, с промежуточных отметок бетона, открытой поверхности у гребня плотины и из левобережного транспортного туннеля. Контрольная плотность завесы – 0,01 л/мин.

Для снижения давления фильтрационных вод на подошву плотины предусмотрена сеть дренажных скважин, выполненных из галереи №1,

промежуточных галерей и береговых штолен. Шаг скважин 3 м, диаметр – 105 мм.

Основная цель укрепительной цементации – повышение модуля деформации основания на относительно слабых трещиноватых участках. Укрепительная цементация предусмотрена на 76% площади основания. Максимальная глубина цементации 30,0 м под низовым (III - IV) столбами русловой части плотины. В средней части профиля русловой плотины под II – ми столбами глубина укрепительной цементации составляет 15 м; в основании береговых секций – 10 - 25 м. В основной части укрепляемого массива контрольная величина модуля деформации -  $16 \cdot 10^3$  МПа, а в тектонических зонах - 12 -  $14 \cdot 10^3$  МПа.

По результатам геофизических исследований после цементации модуль деформации определён в  $16 \cdot 10^3$  МПа, что соответствует проектному значению.

Удельное водопоглощение после выполненной цементации по данным контрольных испытаний до нагружения плотины составило: на 56% площади – не более 0,01 л/мин, на 20% площади – 0,02 л/мин, в среднем – 0,017 л/мин. На ослабленных участках проводилась дополнительная цементация.

### **9.1.1 Эксплуатационный контроль**

Основной задачей эксплуатационного контроля является получение информации для оценки состояния и уровня безопасности сооружений, своевременное выявление дефектов и неблагоприятных процессов для назначения ремонтных мероприятий по предотвращению отказов и аварий, а также для корректировки режима эксплуатации.

Эксплуатационный контроль состояния ГТС должен обеспечивать:

- проведение систематических наблюдений с целью получения достоверной информации о состоянии сооружений, основания, береговых примыканий,

- своевременную разработку и принятие мер по предотвращению возможных повреждений,

- получение технической информации для определения эффективных способов и сроков ремонтных работ и работ по реконструкции.

Эксплуатационный контроль является частью мониторинга технического состояния ГТС - системы регулярных инструментальных и визуальных наблюдений за показателями работы и технического состояния сооружений, за проявлением и развитием опасных для сооружений техногенных и природных процессов и явлений, проводимых по определённой программе с целью объективной оценки эксплуатационной надёжности и безопасности сооружений, своевременной разработки и проведения ремонтных мероприятий. Система мониторинга включает совокупность измерительных приборов и других технических устройств, обеспечивающих получение, передачу, сбор и обработку результатов наблюдений. Систематический контроль состояния гидротехнических сооружений осуществляет структурное подразделение Филиала - Служба

мониторинга гидротехнических сооружений.

### **9.1.2 Измерительная аппаратура для контроля за фильтрационным режимом в основании плотины СШГЭС**

Пьезометры:

1. По способу установки:

Закладные – устанавливаются в процессе строительства

Опускные – устанавливаются в буровых скважинах

2. По местоположению

Контактные, устанавливаемые под подошвой сооружения

Глубинные, устанавливаемые на различной глубине сооружения или основания

3. По положению устья (оголовка):

Напорные пьезометры – при открытом оголовке скважина изливает, при закрытии оголовка на манометре фиксируется давление. При этом пьезометрический уровень находится выше отметки оголовка пьезометра.

Безнапорные пьезометры – при открытом оголовке скважина не изливает, уровень воды находится ниже отметки оголовка пьезометра.

Напорно-безнапорные пьезометры – работают как в напорном режиме (при высоких УВБ, близких к НПУ), так и в безнапорном режиме (при низких УВБ, близких в УМО).

С помощью пьезометров контролируется фильтрационное давление. Основными контролируемыми показателями фильтрационного давления являются пьезометрический уровень, пьезометрический напор, приведенный пьезометрический напор.

Контроль фильтрационного режима осуществляется также путем измерения расходов в дренажах. Для плотин в скальных породах дренаж основания представляет собой буровые скважины диаметром от 75 мм и более, оборудованный в верхней части оголовком для измерений расходов.

Контролируемыми показателями по измерениям в дренажах являются: фильтрационный расход в дренажной скважине, суммарный расход по секции, суммарный расход по частям сооружения, полный суммарный расход.

## **9.2 Основные принципы анализа результатов наблюдений**

Состояние системы плотина-основание в период нормальной эксплуатации определяется на основе:

- сравнения контрольных параметров с их проектными значениями;
- сравнения диагностических показателей с критериальными;
- установления зависимости контрольных показателей от действующих нагрузок и воздействий, и зависимостей между отдельными показателями;

- установления характера изменения контрольных параметров во времени (затухающий, незатухающий, стабильный);
- установления закономерностей и аномальности изменения контрольных показателей;
- установления или отсутствия необратимой составляющей изменения контрольных параметров, определения её величины и интенсивности изменения.

При наличии необратимой составляющей необходимо определить характер и причины появления необратимых явлений.

Состояние плотины и основания оценивается по результатам комплексного анализа, выполняемого с привлечением материалов натуральных наблюдений всех видов контроля.

Итогом комплексного анализа состояния ГТС должно быть:

- выявление наиболее нагруженных зон в плотине и выяснение причин их возникновения;
- определение фактической схемы напряжённо-деформированного состояния сооружений;
- оценка конструкционной прочности плотины;
- обоснование проведения новых наблюдений исследований для уточнения схемы работы плотины;
- корректировка критериальных значений диагностических показателей надёжности.

При превышении одним или несколькими диагностическими показателями их критериальных значений прежде всего производится проверка достоверности результатов измерений и вычислений, а также устанавливается обоснованность принятых критериальных значений. При этом наряду с диагностическими показателями к анализу привлекаются и другие контрольные параметры, характеризующие работу плотины.

Обнаруженное несоответствие диагностических показателей их критериальным значениям в период техногенных воздействий на плотину и основание (ремонтные работы по ликвидации фильтрации) не может однозначно расцениваться как признак нарушения нормальной работы системы плотина-основание. Заключение о её работе составляется по результатам проведённых специальных расчётов.

При превышении предельно-допустимых значений одним или несколькими показателями, в первую очередь, обеспечивается безопасность сооружения путём ограничения режима его эксплуатации и проведения противоаварийных мероприятий.

Стабильность поведения плотины при циклических изменениях внешних нагрузок и температурных воздействий является признаком её надёжной работы.

Характер развития процессов в системе плотина-основание определяется путём сопоставления её контрольных параметров за ряд лет при одинаковых изменениях внешних условий.

На всех этапах анализа данных наблюдений используется различные возможности отображения и представления информации в базе данных EDIP и FILTR.

Результаты анализа отражаются в ежегодных технических отчётах о состоянии гидротехнических сооружений СШГЭС и ежемесячных оперативных информациях, аналитических записках, еженедельных справках, актах о состоянии.

### 9.2.1 Фильтрационные расходы в основании плотины

Фильтрационный режим в основании плотины определяется гидростатической нагрузкой и скоростью её изменения. С ростом уровня верхнего бьефа возрастает фильтрационное давление, действующее на подошву сооружения, увеличиваются дренажные расходы за счёт раскрытия водопродящих трещин. Максимальные расходы достигаются при уровне максимального наполнения водохранилища (УМН) или высоких уровнях ВБ, близких к УМН, График представлен на рисунке 9.1. При снижении гидростатической нагрузки расходы уменьшаются, имея минимальные значения при уровнях ВБ, близких к УМО 500 м. Контроль фильтрационного режима в основании плотины осуществляется посредством измерения дренажных расходов и пьезометрических уровней с последующим анализом их изменения в годовом и многолетнем разрезах.

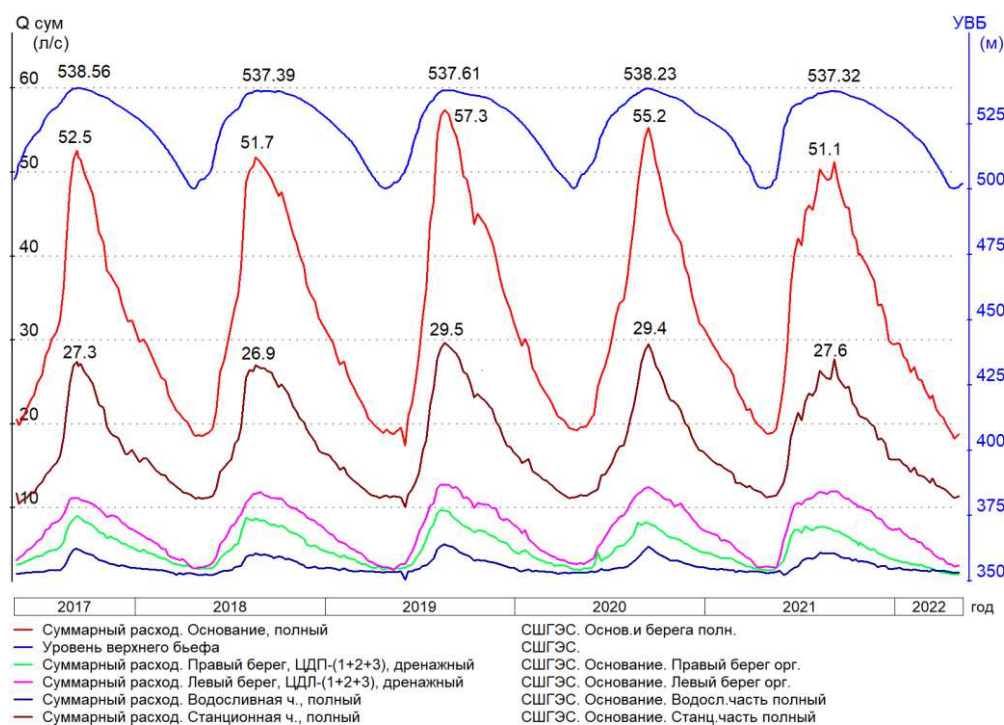


Рисунок 9.1 – Суммарные расходы в основании плотины СШГЭС

Для проведения анализа и оценки состояния противofильтрационной завесы используем результаты наблюдений за фильтрационными расходами в период 2017-2021 гг.

