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

Кафедра «Гидротехнических сооружений и гидромашин»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.В. Масленникова
подпись инициалы, фамилия
«_9_» _марта_ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Яшкиной Екатерине Константиновне.
Группа СБ12-01Б. Направление 08.03.01 Строительство.
Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование Ярославской ГЭС на реке Волга. Проектирование шлюза».
Утверждена приказом по университету № 21 от 9 марта 2016 г.
Руководитель ВКР Н.П. Ульянова, старший преподаватель кафедры «Гидросооружений и гидромашин» Саяно-Шушенского филиала СФУ.
Исходные данные для ВКР: 1) топографическая основа в створе гидроузла; 2) гидрологические данные; 3) инженерно-геологические характеристики; 4) сейсмичность района строительства; 5) характеристика электроэнергетической системы.
Перечень разделов ВКР: 1) Общая часть; 2) Водно-энергетические расчёты; 3) Гидротурбинное, гидромеханическое и вспомогательное оборудование; 4) Компоновка и сооружения гидроузла; 5) Организация и производство гидротехнических работ; 6) Охрана окружающей среды. Пожарная безопасность; 7) Технико-экономические показатели; 8) Проектирование шлюза.
Перечень графического материала: выбор установленной мощности Ярославской ГЭС; поперечный разрез по станционной части Ярославской ГЭС; этапы строительства Ярославской ГЭС; расчётная схема бетонной водосливной плотины Ярославской ГЭС с эпюрами нагрузок и напряжений; поперечный разрез по бетонной водосливной плотине; поперечный разрез по грунтовой плотине; генеральный план Ярославской ГЭС; организация и технология строительства гидроузла; календарный план строительства; технологическая карта; строительный генеральный план; основные технико-экономические показатели строительства Ярославской ГЭС; иллюстрационные материалы к спец.вопросу.

Руководитель ВКР _____ Н. П. Ульянова
подпись

Задание принял к исполнению _____ Е. К. Яшкина
подпись

«9» марта 2016 г.

Саяно-Шушенский филиал
Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

ОТЗЫВ

руководителя Ульяновой Н.П., старшего преподавателя Саяно-Шушенского филиала ФГАОУ ВО «Сибирского федерального университета», на бакалаврскую работу студентки
Яшкиной Екатерины Константиновны
«Проектирование Ярославской ГЭС на реке Волга. Проектирование шлюза».

Бакалаврская работа Яшкиной Е.К. состоит из 151 листа пояснительной записки и 15 листов графической части. Пояснительная записка включает в себя сокращенный паспорт Ярославской ГЭС, введение, 8 глав, заключение.

В бакалаврской работе выполнены водно-энергетические расчеты, в результате которых определенны гарантированная и установленная мощность, среднемноголетняя выработка энергии. При рассмотрении нескольких вариантов было выбрано оптимальное основное энергетическое оборудование, проведены гидравлические и прочностные расчеты водосбросной плотины. Для грунтовой плотины проведены фильтрационный расчет и расчет устойчивости низового откоса.

Также, разработан проект организации и технологии строительства гидротехнических сооружений Ярославской ГЭС: разработана схема пропуска строительных расходов, намечены основные этапы строительства, подсчитаны объёмы бетонных и грунтовых работ, составлены календарный и сетевой графики, определены технико-экономические показатели.

Кроме этого, в составе гидроузла Яшкиной Е.К. запроектирован шлюз.

Рассчитана грузопропускная способность шлюза, определены размеры камеры, количество ниток шлюза, размеры причальных стенок, сопрягающие радиусы подводящего и отводящего каналов, система питания шлюза.

При проектировании учтены те обстоятельства, что гидроузел Ярославской ГЭС расположен на судоходной реке с каскадом гидроузлов, включающих шлюзы. Поэтому судоходные глубины и габариты Ярославского шлюза были приняты в соответствии с размерами уже существующих шлюзов на реке Волга.

Расчеты, проведенные в бакалаврской работе, выполнены по стандартным методикам, учтены рекомендации СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения», СТО НП «ИНВЭЛ» 70238424.27.140.028-2009 «Гидроэлектростанции. Организация строительного производства», СТО НП «ИНВЭЛ» 70238424.27.140.046-2009 «Гидроэлектростанции. Производство строительно-монтажных работ» и др.

Все принятые решения соответствуют действующим нормам и правилам.

Бакалаврская работа Яшкиной Е.К. заслуживает оценки «хорошо».

Старший преподаватель
Саяно-Шушенского филиала
ФГАОУ ВО
«Сибирского федерального университета» Ульянова Н.П.

Дата 17.06.2016

(подпись)

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

Кафедра «Гидротехнических сооружений и гидромашин»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.В. Масленникова
подпись инициалы, фамилия

«20» июня 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

08.03.01 - Строительство

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЯРОСЛАВСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ВОЛГА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЛЮЗА

Руководитель	10.06.16 подпись, дата	ст. преподаватель должность, ученая степень	Н.П.Ульянова инициалы, фамилия
Выпускник	10.06.16 подпись, дата		Е.К.Яшкина инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2016

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Ярославской ГЭС на реке Волга. Проектирование шлюза».

Консультанты по разделам:

Общая часть	16.04.16 подпись, дата	А.В.Масленникова инициалы, фамилия
Водноэнергетические расчёты	8.06.16 подпись, дата	Е.Ю.Затеева инициалы, фамилия
Основное и вспомогательное оборудование	16.04.16 подпись, дата	А.В.Масленникова инициалы, фамилия
Компоновка и сооружения гидроузла	13.06.16 подпись, дата	Л.С.Пермякова инициалы, фамилия
Организация и производство Гидротехнических работ	10.06.16 подпись, дата	Н.П.Ульянова инициалы, фамилия
Технико-экономические показатели	06.05.16 подпись, дата	В.В.Лапасова инициалы, фамилия
Охрана труда и противопожарная безопасность. Мероприятия по охране окружающей среды	28.04.2016. подпись, дата	Е.В.Юзефович инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	15.06.16. подпись, дата	А.А.Чабанова инициалы, фамилия

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращенный паспорт Ярославской ГЭС 6
Введение 8
1 Общая часть 9
1.1 Природные условия 9
1.1.1 Климат в районе проектируемого гидроузла 9
1.1.2 Гидрологические данные 9
1.1.3 Инженерно-геологические условия 11
1.2 Энергоэкономическая характеристика района 11
2 Водноэнергетические расчеты 12
2.1 Исходные данные 12
2.2 Выбор расчетных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности стока 12
2.2.1 Выбор расчетного средневодного года (P=50%) 13
2.2.2 Выбор расчетного маловодного года (P=90%) 14
2.4 Построение годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы 17
2.5 Покрытие графиков нагрузки энергосистемы существующими электростанциями 18
2.6 Расчет режима работы ГЭС без регулирования с учетом требований водохозяйственного комплекса 19
2.7 Водно–энергетические расчеты режима работы ГЭС в маловодном и средневодном годах 21
2.8 Водно-энергетические расчеты режима работы в средневодном году 22
2.9 Определение установленной мощности ГЭС и планирование капитальных ремонтов 23
2.10 Определение максимального расчетного расхода 25
3 Выбор основного и вспомогательного оборудования 28
3.1 Построение режимного поля 28
3.2 Выбор турбин по главным универсальным характеристикам 30
3.3 Гидротурбины и их проточная часть 33
3.3.1 Определение заглубления рабочего колеса гидротурбины 33
3.3.2 Определение геометрических размеров проточной части 36
3.4 Выбор гидрогенератора 37
3.5 Выбор типа и габаритных размеров маслонапорной установки 37
3.5.1 Выбор кранов 37
3.6 Расчеты для определения параметров машинного зала 37
4 Компоновка и сооружения гидроузла 39
4.1 Компоновка гидроузла 39
4.2 Проектирование бетонной водосливной плотины 39
4.2.1 Определение ширины водосливного фронта, числа и размеров водосливных отверстий 39
4.2.2 Определение отметки гребня водослива 41
4.2.3 Проверка на пропуск поверочного расхода при поверочном случае ... 43

4.2.4 Построение профиля водосливной плотины ... 44
4.2.5 Расчет сопряжения бьефов ... 45
4.2.6 Расчет водобойного колодца ... 47
4.3 Конструирование плотины ... 51
4.3.1 Назначение размеров основных элементов плотины ... 51
4.3.2 Определение ширины подошвы бетонной плотины ... 51
4.4 Конструирование отдельных элементов подземного контура плотины ... 53
4.4.1 Устои ... 53
4.4.2 Дренажные устройства ... 54
4.5 Назначение размеров основных элементов плотины ... 54
4.5.1 Понур ... 54
4.6 Конструктивные элементы нижнего бьефа ... 54
4.6.1 Водобой ... 55
4.6.2 Расчет водобойной плиты ... 55
4.7 Рисберма и ковш ... 57
4.7.1 Ковш рисбермы ... 57
4.7.2 Рисберма ... 59
4.8 Фильтрационные расчёты ... 62
4.8.1 Построение эпюры фильтрационного противодавления методом удлиненной контурной линии ... 62
4.9 Статические расчеты плотины ... 64
4.9.1 Расчёт прочности плотины ... 74
4.9.2 Расчёт устойчивости плотины ... 79
4.10 Проектирование грунтовой плотины ... 80
4.10.1 Определение отметки гребня земляной плотины и гребня быка ... 81
4.10.2 Расчет положения кривой депрессии для плотины с ядром и дренажным банкетом на водонепроницаемом основании ... 85
4.10.3 Оценка фильтрационной прочности грунтов ... 88
4.10.4 Расчет устойчивости низового откоса методом кругло-цилиндрической поверхности ... 89
5 Организация и производство гидротехнических работ ... 93
5.1 Определение этапов строительства ... 93
5.2 Выбор схемы пропуска строительных расходов ... 93
5.3 Определение объемов основных работ ... 96
5.3.1 Определение объемов земляных работ ... 96
5.3.2 Объемы земляных работ для грунтовой плотины ... 97
5.3.3 Объемы земляных работ для перемычек ... 97
5.4 Осушение котлована ... 99
5.4.1 Котлован первой очереди ... 100
5.4.2 Котлован второй очереди ... 100
5.5 Выбор способа перекрытия ... 101
5.6 Выбор транспортной схемы бетонных работ ... 101
5.7 Технологическая карта ... 102
5.7.1 Разработка котлована под водобойную плиту ... 102
5.8 Строительный генеральный план ... 105