В 2021 году максимальный расход по основанию и берегам составил 51.1 л/с и был достигнут 06 сентября при УВБ 537.32 м. Данные представлены в таблице 9.1. Вышеуказанный суммарный расход в основании плотины существенно меньше критериального значения  $K_1=235$  л/с, определенного действующей Декларацией безопасности. Тенденции роста расходов относительно предыдущих лет не отмечается, т.е. зафиксированный максимальный суммарный расход, в целом, находится в диапазоне ранее измеренных расходов, что свидетельствует о стабильном состоянии противofильтрационной завесы и дренажных устройств, и эффективности их работы.

Таблица 9.1 – Максимальные суммарные фильтрационные расходы в основании и берегах плотины СШГЭС, л/с

Наименования частей сооружения	УВБ,м					K1
	538.56	537.39	537.61	538.23	537.32	
	11.09.17	20.08.18	19.08.19	14.09.20	06.09.21	
Станционная часть (сек.15-36)	27,3	26,9	29,5	29,4	27,6	160
Водосливная часть (сек.37-47)	5,0	4,5	5,5	5,3	4,5	
Левобережная часть (сек.0-15)	11,1	11,6	12,6	12,4	11,9	40
Правобережная часть (сек.48-67)	8,9	8,7	9,6	8,1	7,1	35
Основание и береговые примыкания плотины	52.5	51.7	57.3	55.2	51.1	235

Наибольший суммарный расход, составивший в 2021 г. 27.6 л/с, сосредоточен в основании станционной части плотины (секции 15-36), а в основании водосливной части расход меньше и составляет 4.5 л/с. В береговых примыканиях расходы составили: в левобережной части (секции 0-15) – 11.9 л/с, в правобережной (секции 48-67) – 7.1 л/с. Под всеми частями сооружения суммарные расходы существенно меньше своих предупреждающих критериев безопасности  $K_1$ , которые приведены в таблице 1. Под всеми частями плотины максимальные фильтрационные расходы 2021 г. были меньше, чем в предыдущий период (2017-2020 гг.), что связано как с меньшим уровнем ВБ и, соответственно, с меньшей гидростатической нагрузкой относительно предыдущих лет, так и с более благоприятными температурными условиями в августе-сентябре 2021 г., т.е. на конечном этапе наполнения водохранилища.

По циклограмме, показанной на рисунке 3, можно отследить, как меняется показатель с изменением УВБ: в начале наполнения водохранилища до отметки 520 м изменение расхода носит линейный характер, далее с ростом гидростатической нагрузки и изменением НДС прирост фильтрации имеет нелинейный характер. Прирост суммарного расхода на этапе наполнения водохранилища от УМО 500 до УМН 537.37 м в 2021 г. составил 332.3 л/с. Наибольшие приращения расходов, как и ранее отмечались в диапазоне относительно высоких УВБ (525-537.37 м).

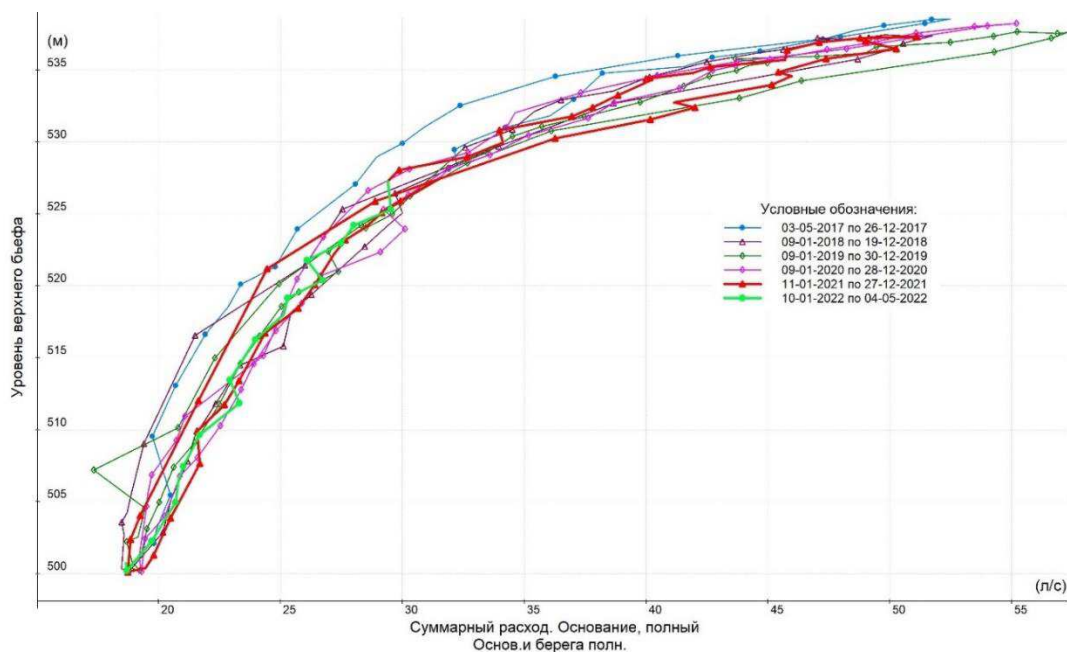


Рисунок 9.2 Циклограмма суммарных расходов в основании плотины СШГЭС

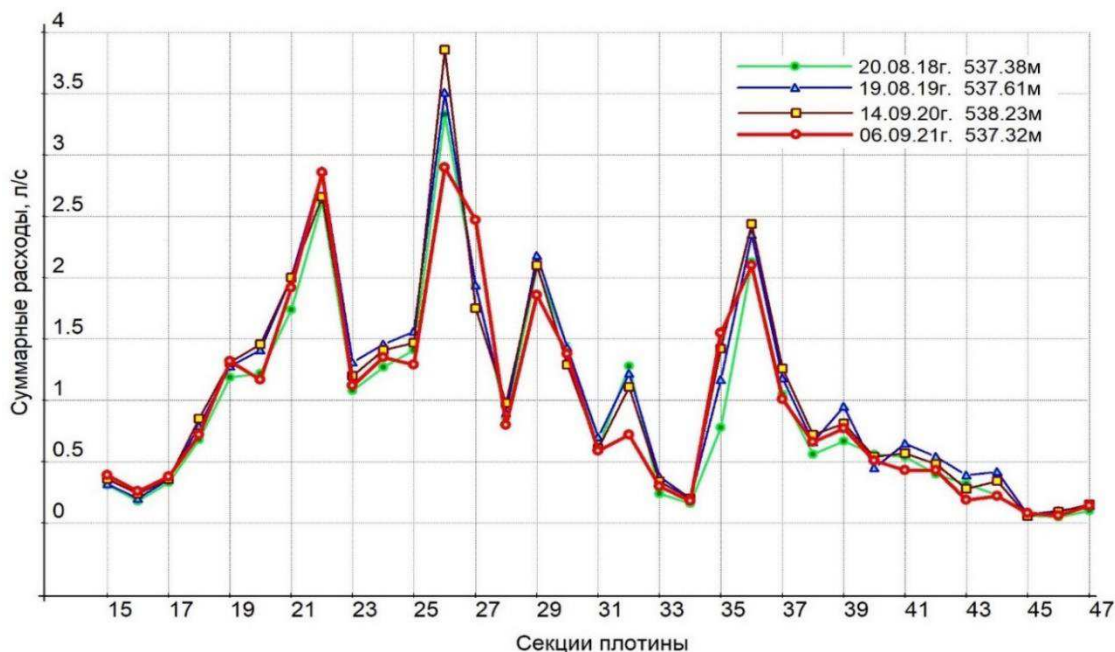


Рисунок 9.3 – Эюра фильтрационных расходов в основании русловой части плотины СШГЭС



Из-за геологической неоднородности основания фильтрационные расходы в пределах руслового участка распределены неравномерно. Распределение расходов в основании русловой части плотины показано на рисунке 9.3.

Наибольшие расходы отмечаются в 2-х секциях – 22 и 26, в которых суммарный фильтрационный расход в 2021 г. составил по 2.9 л/с в каждой, что существенно ниже предупреждающего критерия безопасности  $K1=15$  л/с, определенного действующей Декларацией безопасности для одной секции.

В других секциях основания русловой части плотины расходы меньше - от 0.05 до 2 л/с. Наиболее низкие суммарные расходы (до 0.5 л/с) наблюдаются в основании водосбросной плотины в секциях 40-47, а также в секциях 15-17, 33-34 основания станционной части плотины. Динамики роста фильтрационных расходов в 2021 г. относительно предыдущих лет не отмечается.

Данные наблюдений за фильтрационными расходами свидетельствуют о том, что цементационная завеса, в целом, слабопроницаема и является эффективным противофильтрационным элементом основания русловой части плотины.

### 9.2.2 Фильтрационное давление в основании плотины

Для оценки противодействия на подошву плотины **в направлении по потоку** (от напорной грани до IV столба плотины) используются показания контактных пьезометров в 5-ти контрольных створах в основании секций 18, 25, 33, 39, 45. В каждом из указанных створов установлено от 20 до 25 пьезометров, в том числе от 10 до 13 пьезометров, размещенных в контактной зоне основания. Помимо контактной зоны, которая показана на рисунке 9.4, контролируются и глубокие слои скального массива вплоть до 100 м.

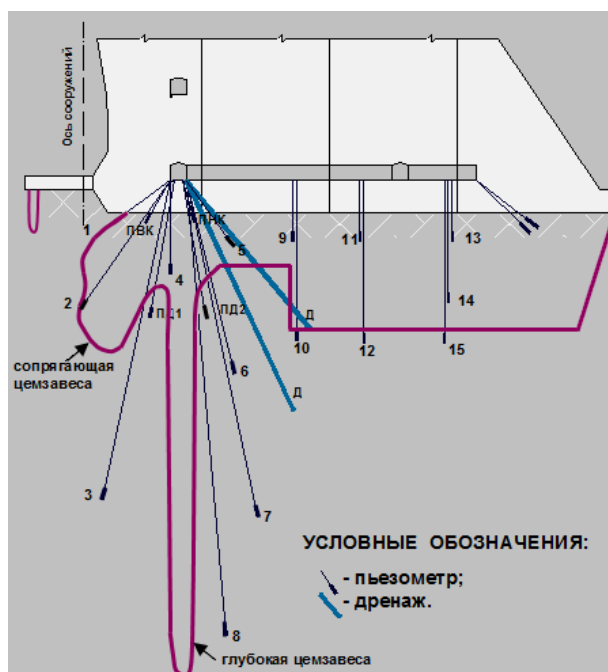


Рисунок 9.4 – Типовой пьезометрический створ в основании плотины

Показателем эффективности противофильтрационных элементов в основании плотины является степень гашения напора на них. Согласно нормативной документации (СП 40.13330.2012 «Плотины бетонные и железобетонные. Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85») падение напора на цемзавесе должно составлять не менее 60% от напора на сооружение и еще 20% гасится на дренаже.

По показаниям пьезометров в контрольных створах основания плотины СШГЭС фактически на цемзавесе гасится более 80% напора, оставшаяся часть напора, практически, полностью гасится дренажом основания, т.е. цементационная и дренажная завесы в основании плотины СШГЭС являются эффективными противофильтрационными устройствами. Эюра противодействия в основании контрольных секций 18 и 33 показана на рисунках 9.5 и 9.6.

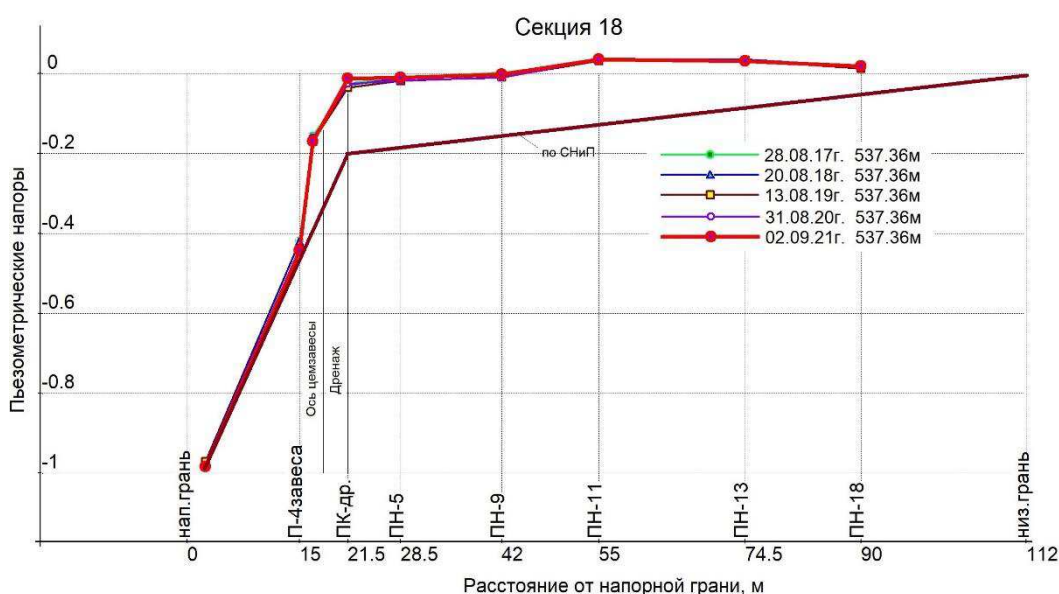


Рисунок 9.5 – Эюра противодействия в основании секции 18

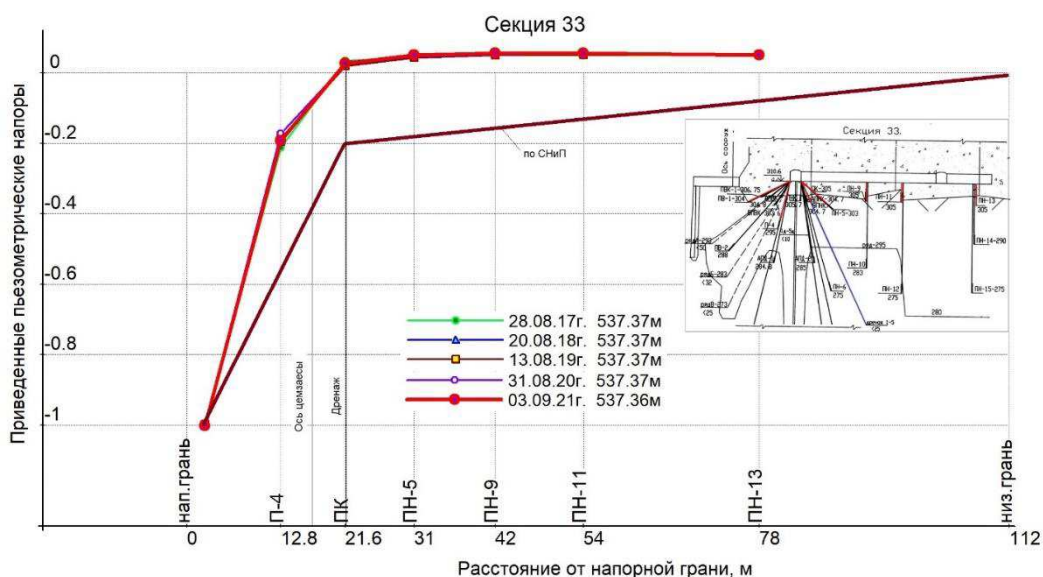


Рисунок 9.6 – Эюра противодействия в основании секции 33

Согласно приведенным эпюрам характер изменения напоров по пути фильтрационного потока и их значения в течение 5-ти последних лет (2017-2021) остаются неизменными при одинаковых уровнях ВБ, что свидетельствует о стабильном состоянии противофильтрационных элементов.

Пьезометрические напоры зависят от изменения гидростатической нагрузки, связанной с изменением уровня ВБ, т.е. при росте УВБ напоры возрастают, при сработке водохранилища – понижаются. Максимальные показания пьезометров, наблюдаются, в основном, при УВБ, близких к УМН. Минимальные пьезометрические напоры соответствуют отметке УМО. Графики изменения пьезометрических уровней в контактной зоне основания секций 18 и 33 приведены на рисунках 9.7 и 9.8.