5.9 Календарный план 105
6 Охрана окружающей среды 106
6.1 Требования по охране труда и техники безопасности для работников Ярославской ГЭС 106
6.2 Пожарная безопасность 107
6.3 Опасности и риски для населения и персонала 108
6.4 Перечень мероприятий по охране окружающей среды 109
6.5 Период строительства 110
6.6 Период эксплуатации 112
7 Технико-экономические показатели 113
7.1 Объём продаж электроэнергии и расчёт расходов на проект 113
7.1.1 Объёмы продаж электроэнергии 113
7.1.2 Текущие расходы 114
7.3 Налоговые расходы 124
7.4 Оценка суммы прибыли от реализации проекта 116
7.5 Показатели эффективности проекта 117
7.5.1 Коммерческая эффективность 117
7.5.2 Бюджетная эффективность 118
7.6 Анализ чувствительности 118
8 Проектирование судоходного шлюза 121
8.1 Общие сведения 121
8.2 Установление расчётного напора, выбор типа и определение габаритных размеров камеры и отметок порогов голов 121
8.3 Полезные габариты камеры 122
8.4 Расположение шлюза в гидроузле 123
8.5 Подходы к шлюзам 123
8.6 Причальные и направляющие сооружения 125
8.7 Грузопропускная способность шлюза 125
8.8 Система питания 128
8.9 Ворота 129
Заключение 130
Список использованых источников 133
Приложение А 136
Приложение Б 141
Приложение В 145
Приложение Г 148
Приложение Д 149
Приложение Е 151

СОКРАЩЕННЫЙ ПАСПОРТ ЯРОСЛАВСКОЙ ГЭС

1. Наименование реки Волга,
2. Местонахождение ГЭС Ярославская область,
3. Тип проектируемой установки ГЭС,
4. Характерные расходы воды:
   а) среднемноголетний 959 м³/с,
   б) всех турбин 1735,2 м³/с,
   в) максимальный с учетом трансформации паводка обеспеченностью 0,1% 9083 м³/с,
   г) минимальный 200 м³/с,
5. Параметры водохранилища:
   а) характер регулирования стока годовой,
   б) отметки: НПУ 99 м УМО 95 м
   в) объемы: полный 23 км^3 полезный 4 км^3,
6. Напоры ГЭС:
   а) максимальный 19,5 м
   б) расчетный 12,9 м г) минимальный 11,5 м,
7. Энергетические характеристики:
   а) мощность установленная 291 МВт,
   гарантированная 226 МВт,
   б) среднемноголетняя выработка энергии 1,18 млрд..МВт·ч,
   в) число часов использования установленной мощности 4055 ч,
8. Плотины:
   а) русловая гравитационная материал бетон,
   б) правобережная грунтовая материал песок средней крупности,
   в) левобережная грунтовая материал песок средней крупности,
   г) общая длина 864,10 м, максимальная высота 25,7м,
   д) судоходный шлюз: однокамерный двухниточный, длина 39 м;
9. Водосбросные сооружения
   а) тип поверхностный водослив,
   б) число и размер пролетов 13 отверстий 20 м,
   в) общая длина 188 м,
   г) максимальная высота 25,7 м,
10. Здание ГЭС:
   а) тип здания русловое число агрегатов 6,
   б) грунты в основании глина,
   в) тип спиральной камеры бетонная прямоугольного сечения ,
   г) тип отсасывающей трубы изогнутая,
11. Основное оборудование:
   а) тип турбины ПЛ20-В-850, их диаметр 8,5 м,
   б) тип генератора СВ-1100/40-84, их мощность 53,8МВт,
   в) частота вращения 71,4 об/мин,
   г) тип трасформаторов , их число 6шт,
12. Технико-экономические показатели:

а) удельные показатели 20921,4 тыс.руб/кВт,
б) себестоимость энергии 18 коп/кВт·ч,
в) показатели эффективности ЧПД = 4259 млн. руб.,
ВНР = 24,32 %,
ИП = 1,69 ,
Срок окупаемости = 6,7 года.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассмотрен проект Ярославской ГЭС на реке Волга, протекающей, протяженность реки составляет 3530 км. Для нормального развития экономики региона необходим опережающий рост энергетики. Запроектированный гидроузел может служить одним из источников энергоснабжения, продаваемого в населенные пункты Ярославской области, захватывая Ивановскую область. В результате анализа топографии для строительства Ярославского гидроузла был выбран оптимальный вариант расположения створа на расстоянии 1 км вверх по течению реки от поселка Фоминское. При строительстве плотины образуется водохранилище площадью 342,8 км^3. В зону затопления водохранилища не попадают населенные пункты.

Целью бакалаврской работы является проектирование сооружений, выбор основного и вспомогательного оборудования, разработка правил охраны труда и окружающей среды, технико-экономическое обоснование эффективности проекта, разработка технологической карты и составление календарного плана строительства гидроузла.

1 Общая часть

1.1 Природные условия

1.1.1 Климат в районе проектируемого гидроузла

Ярославская ГЭС расположена на реке Волга в Ярославской области на расстоянии 1 км выше по течению от поселка Фоминское. Климат участка строительства – умеренно-континентальный, характеризующийся теплым летом, холодной зимой, небольшим количеством осадков, выпадающих в теплый период года. Среднегодовая температура воздуха составляет 9°С. Самые холодные месяцы - январь и февраль со среднемесячной температурой воздуха -18°С, абсолютным минимумом -46°С. Самый теплый месяц – июль со среднемесячной температурой воздуха +23°С, абсолютным максимумом +36°С.

Среднемесячная скорость ветра — 3,4-5,2 м/с. Сильные ветры со скоростью в 15 м/с и более имеют высокую повторяемость в декабре, январе и марте. Большая часть осадков (40-60 %) выпадает за 3 летних месяца.

1.1.2 Гидрологические данные

Волга берёт начало на Валдайской возвышенности на высоте 228 м. Длина реки – 3530 км, площадь бассейна – 1360 тыс. км^2. Основное питание Волги осуществляется снеговыми (60% годового стока), грунтовыми (30%) и дождевыми (10%) водами.

Речная система бассейна Волги включает 151 тысячу водостоков общей протяжённостью 574 тыс. км. Волга принимает около 200 притоков.

Бассейн Волги занимает около 1/3 Европейской территории России. Протекает от Валдайской и Среднерусской возвышенностей на западе до Урала на востоке.

Естественный режим характеризуется весенним половодьем (апрель — июнь), малой водностью в период летней и зимней межени и осенними дождевыми паводками (октябрь). Годовые колебания уровня Волги до регулирования достигали у Твери 11 м, ниже Камского устья — 15—17 м и у Астрахани — 3 м. С постройкой водохранилищ сток Волги зарегулирован, колебания уровня резко уменьшились. В то же время, на широких многокилометровых водохранилищах (напр., на Рыбинском, Куйбышевском) в ненастную погоду образуются волны высотой до 1,5 метров.

Растительный и животный мир участка строительства типичен для европейской территории России. В Ярославской области обитает более 180 видов птиц, 46 видов рыб, свыше 40 видов животных.

Водные биологические ресурсы Волги представлены следующими видами: окунь, карась, щука, жерех, сазан и др.

Кривая зависимости расходов от уровней воды р. Волга в створе сооружений Ярославской ГЭС показана на рисунке 1.1.

Координаты площадей и объемов Ярославского водохранилища в таблице 1.2 ,кривые площадей и объемов на рисунке 1.2 и 1.3 соответственно.

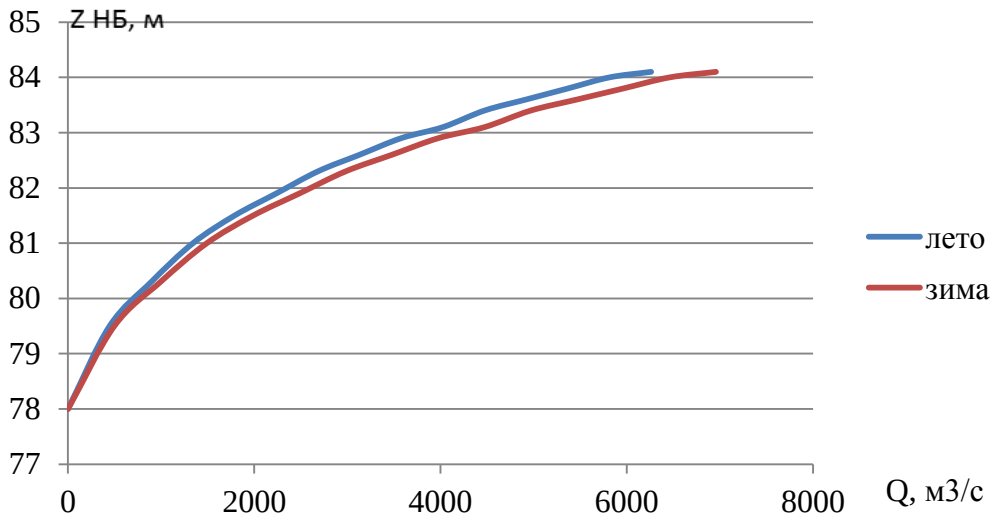


Рисунок 1.1– Кривая связи расходов и уровней в нижнем бьефе

Таблица 1.2 – Координаты кривых площадей и объемов Ярославского водохранилища

Zвб, м	W, км^3	F, км^2
78	0	0,0
83,0	1,93	28,6
86,1	3,86	57,1
88,5	5,79	85,7
90,3	7,72	114,3
91,9	9,65	142,8
93,3	11,58	171,4
94,5	13,51	199,9
95,5	15,44	228,5
96,5	17,37	257,1
97,4	19,3	285,6
98,2	21,23	314,2
99,0	23,16	342,8
99,7	25,09	371,3
100,4	27,02	399,9