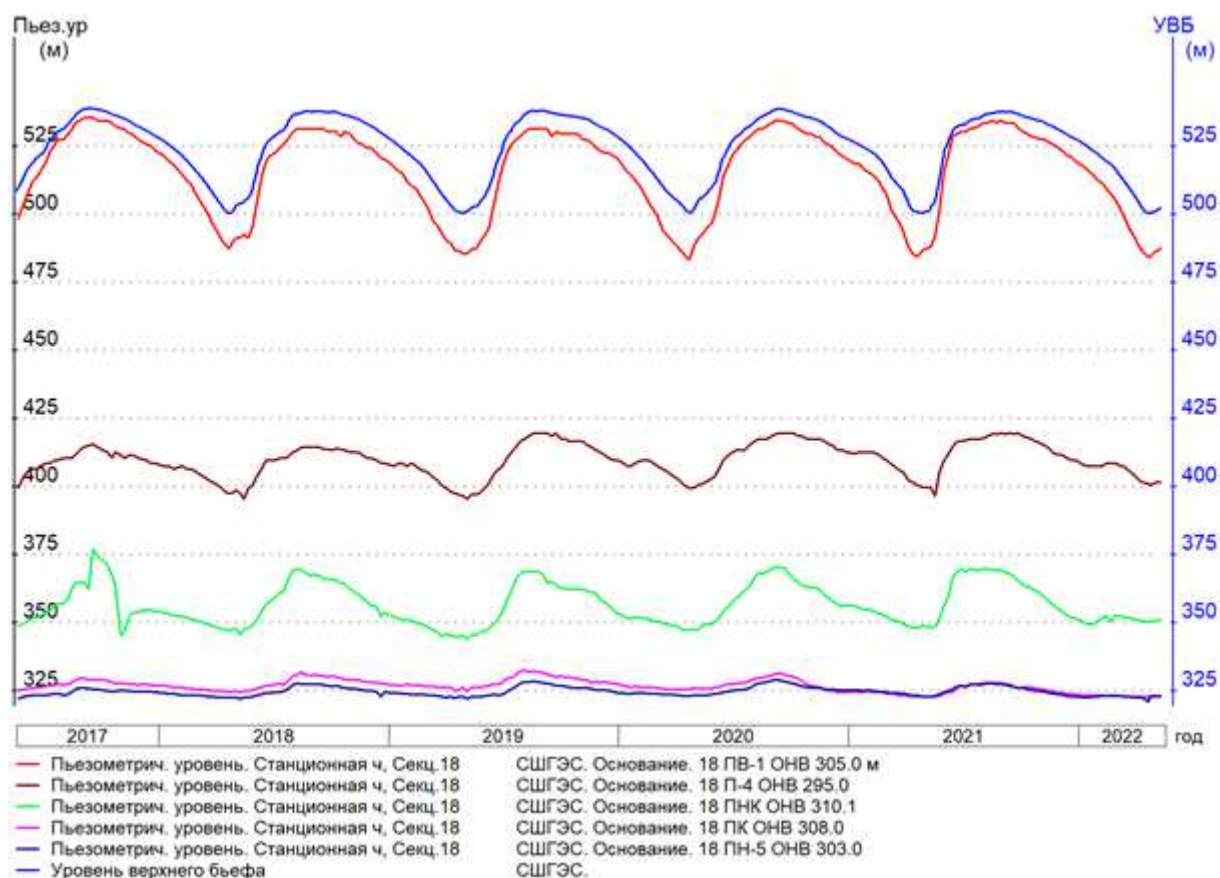


Рисунок 9.7 – Пьезометрические уровни в секции 18

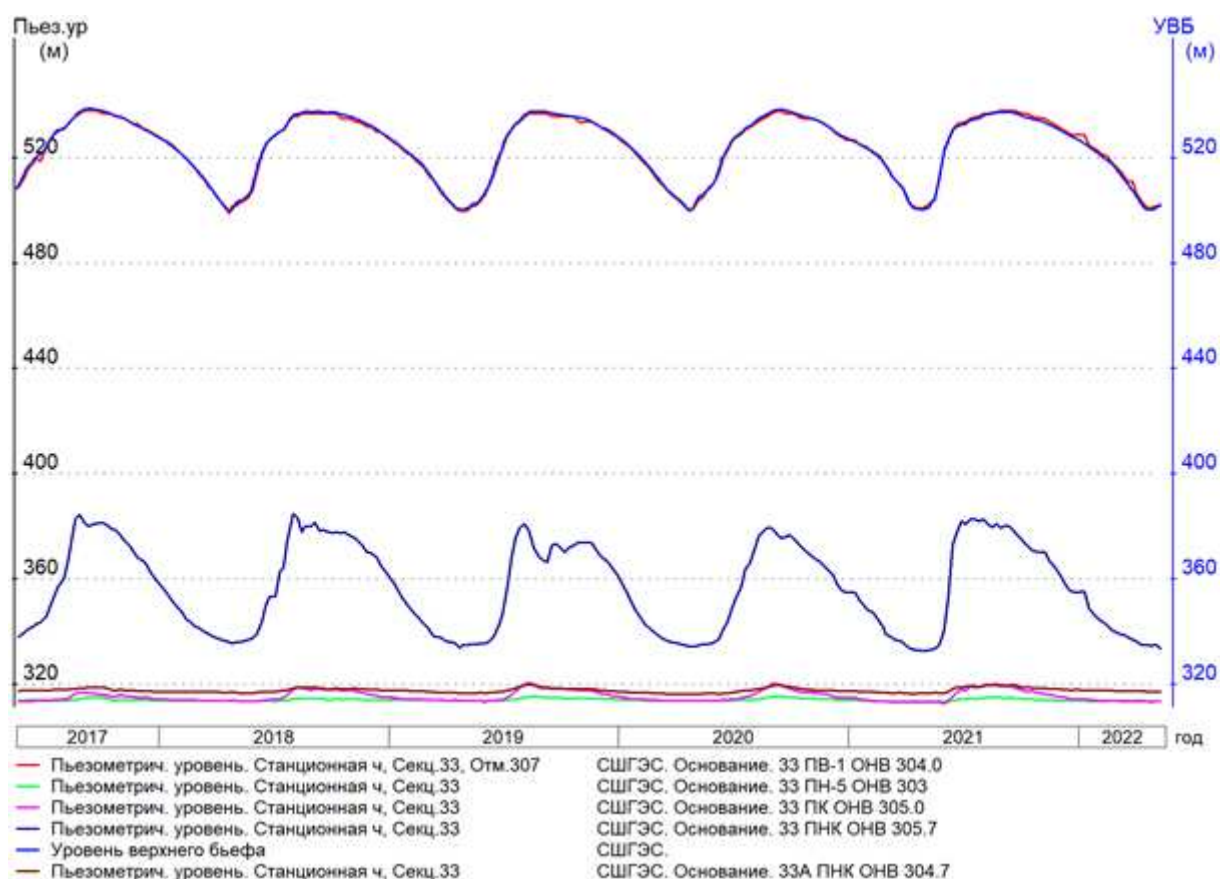


Рисунок 9.8 – Пьезометрические уровни в секции 33

Вышеуказанные графики на рисунках 9.7 и 9.8 показывают отсутствие тренда роста экстремальных значений пьезометрических уровней в рассматриваемый 5-ти летний период, как в верховых, так и в низовых пьезометрах. Признаки разуплотнения завесы, характеризующиеся потерей напора в верховых пьезометрах при росте УВБ с одновременным резким повышением напоров в низовых пьезометрах, отсутствуют. Это означает, что цемзавеса и дренаж в основании плотины СШГЭС сохраняют свои противофильтрационные свойства, эффективность их обеспечена.

Во всех секциях низового участка цемзавесы, представленных на рисунке 9.9, приведенные пьезометрические напоры ниже нормативного значения  $0.4H$  и составляют менее  $0.25H$ , что свидетельствует о полноценном гашении фильтрационного давления в цементационной завесе. Наибольший приведенный напор отмечается в основании секции 36 ( $0.25H$ ).

Далее по потоку оставшийся пьезометрический напор гасится на дренажной завесе за счет разгрузки фильтрационного потока дренажными скважинами. Приведенные напоры в створе дренажа, представленные на рисунке 9.10, при УМН 537,36 м не превышают  $0.1H$  при нормативном значении  $0.2H$ . Таким образом, под I столбом плотины происходит полное гашение противодействия во всех секциях руслового участка основания.

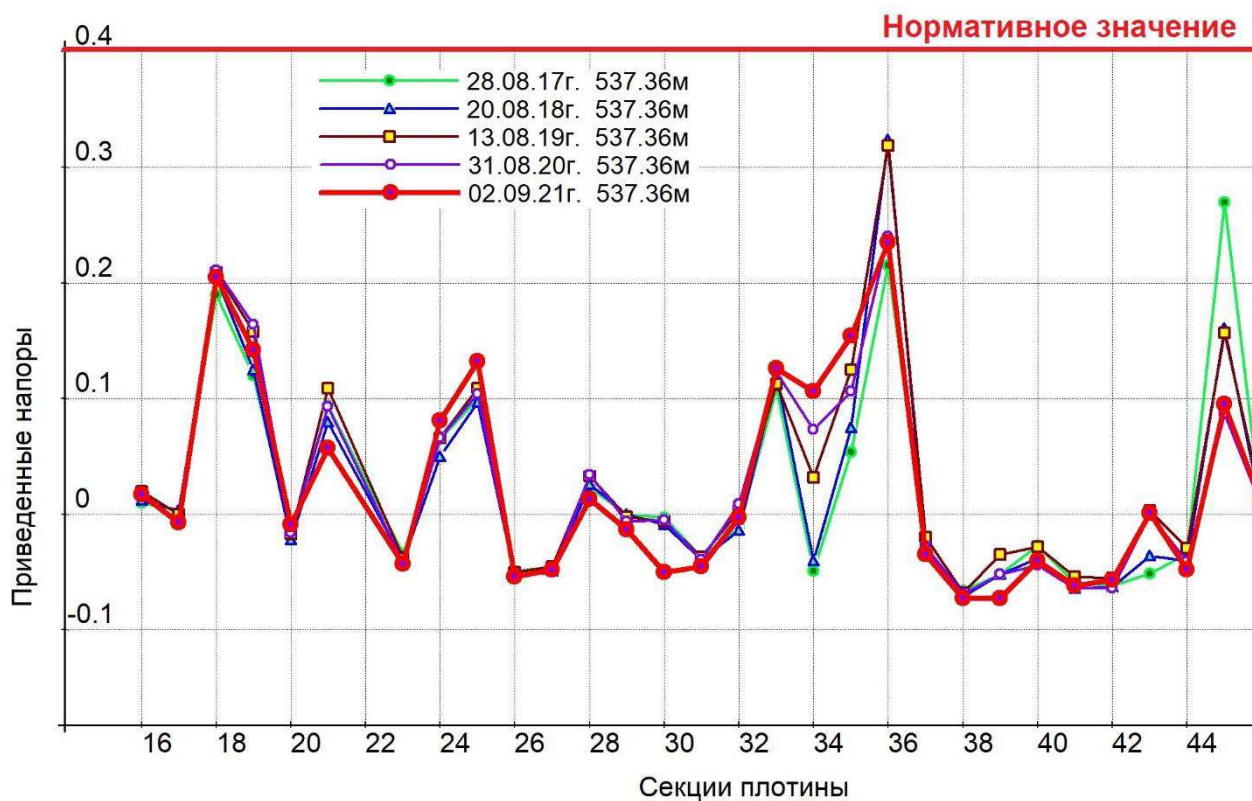


Рисунок 9.9 – Эпюра приведенных напоров в пьезометрах ПНК (низовой участок цемзавесы)