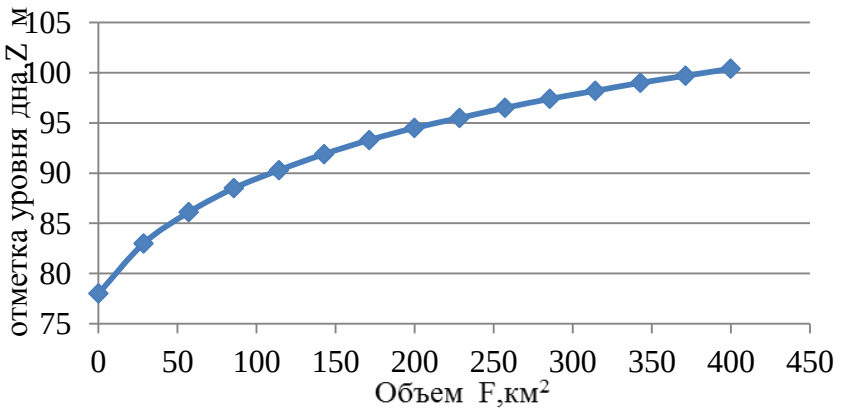


Рисунок 1.2 – Кривая зависимости площадей водохранилища от уровня воды

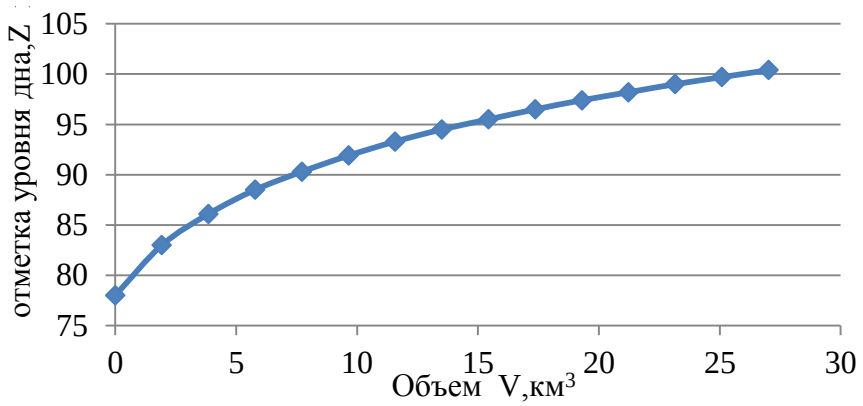


Рисунок 1.3 – Кривая зависимости объемов водохранилища от уровня воды

1.1.3 Инженерно-геологические условия

Створ Ярославской ГЭС, был выбран исходя из условий минимального объёма выемки грунта и минимальной длины напорного фронта. Объём выемки грунта составляет 2447 тыс.м^3. Согласно СНиП 2.06.06.85 ширина створа определяется по коэффициенту створности, равному отношению длины створа по хорде к высоте плотины. Ширина створа составляет 900 м. Геология створа определяет тип основания плотины и характеризуется нескальным основанием.

В основание створа залегает твердая глина. В русле реки залегает песок средней крупности, которого достаточно для возведения грунтовой плотины. Так же в створе присутствует суглинок, который используется для ядра грунтовой плотины.

1.2 Энергоэкономическая характеристика района

Объединенная энергетическая система Центра располагается на территории Центрального и Северо-Западного Федеральных округов и 19 субъектов Российской Федерации : г. Москвы; Белгородской, Владимирской, Вологодской, Воронежской, Ивановской, Костромской, Курской, Орловской, Липецкой, Рязанской, Брянской, Калужской, Смоленской, Тамбовской, Тверской, Тульской, Ярославской и Московской области.

В ее состав входят 18 региональных энергетических систем: Белгородская, Владимирская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Костромская, Курская, Орловская, Липецкая, Московская, Рязанская, Брянская, Калужская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Тульская и Ярославская. Загорская ГАЭС, Филиал РусГидро. Расположена на реке Кунья в Московской области, Сергиево-Посадском районе, у посёлка Богородское. Крупнейшая ГАЭС в России.

Водохранилище создано с целью хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения промышленных городов. Кроме того, осуществляет попуски, необходимые для поддержания санитарного состояния р. Волга и для выработки электроэнергии.

2 Водноэнергетические расчеты

2.1 Исходные данные

1.Данные по энергосистеме :
1.1 Энергосистема :Центр
1.2 Резервы: нагрузочный резерв системы 1,5 %, аварийный резерв системы 7%
2.Схема использования реки: сомкнутый каскад, в нижнем бьефе ГЭС.
3.Координаты кривых площадей и объёмов водохранилища.
4.Кривая связи расходов и уровней в нижнем бьефе гидроузла.
5. Требования участников ВХК и потери воды представлены в таблице 2.1
6. Коэффициент мощности k_N = 8,6
7. Потери напора в водоподводящих сооружениях Δh = 0,8 м
8. НПУ Ярославской ГЭС 99,0 м.
9. Гидрологический ряд наблюдений среднемесячных расходов р.Волга в створе Ярославской ГЭС за период с1950-51 гг. по 1999-2000 гг, $м^3/с$ представлен в приложении А, таблица А.1.

Таблица 2.1- Требования участников ВХК и потери воды

Q, $м^3/с$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Требования ВХК	200	200	200	200	400	400	400	400	400	400	400	200
Потребление из водохранилища	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Фильтрация	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Испарение	-	-	-	-	90	135	101	40	-	-	-	-
Льдообразование	-12	-10	-9	-8	+56	-	-	-	-	-	-	-13
Шлюзование	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2.2 Выбор расчетных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности стока

В соответствии с методикой выбора расчетных гидрографов целесообразно разделить год на два основных периода: многоводный (половодье) и маловодный (межень). В первом приближении можно считать, что к периоду половодья относятся месяцы, в которые расходы больше или равны среднегодовому расходу. Тогда остальные месяцы составят маловодный период. Для всех лет заданного ряда принимаем одинаковые месяцы, относящиеся к периоду межени и половодья (к периоду половодья относятся апрель, май; к периоду межени относятся месяцы с июня по март). Начало года считаем с первого месяца после половодья.

Определив границы сезонов, необходимо для всех лет ряда вычислить средние расходы за год, лимитирующий сезон и период половодья. Ранжируем каждую последовательность в порядке убывания. По полученным результатам строятся эмпирические кривые обеспеченности по формуле 2.1:

$$p(m) = \frac{m}{n+1} \cdot 100, \qquad (2.1)$$

где m – порядковый номер члена ряда расходов (среднегодовых, среднеполоводных и средних за зимний сезон), ранжированного в убывающем порядке;

n – общее число членов ряда.

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

Эмпирические кривые обеспеченности среднегодовых, среднеполоводных и среднемеженных расходов представлены на рисунке 2.1.

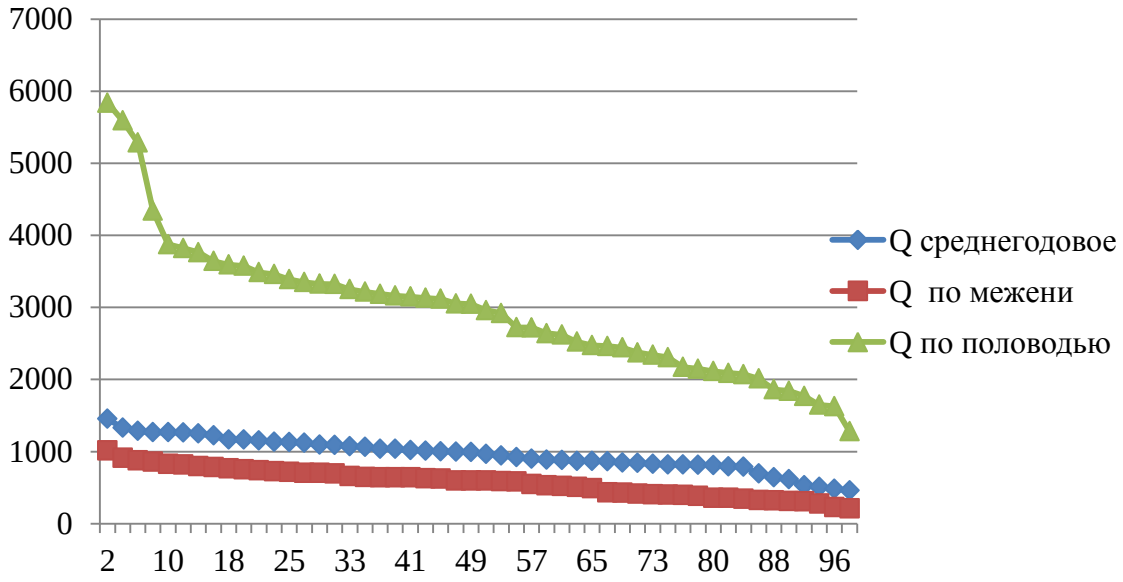


Рисунок 2.1 – Эмпирические кривые обеспеченности

2.2.1 Выбор расчетного 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%.

Вычисляем коэффициенты приведения по межени и половодью. В итоге принимаем тот год, который будет иметь коэффициент приведения ближе к единице, т.е. тот год, который требует меньшую корректировку расходов.

$$К_м = \frac{Q_{1976-77}}{Q_{1976-77}} = 1{,}0. \qquad (2.2)$$

$$К_п = \frac{Q_{1975-76}}{Q_{1964-65}} = 0{,}9. \qquad (2.3)$$

В качестве расчетного средневодного года принимаем 1976-77гг.

2.2.2 Выбор расчетного маловодного года (P=90%)

Для заданной расчетной обеспеченности на кривых обеспеченности отсутствует конкретный год. По кривой обеспеченности годовых расходов определяем ближайшие годы справа и слева от расчетной обеспеченности 90%.

Вычисляем коэффициенты приведения по межени и половодью. В итоге принимаем тот год, который будет иметь коэффициент приведения ближе к единице, т.е. тот год, который требует меньшую корректировку расходов.

$$К_м = \frac{Q_{1970-71}}{Q_{1964-65}} = 1{,}0. \quad (2.4)$$

$$К_п = \frac{Q_{1954-55}}{Q_{1976-77}} = 1{,}0. \quad (2.5)$$

В качестве расчётного маловодного года принимаем 1964-65 гг. Выбрав окончательно расчётные гидрографы, уточним годовой сток, умножив среднемесячные расходы на вычисленные коэффициенты приведения (таблица 2.1, таблица 2.2)

Таблица 2.1 – Расчетный средневодный год (P=50%) без приведения, с корректировкой

Мес.	средн.	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	$Q_{ср}$ ($м^3/с$)
50%	*1976-77*	3058	3036	1915	1011	715	336	249	233	363	231	327	441	994
	Корр.	3058	3036	1915	1011	215	287	320	430	453	331	427	441	994

Таблица 2.2 – Расчетный маловодный год (P=90%) без приведения, с корректировкой

Мес.	малов.	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	$Q_{ср}$ ($м^3/с$)
90%	*1964-65*	1917	2261	538	190	174	182	268	396	376	315	385	366	614
	Корр.	1917	2261	538	190	174	182	268	396	376	315	385	366	614

Гидрографы маловодного и средневодного годов представлены на рисунке 2.2.