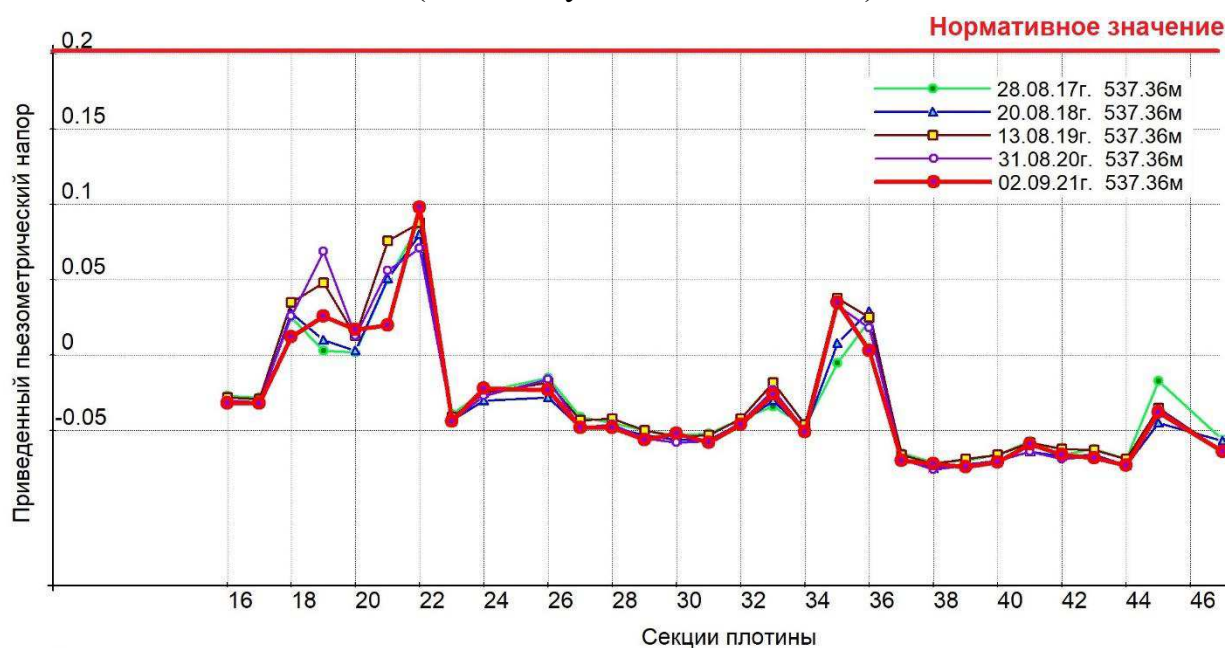


Рисунок 9.10 – Эпюра приведенных напоров в пьезометрах ПК (в створе дренажа)

### 9.3 Выводы

1. Контроль фильтрационного режима в основании плотины СШГЭС осуществляется с помощью пьезометров и дренажных скважин. Пьезометры контролируют фильтрационное давление, основными показателями которого

являются пьезометрический уровень, пьезометрический напор, приведенный пьезометрический напор. По измерениям в дренажных скважинах контролируются фильтрационный расходы.

2. По результатам наблюдений проводится экспресс-анализ, при котором выполняется сопоставление диагностических показателей (суммарных фильтрационных расходов и приведенных пьезометрических напоров) с их критериальными значениями, определенными действующей Декларацией безопасности. По данным наблюдений в годовом цикле наполнение-сработка водохранилища проводится комплексный анализ всех показателей (диагностических и контрольных) состояния сооружений с отображением в годовом отчете о состоянии сооружений СШГЭС.

3. При проведении комплексного анализа устанавливается зависимость контрольных показателей от действующих нагрузок и воздействий, характер изменения контрольных параметров во времени, закономерности и аномальности изменения показателей, сопоставление диагностических показателей с критериями безопасности. На всех этапах анализа данных наблюдений используются различные возможности отображения и представления информации в базах данных EDIP и FILTR СШГЭС.

4. Суммарные расходы в основании плотины СШГЭС по данным наблюдений 2017-2021 гг., составившие от 51.1 – 57.3 л/с, были существенно меньше предупреждающего критериального значения  $K1=235$  л/с, определенного действующей Декларацией безопасности, что характеризует состояние системы «плотина-основание СШГЭС» как работоспособное.

5. Тенденции роста расходов в период 2017-2021 гг. не наблюдается. Данные наблюдений за фильтрационными расходами свидетельствуют о том, что цементационная завеса, в целом, слабопроницаема и является эффективным противофильтрационным элементом основания русловой части плотины.

6. На цемзавесе и дренаже основания обеспечивается полноценное гашение пьезометрических напоров. Падение напоров на цемзавесе составляет более 80% от напора на сооружение, оставшаяся часть напора, практически, полностью гасится дренажом основания, что соответствует нормативным требованиям.

7. Характер изменения напоров по пути фильтрационного потока и их значения в течение 5-ти последних лет (2017-2021) остаются неизменными при одинаковых уровнях ВБ, что свидетельствует о стабильном состоянии противофильтрационных элементов.

8. Согласно данным наблюдений за фильтрационным режимом в основании плотины СШГЭС цемзавеса и дренаж являются эффективными противофильтрационными устройствами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Подготовка и оформление выпускной квалификационной работы. Порядок предоставления на выпускающие кафедры Саяно-Шушенского филиала СФУ материалов от выпускников. Требования к конкурсной учебной работе, предъявляемые оргкомитетом ежегодного конкурса студенческих проектов «Энергия развития»: учебно-методическое пособие / В. И. Татарников, М. Ф. Носков, Н. В. Лебедева, А. И. Полежаева, К. П. Синельникова, Н. С. Щербакова; под общей редакцией А. А. Чабановой. – Саяногорск; Черемушки : Саяно-Шушенский филиал СФУ, 2022. – 52 с.
2. Александровский А.Ю. Выбор параметров ГЭС: учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию гидротехнических объектов / А.Ю. Александровский, Е.Ю. Затева, Б.И. Силипаев ; СШФ КГТУ. – Саяногорск, 2005. – 114 с.
3. Затева Е.Ю. Использование водной энергии: методические указания по выполнению курсового и дипломного проектирования / Е.Ю. Затева. – Саяногорск; Черемушки: Сибирский Федеральный университет ; Саяно-Шушенский филиал, 2012. – 12 с.
4. Василева Ю.С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций: справочное пособие / Ю.С. Василева, Д.С. Щавелев. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 366с.
5. Василева Ю.С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанции: справочное пособие / Ю.С. Васильева, Д.С. Щавелев, Д.С. Щавелева. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 352 с.
6. Брызгалов В.И. Гидроэлектростанции: учебное пособие / В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002.– 541 с.
7. Новоженин В.Д. Справочник гидроэлектростанций России: справочное пособие / В.Д. Новоженин. – Санкт-Петербург : Типография АО «Институт Гидропроект», 1998. – 467с.
8. СТО 17330282.27.140.016. Здания ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования : введен впервые : дата введения 2008-30-07. – Москва : ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. – 43 с.
9. Лыбина Т.А. Речные гидротехнические сооружения. Проектирование бетонной водосливной плотины и грунтовой плотины в составе гидроузла: методические указания по выполнению курсового проекта и выпускной квалификационной работы / Т.А.Лыбина, Н.П.Ульянова, В.Б.Затеев. ; Саяногорск; Черемушки: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал, 2015. – 88с.
10. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82 : дата введения 2019-02-17. – Санкт-Петербург : ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2017. – 315 с.
11. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам : справочное пособие / П. Г. Киселев. – Москва : Энергия, 1974. – 312 с.

12. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85 : дата введения 2021-08-10. – Москва : ЗАО "ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ", ФГБОУ "МАДИ, 2021. – 86 с.

13. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 : дата введения 2020-06-17. – Санкт-Петербург : ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2019. – 87 с.

14. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87 : дата введения 2013-01-01. – Санкт-Петербург : ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2012. – 53 с.

15. СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84 : дата введения 2013-01-01 – Санкт-Петербург : ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2012. – 58 с.

16. СП 290.1325800.2016 Водопроектные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водопропускные). Правила проектирования. : дата введения 2017-06-17 – Санкт-Петербург : ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2016. – 124 с.

23. Общие сведения о турбинных водоводах // Библиотека.ru : [сайт]. – 2021. – URL: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-4/304.htm> (дата обращения: 23.05.2022).

24. Гидроэлектрические станции: учебник для студентов высших учебных заведений / Н.Н. Аршеневский, Ф.Ф. Губин, М.Ф. Губин, В.Я. Карелин, Г.И. Кривченко, Е.Л. Митюрёв, И.Е. Михайлов, В.А. Орлов, А.И. Попов – Москва: Энергия, 1980. – 368 с.

25. Аршеневский Н.Н. Гидроэлектрические станции: учебник для вузов / Н.Н. Аршеневский, М.Ф. Губин, В.Я. Карелин – Москва: Энергоавтомиздат, 1987. – 464 с.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Водно-энергетический расчет

Таблица А.1 – Сработка-наполнение водохранилища в маловодном году

Месяцы	Q <sub>пол</sub>	Q <sub>водх</sub>	Q <sub>вхк</sub>	Q <sub>гэс</sub>	Q <sub>нб</sub>	V <sub>нач</sub>	dV	V <sub>кон</sub>	Z <sub>ВБ</sub> (нач)	Z <sub>ВБ</sub> (кон)	Z <sub>ВБ</sub> (ср)	Z <sub>нб</sub>	H <sub>гэс</sub>	N <sub>гэс</sub>	N <sub>гар</sub>
Октябрь	142	5	150	147	150	8,23	0,01	8,22	114,00	113,99	114,00	95,63	18,37	23	ВХК
Ноябрь	102	45	150	147	150	8,22	0,12	8,10	113,99	113,91	113,95	95,63	18,32	23	ВХК
Декабрь	80	622	150	702	705	8,10	1,67	6,43	113,91	112,51	113,21	97,45	15,77	95	95
Январь	64	746	150	810	813	6,43	1,81	4,62	112,51	110,18	111,34	97,68	13,67	95	95
Февраль	44	103	150	147	150	4,62	0,28	4,35	110,18	109,76	109,97	95,63	14,34	18	ВХК
Март	42	105	150	147	150	4,35	0,27	4,08	109,76	109,34	109,55	95,63	13,92	18	ВХК
Апрель	196	-49	150	147	150	4,08	-0,13	4,21	109,34	109,54	109,44	95,53	13,91	18	ВХК
Май	750	-603	150	147	150	4,21	-1,56	5,77	109,54	111,75	110,65	95,53	15,12	19	ВХК
Июнь	496	-349	150	147	150	5,77	-0,93	6,71	111,75	112,79	112,27	95,53	16,74	21	ВХК
Июль	417	-270	150	147	150	6,71	-0,72	7,43	112,79	113,43	113,11	95,53	17,58	22	ВХК
Август	317	-172	150	145	150	7,43	-0,45	7,87	113,43	113,76	113,60	95,53	18,06	23	ВХК
Сентябрь	277	-132	150	145	150	7,87	-0,35	8,23	113,76	114,00	113,88	95,53	18,35	23	ВХК

Окончание приложения А

Таблица А.2 – Сработка-наполнение водохранилища в средневодном году

Месяцы	Q <sub>пол</sub>	Q <sub>водх</sub>	Q <sub>х.с.</sub>	Q <sub>вхк</sub>	Q <sub>гэс</sub>	Q <sub>нб</sub>	V <sub>нач</sub>	dV	V <sub>кон</sub>	Z <sub>ВБ (нач)</sub>	Z <sub>ВБ (кон)</sub>	Z <sub>ВБ (ср)</sub>	Z <sub>нб</sub>	H <sub>гэс</sub>	N <sub>гэс</sub>	Э <sub>гэс</sub>
Октябрь	152	5	0	150	157	160	8,23	0,01	8,22	114,00	113,99	114,00	95,70	18,30	25	18381,43
Ноябрь	109	38	0	150	147	150	8,22	0,10	8,12	113,99	113,93	113,96	95,63	18,33	23	17240,37
Декабрь	93	607	0	150	700	703	8,12	1,63	6,49	113,93	112,57	113,25	97,44	15,81	95	63974,41
Январь	70	734	0	150	803	806	6,49	1,78	4,71	112,57	110,31	111,44	97,66	13,78	95	70828,80
Февраль	52	125	0	150	177	180	4,71	0,33	4,38	110,31	109,81	110,06	95,83	14,23	22	15599,23
Март	51	116	0	150	167	170	4,38	0,30	4,08	109,81	109,34	109,57	95,76	13,81	20	14757,17
Апрель	215	-48	0	150	167	170	4,08	-0,13	4,21	109,34	109,54	109,44	95,66	13,78	20	14251,52
Май	1101	-804	0	150	297	300	4,21	-2,08	6,29	109,54	112,36	110,95	96,24	14,71	38	27946,13
Июнь	759	-462	0	150	297	300	6,29	-1,24	7,53	112,36	113,51	112,93	96,24	16,69	43	31715,86
Июль	439	-142	0	150	297	300	7,53	-0,38	7,91	113,51	113,79	113,65	96,24	17,40	44	32004,23
Август	341	-102	0	150	239	244	7,91	-0,26	8,17	113,79	113,96	113,87	96,03	17,84	37	27282,80
Сентябрь	315	-20	0	150	295	300	8,17	-0,05	8,23	113,96	114,00	113,98	96,24	17,74	45	32395,96

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Определение рабочих мощностей ГЭС

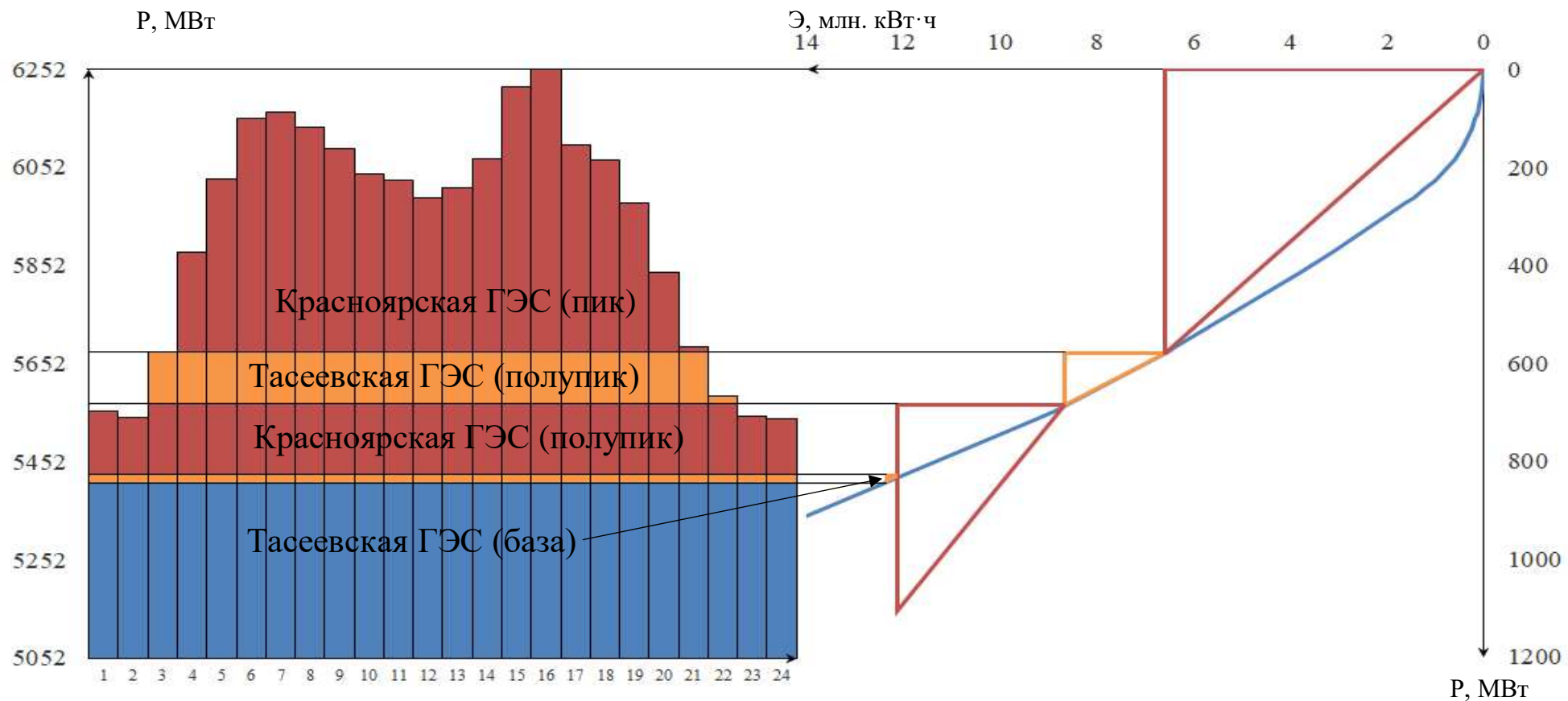


Рисунок Б.1 – График нагрузки и ИКН января (декабря)