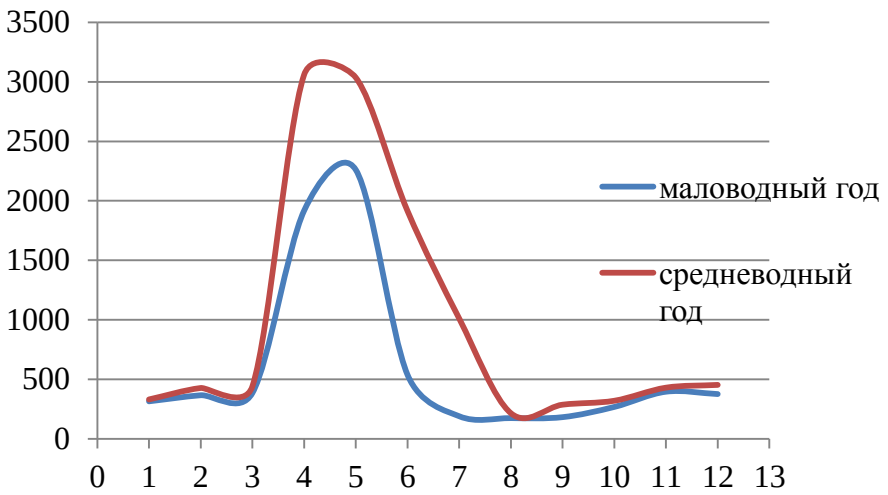


Рисунок 2.2 - Гидрографы маловодного и средневодного годов

2.3 Построение суточных и годовых графиков нагрузки энергосистемы

Далее строим интегральные кривые нагрузки (ИКН), которые потребуются для определения рабочей мощности ГЭС при известной энергоотдаче каждого месяца, которая будет определена в ходе водно-энергетического расчета. Также ИКН используется для определения места работы ГЭС в суточном графике нагрузки энергосистемы (рисунок 2.3).

ИКН строится для каждого месяца, но в нашем случае, из-за недостатка данных, рассчитаем зимний и летный месяц и из них выстроим кривую для полного года. При составлении таблиц пользуемся следующими формулами:

$$\Delta P_n = N_{\text{ранж.}n} - N_{\text{ранж.}n+1}\,, \tag{2.6}$$

$$\Delta Э = \Delta P \cdot \Delta T, \tag{2.7}$$

$$Э_n = \Delta Э_n + Э_{n-1}, \tag{2.8}$$

$$P_n = \Delta P_n + P_{n-1}. \tag{2.9}$$

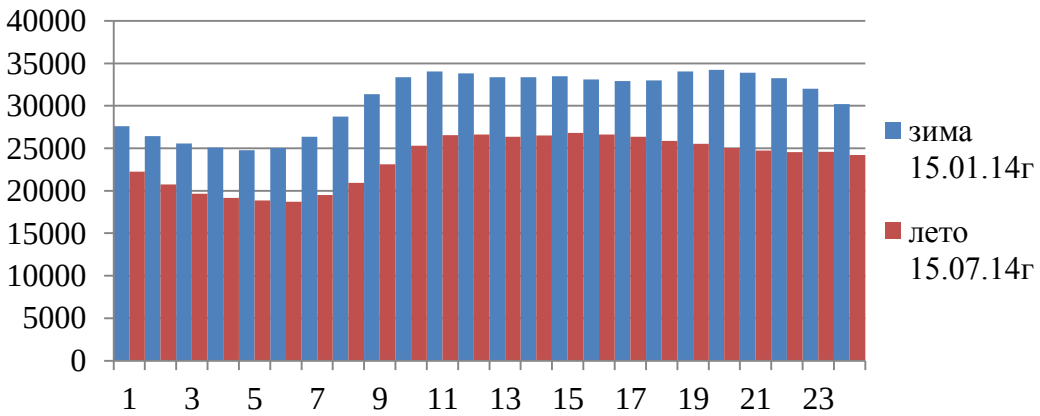


Рисунок 2.3-Летний и зимний графики нагрузки энергосистемы

Расчёт интегральных кривых нагрузки для летнего и зимнего периода сведены в таблицу 2.3 и 2.4 соответственно.

Таблица 2.3-Данные для построения интегральной кривой нагрузки (зима)

Суточный зимний график						
Время	Мощность потребления (МВт) 15.01.2014.г.	Мощность потребления (МВт)	ΔP	ΔЭ=ΔP·t	∑P	∑Э
0	27593	34216	0	0	0	0
1	26416	34049	167	167	167	167
2	25572	34032	17	34	184	201
3	25086	33883	149	447	333	648
4	24760	33820	63	252	396	900
5	25044	33490	330	1650	726	2550
6	26360	33376	114	684	840	3234
7	28746	33352	24	168	864	3402
8	31369	33349	3	24	867	3426
9	33376	33238	111	999	978	4425
10	34032	33107	131	1310	1109	5735
11	33820	32972	135	1485	1244	7220
12	33352	32913	59	708	1303	7928
13	33349	32020	893	11609	2196	19537
14	33490	31369	651	9114	2847	28651
15	33107	30199	1170	17550	4017	46201
16	32913	28746	1453	23248	5470	69449
17	32972	27593	1153	19601	6623	89050
18	34049	26416	1177	21186	7800	110236
19	34216	26360	56	1064	7856	111300
20	33883	25572	788	15760	8644	127060
21	33238	25086	486	10206	9130	137266
22	32020	25044	42	924	9172	138190
23	30199	24760	284	6532	9456	144722
24	30790	-	24760	594240	34216	738962

Таблица 2.4-Данные для построения интегральной кривой нагрузки (лето)

Суточный летний график						
Время	Мощность потребления (МВт) 15.07.2014.г.	Мощность потребления (ран(МВт))	ΔP	ΔЭ=ΔP·t	∑P	∑Э
0	22245	26793	0	0	0	0
1	20742	26639	154	154	154	154
2	19637	26635	4	8	158	162
3	19168	26549	86	258	244	420
4	18866	26513	36	144	280	564
5	18700	26374	139	695	419	1259
6	19485	26346	28	168	447	1427
7	20920	25861	485	3395	932	4822
8	23130	25545	316	2528	1248	7350
9	25304	25304	241	2169	1489	9519
10	26549	25025	279	2790	1768	12309
11	26635	24756	269	2959	2037	15268
12	26346	24598	158	1896	2195	17164
13	26513	24564	34	442	2229	17606
14	26793	24198	366	5124	2595	22730
15	26639	23130	1068	16020	3663	38750
16	26374	22245	885	14160	4548	52910
17	25861	20920	1325	22525	5873	75435
18	25545	20742	178	3204	6051	78639
19	25025	19637	1105	20995	7156	99634
20	24756	19485	152	3040	7308	102674
21	24564	19168	317	6657	7625	109331
22	24598	18866	302	6644	7927	115975
23	24198	18700	166	3818	8093	119793
24	23691	-	18700	448800	26793	568593

2.4 Построение годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы

Данные графики необходимы для построения баланса мощностей (график максимальных мощностей) и баланса энергий (график средних мощностей). Кроме того, график среднемесячных мощностей в дальнейшем будет использоваться при регулировании годового стока (таблица 2.5, рисунок 2.4).

Для построения максимального графика необходимо из летнего и зимнего суточных графиков энергосистемы выделить максимум потребления $P_{з}^{max} = 34216$ Мвт и летом $P_{л}^{max} = 26793$ Мвт.

Расчет данных для годового графика средних мощностей:

Используемые формулы:

$$\mathrm{P}_{\max t} = a + b \cdot cos(30^{\circ}t - 15), \qquad (2.10)$$

$$a = \frac{(P_з^{ср} + P_л^{ср})}{2}, \quad (2.11)$$

$$b = \frac{(P_з^{ср} - P_л^{ср})}{2}. \quad (2.12)$$

Таблица 2.5– Годовой график максимальных и среднемесячных нагрузок

Месяц	Pср t, МВт	Pmax t, МВт
1	30670	33719
2	29751	32362
3	28162	30507
4	26325	28652
5	24734	27293
6	23814	26793
7	23811	26793
8	24726	27293
9	26314	28652
10	28151	30507
11	29743	32362
12	30666	33719

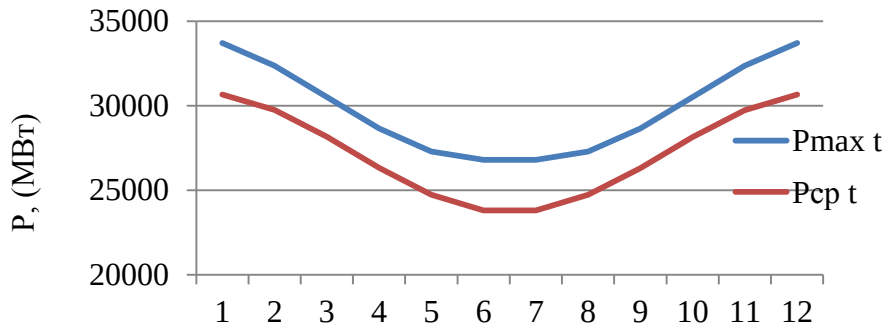


Рисунок 2.4-Годовые графики нагрузки энергосистемы

2.5 Покрытие графиков нагрузки энергосистемы существующими электростанциями

Производим первый приближенный расчет гарантированной энергоотдачи. Сначала на графике среднемесячных мощностей обозначается зона работы существующих в энергосистеме ГЭС.

В систему ОЭС Центра входит одна ГАЭС – Загорская ГАЭС.

$N_{уст\ зима} = 1200$ МВт,

$N_{уст\ лето} = 800$ МВт.

Среднемноголетняя выработка $Э = 1932$ млн. кВт · ч.

На годовом графике среднемесячных нагрузок откладываем мощность проектируемой ГЭС, потом в соответствующие месяцы откладываем требования ВХК, так же откладываем среднемесячные мощности существующих ГЭС (рисунок 2.5).

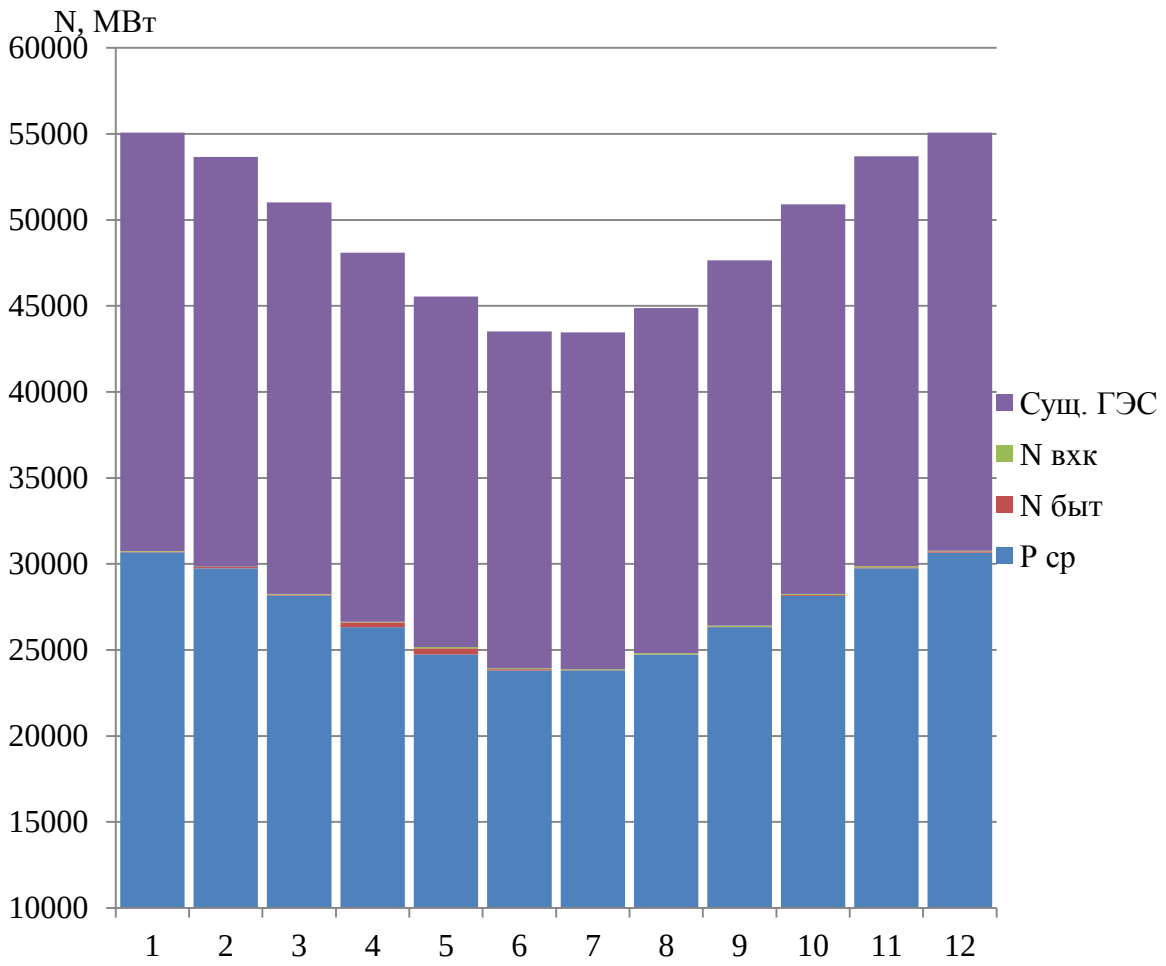


Рисунок 2.5-Баланс Энергий без регулирования

2.6 Расчет режима работы ГЭС без регулирования с учетом требований водохозяйственного комплекса

Для выбранного расчетного маловодного года и принятой обеспеченности вычисляем мощности на бытовом стоке для каждого месяца:

$$N_{\text{ГЭС}} = k_{\text{N}} \cdot Q_{\text{пр}} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв.}}. \qquad (2.16)$$

На следующем этапе рассчитываем мощность ГЭС в режиме работы по требованиям ВХК:

$$N_{\text{ВХК}} = k_{\text{N}} \cdot Q_{\text{ВХК}} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв.}}. \qquad (2.17)$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 2.6 и 2.7 соответственно.

Таблица 2.6 – Режим работы ГЭС по водотоку

Расчет бытовой мощности										
Месяц	Q быт, м3	Q фил, м3/с	Q исп, м3/с	Q льд, м3/с	Q пот, м3/с	Q гэс, м3	Q нб, м3	Z НБ, м	Н, м	N гэс, МВт
1	315	10	0	-12	-2	317	327	79	19	52
2	366	10	0	-10	0	366	376	79	19	60
3	385	10	0	-9	1	384	394	79	19	63
4	1917	10	0	-8	2	1915	1925	81	17	276
5	2261	10	90	56	156	2105	82	78	20	360
6	538	10	135	0	145	393	79	78	20	67
7	190	10	101	0	111	79	78	78	20	14
8	174	10	40	0	50	124	78	78	20	21
9	182	10	0	0	10	172	79	78	20	29
10	268	10	0	0	10	258	79	78	20	44
11	396	10	0	0	10	386	79	78	20	66
12	376	10	0	-13	-3	379	389	79	19	62
сумма										1115

Таблица 2.7 – Режим работы ГЭС по ВХК

Q, $м^3/с$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Требования ВХК	200	200	200	200	400	400	400	400	400	400	400	200
Потребление из водохранилища	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Фильтрация	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Испарение	-	-	-	-	90	135	101	40	-	-	-	-
Льдообразование	-12	-10	-9	-8	+56	-	-	-	-	-	-	-13
Шлюзование	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Расчеты режимов работы ГЭС с учетом требований ВХК занесены в таблицу 2.8.

Таблица 2.8- Расчет режимов работы ГЭС с учетом требований ВХК

Работа по ВХК				
Месяц	Q вкх,м3/с	Z НБ,м	Н, м	N гэс, МВт
1	200	79	20	34
2	200	79	20	34
3	200	79	20	34
4	200	79	20	34
5	400	79	19	65
6	400	79	19	65
7	400	79	19	65
8	400	79	19	65
9	400	79	19	65
10	400	79	19	65
11	400	79	19	65
12	200	79	20	34
сумма				624

Годовой график среднемесячных нагрузок с мощность проектируемой ГЭС на бытовом стоке показан на рисунке 2.6.

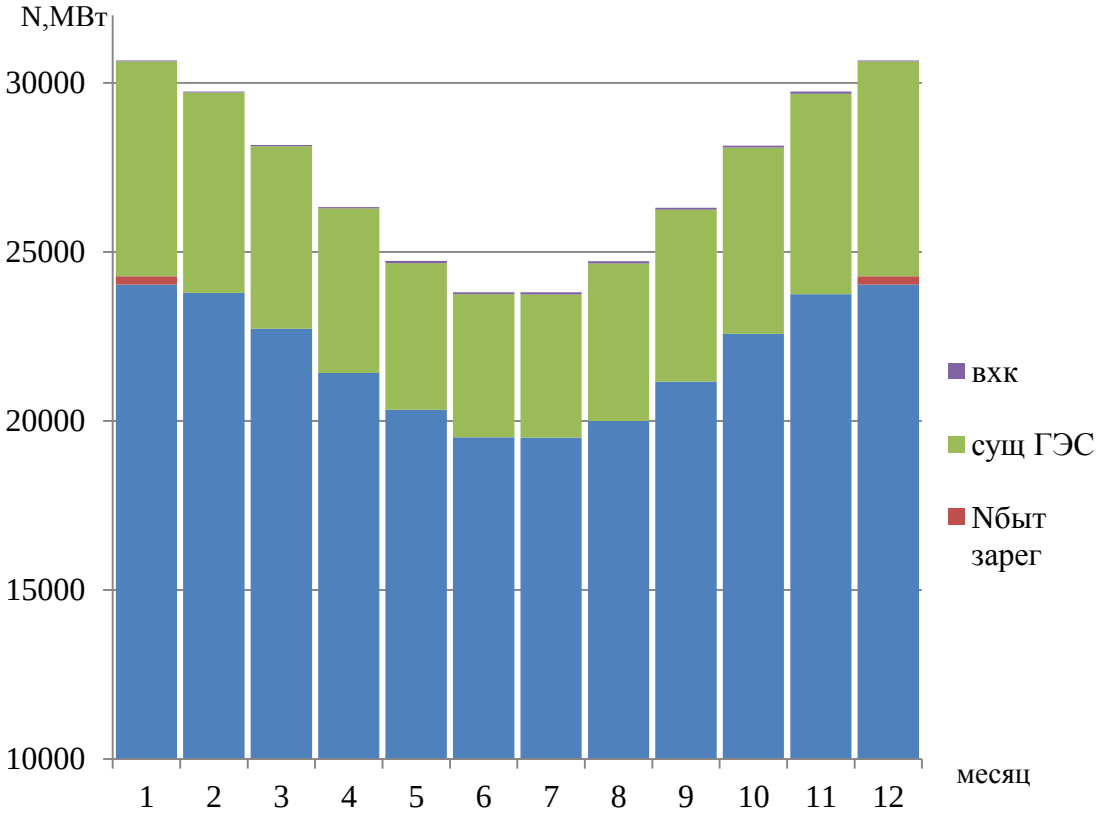


Рисунок 2.6 - Годовой график среднемесячных нагрузок с мощность проектируемой ГЭС на бытовом стоке

2.7 Водно–энергетические расчеты режима работы ГЭС в маловодном и средневодном годах

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

Для определения периода и глубины сработки водохранилища в расчетный маловодный год необходимо выполнить следующие условия:

- обязательно использовать всю полезную емкость водохранилища;
- обеспечить минимум холостых сбросов в средневодном году;
- диапазон колебаний напоров на ГЭС не должен превышать 30-40 $Н^{п}_{ГЭС}$.

Начало сработки водохранилища задается условием, при котором транзитная мощность гидростанции меньше требуемой по водохозяйственному

режиму или по режиму максимального вытеснения мощностей тепловых станций.

Конец периода сработки соответствует окончанию меженного периода в расчетных маловодных условиях.Результаты проведения расчетов сработки и наполнения водохранилища представлены в Приложении А, таблице А4.