Окончание приложения Б

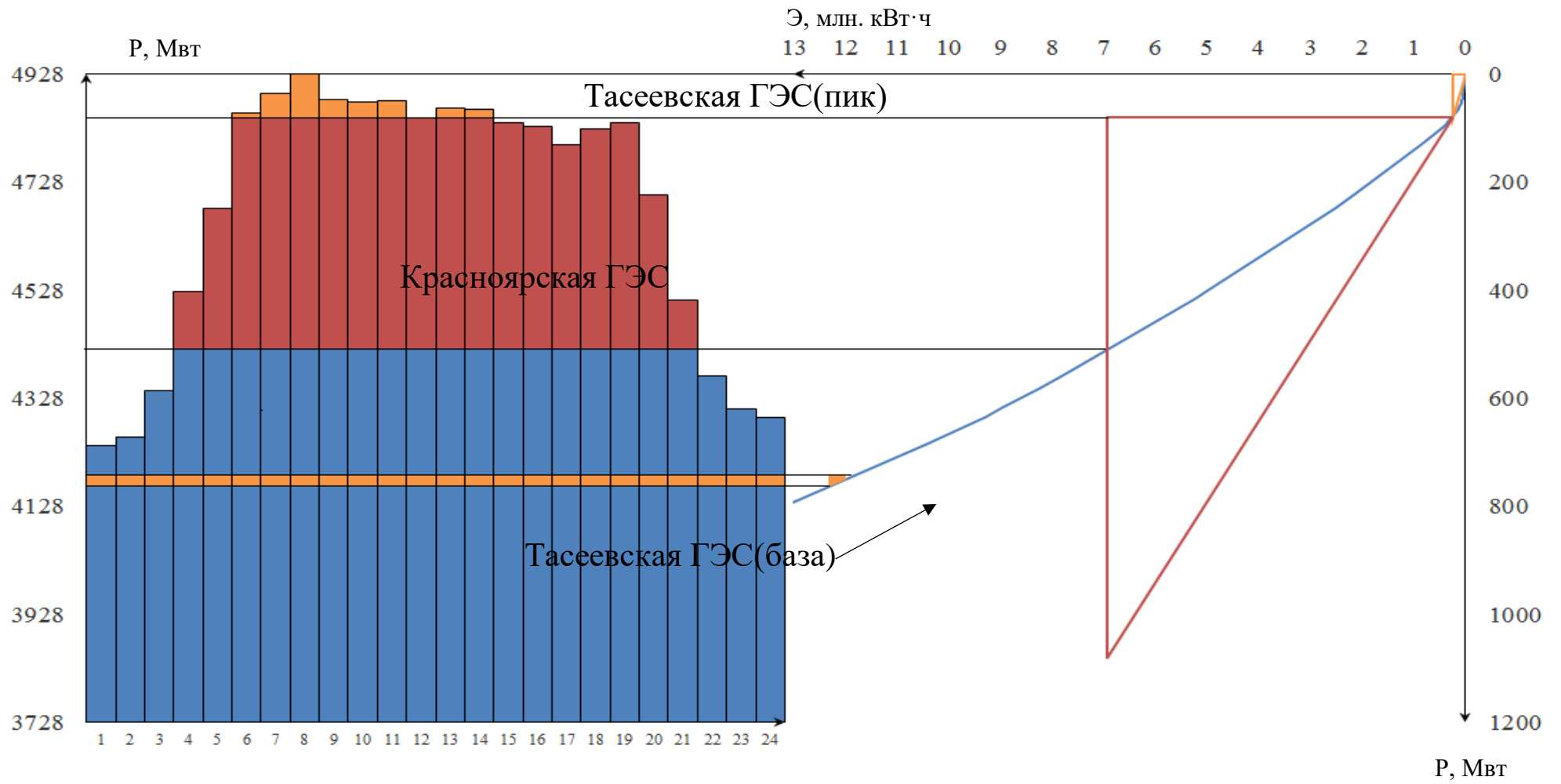


Рисунок Б.2 – График нагрузки и ИКН июня (июля)

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Основное и вспомогательное оборудование

Марка	Горизонтальные				Вертикальные							
	ПЛ10-ГК	ПЛ15-ГК	ПЛ20-ГК	ПЛ25-ГК	ПЛ20-В	ПЛ30а-В	ПЛ30б-В	ПЛ40а-В	ПЛ40б-В	ПЛ50-В	ПЛ60-В	ПЛ70-В
№ УХ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H_{пред}$ , м	10	15	20	25	20	30	30	40	40	50	60	70
$H_{min}/H_{max}$	0.33	0.33	0.35	0.35	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
$\Pi_{I\text{ орт}}$ , об/м	150	145	155	150	146	126	130	125	123	116	116	106
$Q_{I\text{ орт}}$ , л/с	1800	1700	1580	1680	1160	890	1270	1020	1150	1000	1080	860
$\eta_{м\text{ орт}}$	0.924	0.916	0.918	0.912	0.920	0.912	0.911	0.913	0.904	0.916	0.913	0.902
$Q_{I\text{ макс}}$ , л/с	3250	3000	2750	2750	2000	1950	1900	1800	1700	1500	1500	1400
$\sigma(Q_{I\text{ макс}})$	2.4	2.1	1.8	1.6	1.0	1.0	1.0	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55
$D_{I\text{ тэ}}$ , м	0.460	0.460	0.460	0.460	0.500	0.460	0.460	0.460	0.460	0.460	0.460	0.460
$H_{мод}$ , м	3	3	3	3	10	4	8	4	4	12	12	4
$t_{мод}$ , °C	16	6	18	18	20	5	21	10	20	21	20	4

Марка	Диагональные						
	ПЛД50-В60 <sup>0</sup>	ПЛД60-В60 <sup>0</sup>	ПЛД70-В60 <sup>0</sup>	ПЛД90-В45 <sup>0</sup>	ПЛД115-В45 <sup>0</sup>	ПЛД140-В45 <sup>0</sup>	ПЛД170-В30 <sup>0</sup>
№ УХ	13	14	15	16	17	18	19
$H_{пред}$ , м	50	60	70	90	115	140	170
$H_{min}/H_{max}$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
$\Pi_{I\text{ орт}}$ , об/м	113	111	107	85	83	85	80
$Q_{I\text{ орт}}$ , л/с	1100	1130	1020	820	830	800	650
$\eta_{м\text{ орт}}$	0.910	0.906	0.907	0.921	0.916	0.921	0.909
$Q_{I\text{ макс}}$ , л/с	1650	1600	1600	1300	1200	1100	1100
$\sigma(Q_{I\text{ макс}})$	0.60	0.65	0.60	0.45	0.40	0.35	0.32
$D_{I\text{ тэ}}$ , м	0.350	0.460	0.345	0.460	0.460	0.460	0.325
$H_{мод}$ , м	5	12	6	4	4	4	5
$t_{мод}$ , °C	16	20	7	16	9	7	16

Марка	Радиально - осевые										
	РО45 - В	РО75 - В	РО115-В	РО140-В	РО170а-В	РО170б-В	РО230а-В	РО230б-В	РО310-В	РО400-В	РО500-В
№ УХ	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$H_{пред}$ , м	45	75	115	140	170	170	230	230	310	400	500
$H_{min}/H_{max}$	0.60	0.60	0.60	0.60	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.70	0.80
$\Pi_{I\text{ орт}}$ , об/м	82	83	75	73	68	69	66	69	64	65	66
$Q_{I\text{ орт}}$ , л/с	1200	1020	900	840	625	585	535	500	400	237	227
$\eta_{м\text{ орт}}$	0.921	0.920	0.927	0.927	0.923	0.928	0.927	0.926	0.928	0.908	0.907
$Q_{I\text{ макс}}$ , л/с	1430	1200	1080	980	780	670	640	580	500	310	280
$\sigma(Q_{I\text{ макс}})$	0.23	0.13	0.15	0.15	0.07	0.12	0.085	0.065	0.075	0.04	0.04
$D_{I\text{ тэ}}$ , м	0.460	0.460	0.5156	0.515	0.4355	0.5587	0.625	0.630	0.388	0.800	0.800
$H_{мод}$ , м	4	4	4	4	4	4	4	4	30	5	5
$t_{мод}$ , °C	8	20	2	16	7	4	8	7	20	19	19