Результатом сработки-наполнения маловодного года являются:

- гарантированная мощность января, декабря – $N_{\text{гар}} = 226$ (МВт);
- уровень мёртвого объёма – $\text{УМО} = 95$(м).

2.8 Водно-энергетические расчеты режима работы ГЭС в средневодном году

Водно-энергетические расчеты в средних по водности условиях проводятся для оценки среднемноголетней выработки энергии ГЭС. Критерием оценки работы ГЭС в году средней водности для начальных стадий проектирования принимается максимальная выработка электроэнергии при условии вытеснения тепловых мощностей, не меньших полученных при работе ГЭС в расчетных маловодных условиях. Расчеты сработки и наполнения водохранилища в средневодный год представлены в Приложении А, таблица А2. Также на рисунке 2.7 представлен график сработки и наполнения водохранилища за маловодный и средневодный года.

Объявляем среднемноголетнюю выработку:

$$1180927 \text{ МВт} \cdot \text{ч.} = 1180 \text{ млн. кВт} \cdot \text{ч.}$$

По данным таблиц с наилучшим вариантом способа сработки-наполнения водохранилища строим график изменения уровня ВБ в течении года (рисунок 2.7).

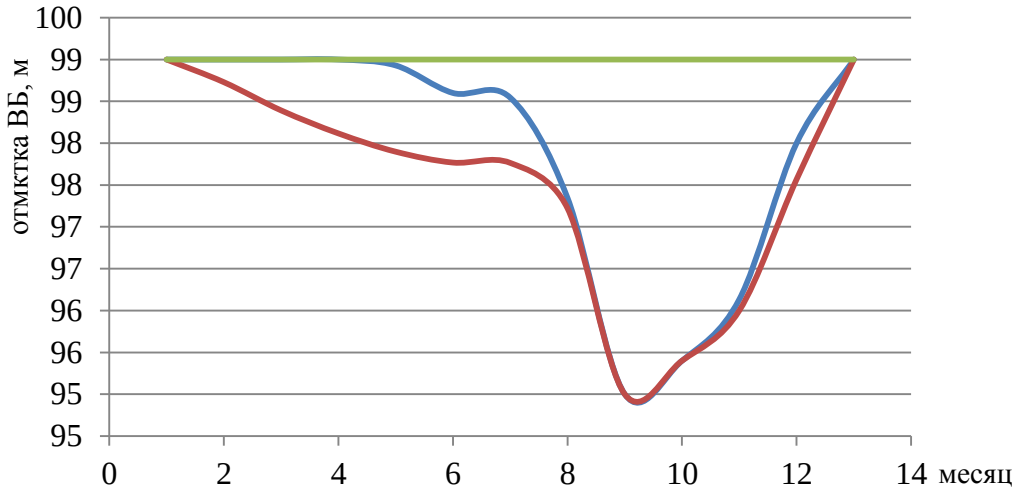


Рисунок 2.7 - График сработки и наполнения водохранилища в маловодный и средневодный год.

2.9 Определение установленной мощности ГЭС и планирование капитальных ремонтов

Аварийный резерв составляет 7%, нагрузочный 15%.

Необходимо распределить резервную мощность между всеми электростанциями и определить, требуется ли установка дополнительной мощности для капитальных ремонтов, если характер графика нагрузки не позволяет осуществить все ремонты оборудования за счет площади провала годового графика нагрузки.

Определяем нагрузочный и аварийный резерв существующих ГЭС (таблица 2.11):

$$N_{\text{рез}}^{\text{нагр}} = 0{,}015 \cdot P_t^{max}. \tag{2.18}$$

Нагрузочный резерв проектируемой ГЭС:

$$N_{\text{рез}}^{\text{нагр}} = 0{,}015 \cdot P_t^{max}. \tag{2.19}$$

Установленная мощность проектируемой ГЭС определяется как сумма ее максимальной рабочей мощности и резерва, отнесенного на эту станцию.

Максимальная вытесняющая рабочая мощность проектируемой станции за январь (декабрь) $N_{\text{выт.раб.}}^{\text{пр.ГЭС}} = 294$ МВт, нагрузочный резерв (формула 2.25), рассчитываем важнейший параметр проектируемой станции, ее установленную мощность:

$$N_{\text{уст}}^{\text{пр.ГЭС}} = N_{\text{выт.раб.}}^{\text{пр.ГЭС}} + N_{\text{рез}}^{\text{нагр}} = N_{\text{выт.раб.}}^{\text{пр.ГЭС}}. \tag{2.20}$$

Вытесняющая рабочая мощность ГЭС определяется из условия максимума вытеснения тепловых мощностей системы. $N_{\text{выт.раб.}}^{\text{пр.ГЭС}}$ определяется по первому или по двенадцатому месяцу.

Резерв станции принимаем 15%+7%=22% от рабочей мощности станции.

$$N_{\text{уст}}^{\text{пр.ГЭС}} = \left(\frac{22\%}{100}\right) + 294 = 291 \text{ МВт}. \tag{2.21}$$

Установленная мощность будет уточняться в процессе выбора оборудования, она может незначительно изменяться в большую сторону.

Рабочую мощность ТЭС определяем из условия полного покрытия графика нагрузки:

$$N_{\text{раб}}^{\text{ТЭС}} = P^{max} - N_{\text{раб}}^{\text{сущ.ГЭС}} - N_{\text{раб}}^{\text{пр.ГЭС}}, \tag{2.22}$$

где P^{max} – месячный максимум нагрузки;

$N_{раб}^{сущ.ГЭС}$,$N_{раб}^{пр.ГЭС}$– соответственно рабочие мощности существующих и проектируемой ГЭС;

Аварийный резерв ТЭС:

$$N_{рез}^{ав} = 0{,}07 \cdot P_t^{max}, \tag{2.23}$$

Установленная мощность ТЭС:

$$N_{уст}^{ТЭС} = N_{раб.}^{ТЭС} + N_{рез}^{ав}, \tag{2.24}$$

$$N_{уст}^{ТЭС} = 34999 \text{ МВт},$$

где $N_{раб.}^{ТЭС}$- рабочая мощность ТЭС в январе (декабре).

Далее необходимо посчитать капитальные ремонты оборудования.

Ремонт оборудования ГЭС осуществляется в те месяцы, когда оно не полностью используется в энергосистеме. Частота проведения – раз в 6лет.

Ремонтная площадь существующих ГЭС:

$$F_{рем}^{сущ.ГЭС} = \frac{N_{уст}^{сущ.ГЭС}}{6} = \frac{(1091)}{6} = 182 \left(\text{МВт} \cdot \frac{\text{мес}}{\text{год}}\right). \tag{2.25}$$

Ремонтная площадь проектируемой ГЭС.

$$F_{рем}^{пр.ГЭС} = \frac{N_{уст}^{пр.ГЭС}}{6} \cdot 2 = \frac{291}{6} = 71 \left(\text{МВт} \cdot \frac{\text{мес}}{\text{год}}\right). \tag{2.26}$$

Баланс мощности энергосистемы в маловодном году приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Баланс мощности энергосистемы в маловодном году

Месяц	Нагрузка системы			Существующая ГЭС				Проектируемая ГЭС				ТЭС		
	Pmax., МВт	Pав., МВт	Pнагр. МВт	Nраб., МВт	Nав. МВт	NнагМВт	Nрем., МВт	Nраб., МВт	Nав., МВт	Nрем., МВт	Nраб., МВт	Nав., МВт	Nнагр МВт	Nрем., м
1	33719	0	526	1091	76	16	-	272	19	-	32356	2265	485	-
2	32362	2265	485	1018	71	15	-	29	2	-	31315	2192	470	-
3	30507	2136	458	945	66	14	-	29	2	-	29533	2067	443	-
4	28652	2006	430	873	61	13	-	31	2	-	27748	1942	416	700
5	27293	1910	409	800	56	12	-	67	5	-	26426	1850	396	2130
6	26793	1876	402	727	51	11	-	70	5	-	25996	1820	390	2650
7	26793	1876	402	727	51	11	-	68	5	-	25998	1820	390	2650
8	27293	1911	409	800	56	12	-	67	5	-	26426	1850	396	2130

Окончание таблицы 2.9

9	28652	2006	430	873	61	13	182	66	5	71	27713	1940	416	700
10	30507	2135	458	945	66	14	-	66	5	-	29496	2065	442	-
11	32362	2265	485	1018	71	15	-	66	5	-	31278	2189	469	-
12	33719	2360	526	1091	76	16	-	272	19	-	32356	2265	485	-
Nуст					1184	1107	182	Nуст	291	71	-	Nуст	0	10960

2.10 Определение максимального расчетного расхода

Согласно СНиП 33-01-2003, проектируемая бетонная водосливная плотина имеет I класс гидротехнического сооружения. Сооружение данного класса должно быть рассчитано на пропуск половодья с расходом, ежегодная вероятность превышения которого составляет 0,1 % (СНиП 33-01-2003, основной расчётный случай). Размеры водосливных отверстий и их число определяется по данным поверочного расчетного случая, (пропуск половодья с расходом, ежегодная вероятность превышения которого составляет 0,01 %).

Расход воды заданной обеспеченностью найдем по формуле:

$$Q_{P\%} = (\varphi_{P\%} \cdot C_V + 1) \cdot Q_{ср.год}, \qquad (2.27)$$

где $\varphi_{P\%}$ - коэффициент отклонения ординат кривой обеспеченности среднеполоводных расходов от середины, определяемый в зависимости от коэффициента асимметрии C_S;

C_v - коэффициент вариации;

$Q_{ср.год}$ - среднее значение паводковых расходов.

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n}}, \qquad (2.28)$$

где K_i - модульный коэффициент, который определяется по формуле:

$$K_i = \frac{Q_{ср.i}}{Q_{ср.max}}. \qquad (2.29)$$

Коэффициент асимметрии определяется по формуле:

$$C_S = \frac{\sum (K_i - 1)^3}{n \cdot C_V^{\ 3}}; \qquad (2.30)$$

Среднеквадратическая ошибка коэффициента вариации :c_v = 0,35;

$$\delta_{c_v} = \pm\frac{\sqrt{1+3\cdot C_v^2}}{\sqrt{2\,(n-1)}}\cdot 100\,\%\,, \quad \delta_{c_v} = 11{,}7\%.. \tag{2.31}$$

δ_{c_s} = 23,7% - недопустимая ошибка;

Зная величины $Q_{ср}$=3752,2м^3/с, C_V=0,35, C_S=0,195 вычислим теоретическую кривую обеспеченности средних годовых расходов воды.

Данные для вычисления параметров кривой обеспеченности представлены в Приложении А (таблица А2).

Расход для 0,01 обеспеченности рассчитан с учетом гарантийной поправки $\Delta Q = 614$ м^3/с.

Результаты расчета представлены в таблице 2.10. Кривая обеспеченности представлена на рисунке 2.8.

Таблица 2.10 – Вычисление теоретической кривой обеспеченности средних годовых расходов воды

p,%	0.01	0.1	1	3	5	10	20	30	40	50
Ф	5.28	4.1	2.82	2.15	1.82	1.33	0.79	0.43	0.14	-0.12
M_S	1.83	1.42	0.98	0.75	0.63	0.46	0.27	0.15	0.05	-0.04
K_S	2.83	2.42	1.98	1.75	1.63	1.46	1.27	1.15	1.05	0.96
Q	10617	9083	7419	6548	6119	5481	4779	4311	3934	3596

Окончание таблицы 2.10

p,%	60	70	80	90	95	97	99	99.9
Ф	-0.36	-0.6	-0.85	-1.18	-1.42	-1.57	-1.81	-2.14
M_S	-0.12	-0.21	-0.29	-0.41	-0.49	-0.54	-0.63	-0.74
K_S	0.88	0.79	0.71	0.59	0.51	0.46	0.37	0.26
Q	3284	2972	2647	2218	1906	1711	1399	970

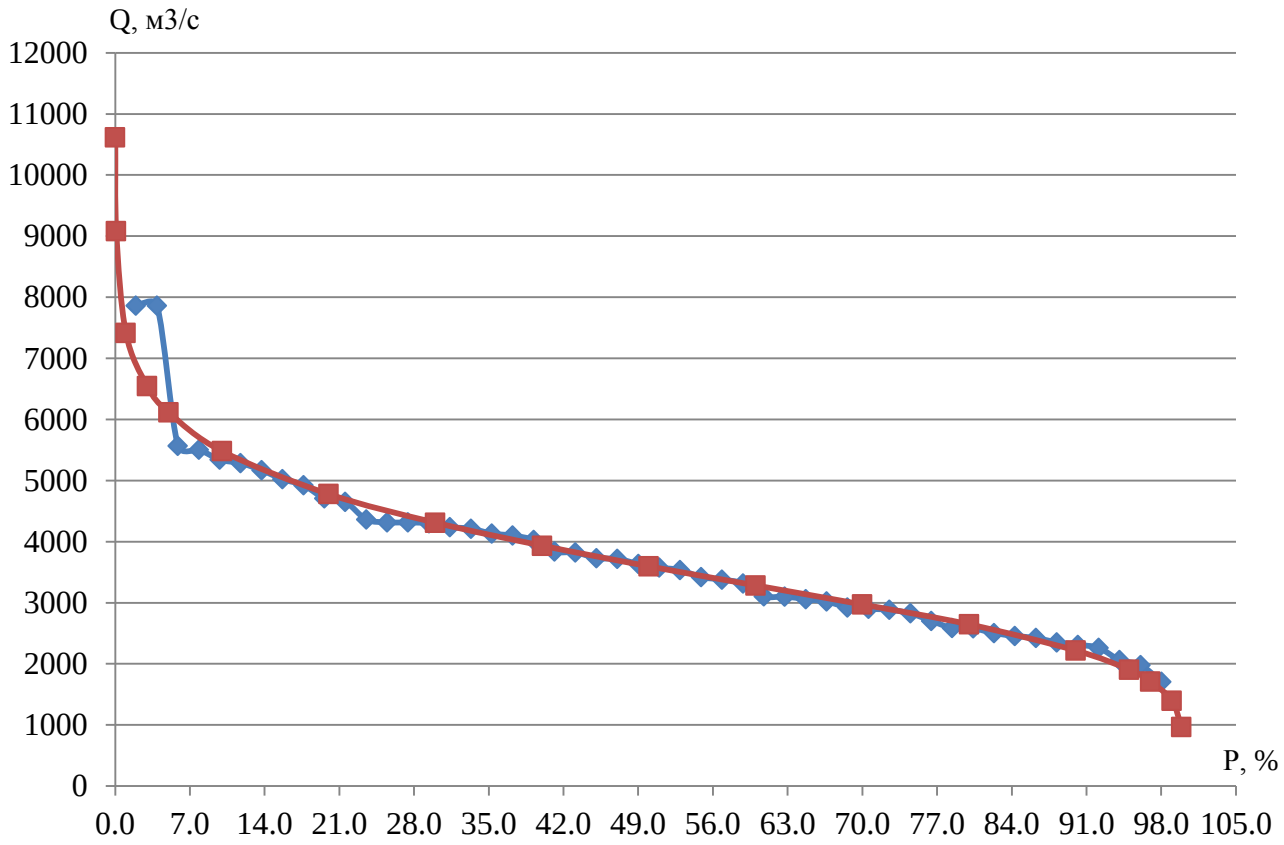


Рисунок 2.8 – Теоретическая кривая обеспеченности

3 Выбор основного и вспомогательного оборудования

Задача выбора основного энергетического оборудования, состоит в определении его типов и параметров, которые при заданной исходной информации, выполнении всех требуемых ограничений, обеспечивали бы развитие энергосистемы за счёт проектируемой ГЭС с минимальными затратами на строительство и максимальной прибылью при эксплуатации.

3.1 Построение режимного поля

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

Верхней границей режимного поля является напорная характеристика при работе ГЭС с водохранилищем, наполненным до отметки НПУ, нижней - при работе ГЭС с водохранилищем, сработанным до отметки УМО. Построение этих характеристик выполняется по следующему уравнению:

$$H_{ГЭС}(Q_{ГЭС}) = z_{ВБ}(V_{сраб}) - z_{НБ}(Q_{НБ}) - \Delta h, \qquad (3.1)$$

где $z_{ВБ}(V_{сраб})$ – отметка уровня воды в водохранилище, которая изменяется в зависимости от объема сработки $V_{сраб}$ от НПУ до УМО;

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

Δh – потери напора в водопроводящих сооружениях.

Ограничение слева, на режимном поле является минимальный расход воды, определяемый заданным ограничением по условиям функционирования водохозяйственного комплекса, который составляет Q_{min} = 200 м^3/с .

Ограничение по расчетной установленной мощности определяем по уравнению:

$$N_{уст.расч} = k_N \cdot H_{ГЭС} \cdot Q_{ГЭС}, \qquad (3.2)$$

где k_N - коэффициент мощности (k_N = 8,6);

Ограничение по пропускной способности ГЭС, которую до выбора турбинного оборудования строим по зависимости:

$$Q_{ГЭС} = \frac{Q_{ГЭС}^{max} \cdot \sqrt{H_{ГЭС}}}{\sqrt{H_{расч}^{N}}}, \qquad (3.3)$$

где $Q_{ГЭС}^{max}$– максимальная пропускная способность ГЭС, при расчетном напоре $H_р = 12{,}9$ м;

Результаты расчета представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчета режимного поля проектируемой ГЭС

Кривые связи НБ для зимних и летних условий		Напорные характеристики			По расчетной установленной мощности		По пропускной способности	
Q лето, м3/с	Zнб, м	Н нпу, м	Н умо, м	Нр, м	Н, м	Q, м3/с	Н, м	Q, м3/с
0	78	20.2	16.2	17.2	20.2	1675.1	12.9	2619
447	79.5	18.7	14.7	15.7	19.7	1719.4	12.4	2566
895	80.3	17.9	13.9	14.9	19.2	1766.0	11.9	2511
1342	81	17.2	13.2	14.2	18.6	1815.3	11.4	2456
1789	81.5	16.7	12.7	13.7	18.1	1867.4	10.8	2399
2237	81.9	16.3	12.3	13.3	17.6	1922.6	10.3	2341
2684	82.3	15.9	11.9	12.9	17.1	1981.1	9.8	2281
3131	82.6	15.6	11.6	12.6	16.6	2043.3	9.3	2220
3578	82.9	15.3	11.3	12.3	16.0	2109.6	8.8	2157
4026	83.1	15.1	11.1	12.1	15.5	2180.2	8.2	2092
4473	83.4	14.8	10.8	11.8	15.0	2255.8	7.7	2024
4920	83.6	14.6	10.6	11.6	14.5	2336.8	7.2	1955
5368	83.8	14.4	10.4	11.4	14.0	2423.9	6.7	1883
5815	84	14.2	10.2	11.2	13.4	2517.6	6.2	1808
6262	84.1	14.1	10.1	11.1	12.9	2619.0	5.6	1730

По полученным значениям строим режимное поле с учетом ограничений по мощности и пропускной способности (рисунок 3.1).

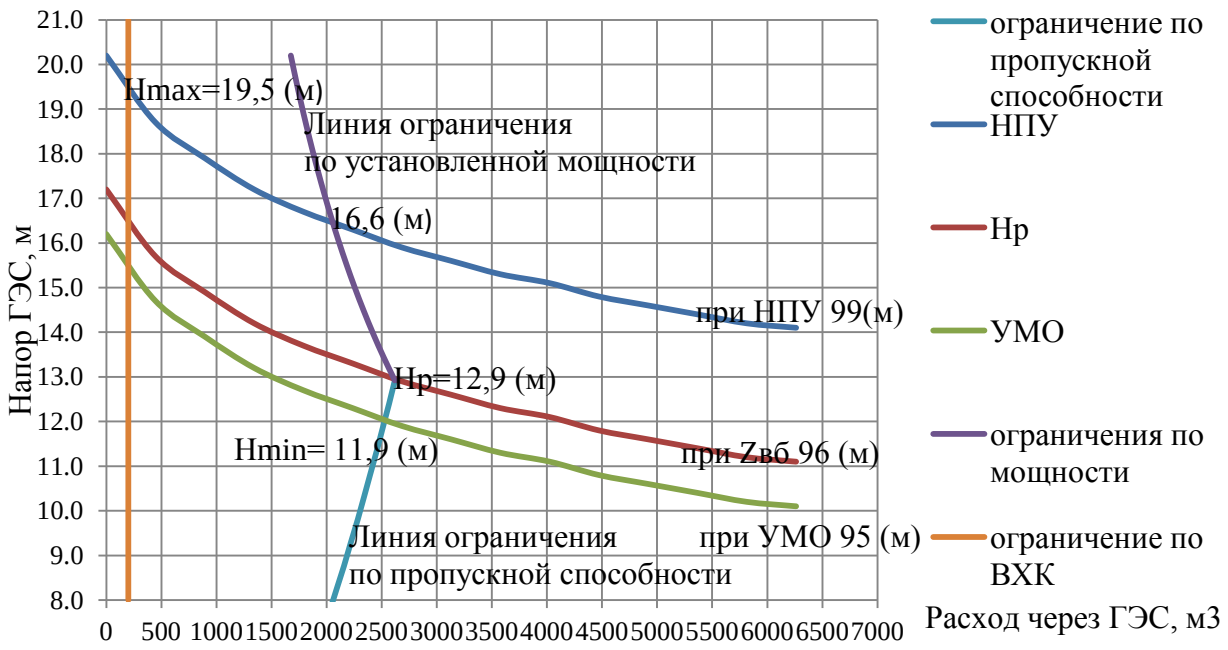


Рисунок 3.1- Режимное поле Ярославской ГЭС по напору и расходу

По режимному полю определяем следующие параметры:
– расчетный напор $H_р = 12{,}9$ м;
– минимальный напор $H_{min} = 11{,}9$ м;
– максимальный напор $H_{max} = 19{,}5$ м.