Рисунок В.1 – Основные параметры модельных турбин

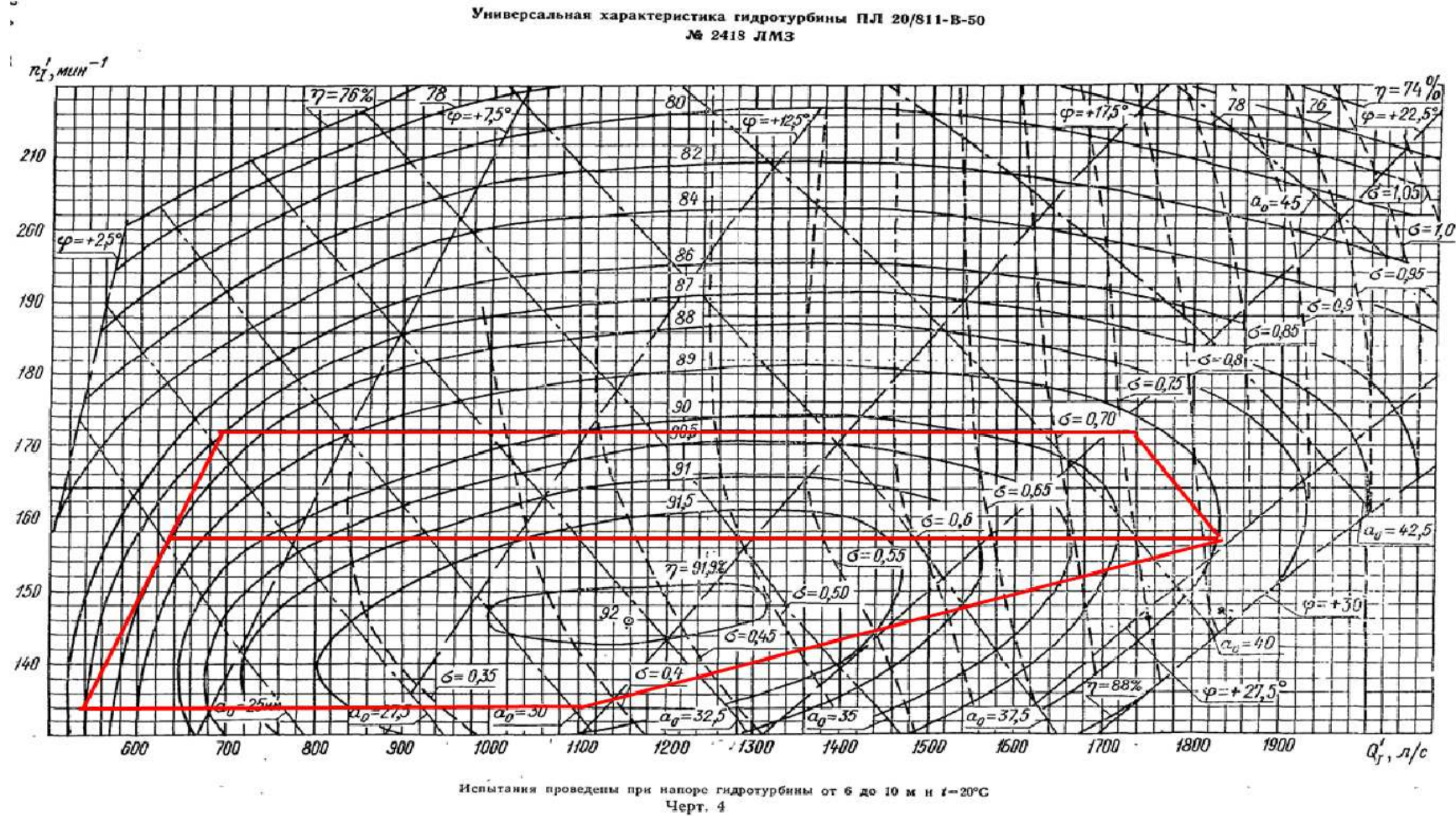
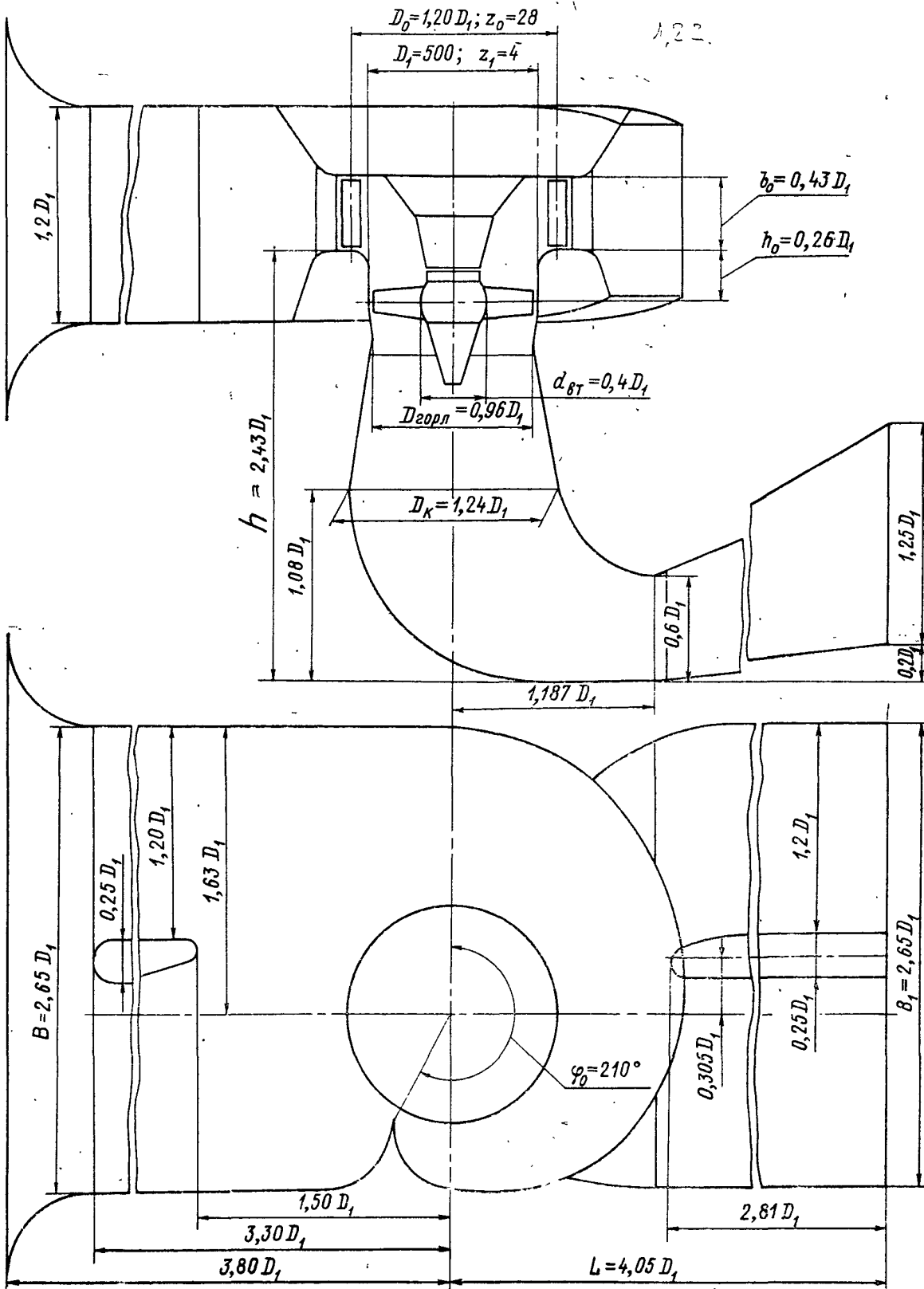


Рисунок В.2 – Зона работы турбины ПЛ20-В-630

Продолжение приложения В

Проточная часть модели гидротурбины ПЛ 20/811-В-50 (к универсальной характеристике № 2418 ЛМЗ)



Черт. 3

Рисунок В.3 – Проточная часть модельной гидротурбины

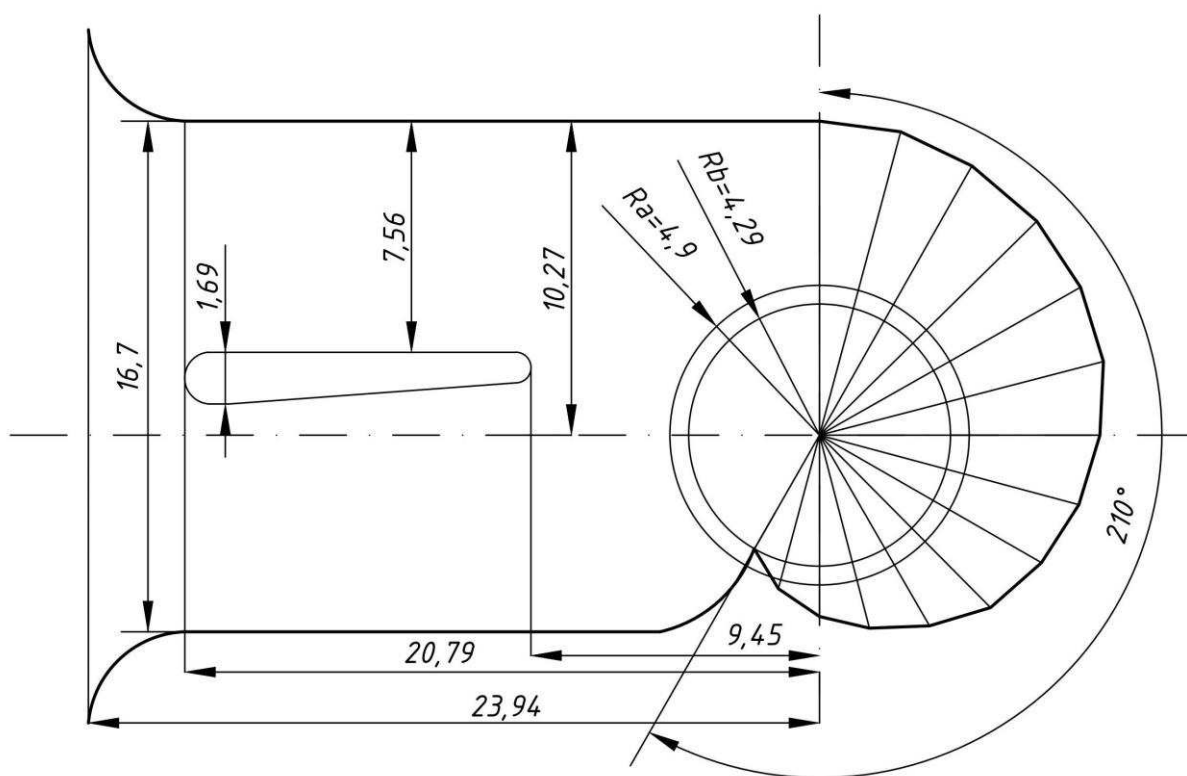


Рисунок В.4 – План бетонной спиральной камеры






Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Саяно-Шушенский филиал

Кафедра гидротехнических сооружений и гидравлических машин

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А. А. Андрияс  
подпись      инициалы, фамилия

«16» 06 2022 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

08.03.01 – Строительство

код – наименование направления

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТАСЕЕВСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ТАСЕЕВА. КОНТРОЛЬ  
ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА В СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ БЕТОННЫХ  
ПЛОТИН. ЭПЮРЫ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ

тема

Руководитель

 16.06.2022  
подпись, дата

инженер 2-й категории  
СМГТС Филиала ПАО  
«РусГидро» – «Саяно-  
Шушенская ГЭС имени  
П.С. Непорожного»

ученая степень, ученое звание  
должность, место работы

Е. Н. Решетникова

инициалы, фамилия

Выпускник

 16.06.2022  
подпись, дата

С. А. Денк

инициалы, фамилия

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Тасеевской ГЭС на реке Тасеева. Контроль фильтрационного режима в скальном основании бетонных плотин. Эпюры противодействия»  
название ВКР

Консультанты по разделам:

Консультант руководителя БР

А.А. Андрицес  
подпись, дата 14.06.22 инициалы, фамилия

Водно-энергетические расчёты

Замеева Е.Ю.  
подпись, дата 07.06.22 инициалы, фамилия

Основное и вспомогательное оборудование

А.В. Масленников  
подпись, дата 10.06.22 инициалы, фамилия

Компоновка сооружения и гидроузла

Е.В. Фурман  
подпись, дата 14.06.22 инициалы, фамилия

Организация и производство гидротехнических работ

Толошицова Т.Ю.  
подпись, дата 05.05.22 инициалы, фамилия

Пожарная безопасность. Охрана труда

В.И. Тетяшин  
подпись, дата 16.06.22 инициалы, фамилия

Охрана окружающей среды

В.А. Караганов  
подпись, дата 21.04.22 инициалы, фамилия

Технико-экономическое обоснование

В.В. Лопасова  
подпись, дата 22.04.22 инициалы, фамилия

Нормоконтролер

К.П. Сивельникова  
подпись, дата 17.06.22 инициалы, фамилия