3.2 Выбор турбин по главным универсальным характеристикам

Гидротурбины выбираем, исходя из величины максимального напора на станции и отношения минимального напора к предельному напору турбины. При этом если это отношение выбранной турбины больше, значит, данный тип турбины не подходит. Выбираем по основным параметрам модельных реактивных турбин, приложение Б (рисунок Б1).

Диапазону напоров соответствует ПЛ20-В со следующими параметрами, представленными в таблице 3.2.

Таблица 3.2-Параметры турбинного оборудования

Параметр		турбина ПЛ20-В
Максимальный напор, м	$H_{пред}$	20
Диапазон регулирования	H_{min}/H_{max}	0,50
Оптимальная приведенная частота вращения	n'_{1o}, мин$^{-1}$	146
Оптимальный КПД модели	$\eta_{мо}$	0,920
Приведенный максимальный расход	Q'_{1max}, л/с	2000
Коэффициент кавитации	σ при Q'_{1max}	1
Приведенный диаметр РК	$D'_{1м}$, м	0,5
Напор модельной турбины	$H_м$, м	10
Коэффициент вязкости	$\nu_{мод}$	1,01

Для более обоснованного выбора параметров гидротурбины выполняем расчеты для ряда стандартных диаметров для каждого типа турбин.

КПД натурной турбины η_T:

$$\eta_т = 1 - (1 - \eta_м)\left((1 - \varepsilon) + \varepsilon \cdot \sqrt[5]{\frac{D_{1м}}{D_1}}\sqrt[10]{\frac{H_м}{H_р^N}}\sqrt[5]{\frac{\nu_н}{\nu_м}}\right), \quad (3.4)$$

где $\eta_м, D_{1м}, H_м$ – КПД, диаметр и напор модельной турбины;

$D_1, H_р^N$ – диаметр и расчетный напор натурной турбины;

$\nu_м, \nu_н$ – коэффициенты кинематической вязкости воды для натурной и модельной турбины соответственно, зависящие от температуры воды для натурных и модельных условий $t_н$ и $t_м$ (таблица 3.2);

ε – коэффициент, выражающий отношение потерь трения ко всем гидравлическим потерям (для поворотно-лопастных гидротурбин $\varepsilon = 0{,}75$).

Мощность одного агрегата:

$$N_a = 9{,}81 Q'_{1p} D_1^2 H_p^N \sqrt{H_p^N} \eta_т \eta_г^{ср}, \quad (3.5)$$

где Q'_{1p}– приведенный расход в расчетной точке;

$\eta_г^{ср}$ – средний КПД генератора (предварительно принимаем $\eta_г = 0{,}97$).

Число устанавливаемых на ГЭС агрегатов:

$$Z'_a = \frac{N_{гэс}^{уст}}{N_a}, \quad (3.6)$$

где $N_{гэс}^{уст} = 291$ МВт – расчетная установленная мощность.

Рассчитанное число агрегатов Z'_a округляется в большую сторону Z_a. Рекомендуется принимать кратное 2 или 3 для того, чтобы главная схема электрических соединений была симметричной.

После чего уточняется мощность агрегата:

$$N_a = \frac{N_{уст}}{Z_a}. \quad (3.7)$$

Частота вращения турбины:

$$n = n'_{I\,р} \cdot \frac{\sqrt{H_р \cdot \Delta}}{D_1}, \quad (3.8)$$

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

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

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

Для выбранного максимального диаметра турбины и стандартного значения синхронной частоты вращения необходимо нанести на главную универсальную характеристику линии приведённой частоты вращения, соответствующие известным напорам турбины H_{max}, $H_р$ и H_{min}, предварительно вычислив три значения приведенной частоты вращения:

$$n'_I = \frac{n_с \cdot D_1}{\sqrt{H \cdot \Delta}}, \quad (3.9)$$

где $n_с$ – стандартное значение синхронной частоты вращения;

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

Произведение приведённого расхода в расчётной точке на КПД:

$$Q'_I \cdot \eta_{\text{Т}} = \frac{N_{\text{а}}}{9{,}81 \cdot D_1^2 \cdot H_{\text{р}}^{1,5} \cdot \eta_{\text{г ср}}}. \quad (3.10)$$

Левая часть уравнения определяется подбором такой точки на линии $n'_{I\,\text{р}}$, чтобы произведение $Q'_I \cdot \eta_{\text{Т}}$ в этой точке обеспечивало выполнение указанного равенства. Необходимо сделать перерасчёт режимного поля на координаты универсальной характеристики.

Приведённый расход:

$$Q'_I = \frac{Q_{min}}{D_1^2 \cdot \sqrt{H \cdot \Delta}}, \quad (3.11)$$

где Q_{min} – минимальный расход через станцию.

Так как напор на станции по универсальной характеристике является величиной не постоянной, значит, линия ограничения по минимальному расходу не будет вертикальной.

Правая граница пересчитанного режимного поля состоит из двух линий. Верхняя линия проводится параллельно линиям открытия направляющего аппарата. Нижняя линия строится по двум точкам, одна из которой – расчётная точка, а другая – точка, определённая по формуле (3.11), подстановкой в формулу не расчётного напора, а максимального.

Рассчитанные по формулам величины для разных диаметров натурных турбин сводим в таблицу 3.3.

Произведения $Q'_I \cdot \eta_{\text{Т}}$, в таблице 3.3, представлены для удобства определения их на универсальных характеристиках.

Таблица 3.3- Ряд стандартных диаметров рабочего колеса

D_1, мм.

1000	1250	1400	1600	1800	1900	2000	2120	2240
2360	2500	2650	2800	3000	3150	3350	3550	3750
4000	4250	4500	4750	5000	5300	5600	6000	6300
6700	7100	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10600

Выбор подходящего типа гидротурбин производим в следующем порядке. В первую очередь отсеиваем типы турбины, левая граница режимного поля которых выходит за пределы универсальной характеристики или находится в непосредственной близости к оптимуму или за ним.

Прикидываем положение расчётной точки, и отсеиваем гидротурбины, в которых она левее или очень близко к оптимуму. Далее отсеиваем турбины, у которых в промежутке между максимальными и минимальными приведёнными

оборотами оптимум находится слишком близко к линии максимальных оборотов (из условия, что турбина должна работать с наибольшим КПД в диапазоне напоров от максимального до расчётного).

Полученные величины D_1^* для каждого типа турбин округлим до ближайшего стандартного значения в соответствии с данными таблицы 3.4.

Таблица 3.4-Расчитаные величины для диаметров натурной турбины

ПЛ-20В								
D1	6	6.3	7.1	7.5	8	8.5	9	10
КПД т	0.942	0.943	0.944	0.944	0.945	0.945	0.945	0.946
Na*, МВт	27.39	30.21	38.40	42.87	48.80	55.12	61.82	76.37
Za*	10.6	9.6	7.58	6.79	5.96	5.28	4.71	3.81
Za	12	10	8	8	6	6	6	4
Na, МВт	24	29	36	36	49	48.5	49	73
дельта Р	1.096	1.096	1.097	1.098	1.098	1.099	1.099	1.100
nc*, об/мин	95.8	91.3	81.0	99.0	72.0	67.8	64.1	57.7
nc, об/мин	96.8	93.8	81.1	100.0	75.0	71.4	65.2	60.0
n'1 min	125.6	127.7	124.4	162.1	130,0	131.1	126.8	129.5
n'1 p	154.4	157.1	153.0	199.3	159.4	161.2	155.9	159.3
n'1 max	160.8	163.5	159.3	207.5	166.0	167.8	162.3	165.8
Q'1·КПД т от Hp (n'1 p)	1.544	1.680	1.654	1.482	1.737	1.438	1.372	1.667
Q'1·КПД т от Hmax (n'1 min)	0.831	0.904	0.890	0.797	0.934	0.828	0.738	0.897
Qmin для Hmax (n'min)	1.202	1.090	0.858	0.768	0.675	0.598	0.533	0.432
Qmin для Hmin (n'max)	1.538	1.395	1.098	0.984	0.864	0.766	0.683	0.553

Из анализа таблицы 3.4 и области работы турбин на ГУХ (Приложение Б, рисунок Б2, Б3), нам подходят гидротурбины ПЛ 20-В диаметром $D_1 = 8{,}0$ (м), ПЛ 20-В диаметром $D_1 = 8{,}5$ (м), ПЛ 20-В диаметром $D_1 = 9{,}0$ (м), ПЛ 20-В диаметром $D_1 = 10{,}0$ (м). Турбина с диаметром $D_1 = 8{,}0$ (м), точкой оптимума, данный диаметр не рассматриваем. Турбина с диаметром $D_1 = 8{,}5$ (м), проходит, точка оптимума попадает в зону работы турбины. Турбина с диаметром $D_1 = 9{,}0$ (м), минимальная частота вращения находится вне зоны ГУХ, составляет 126,8 об/мин, а на ГУХ частота вращения начинается с 130 об/мин. Турбина с диаметром $D_1 = 10{,}0$ (м), не проходит по $Q_{\text{вхк}}$.

Анализируя полученные варианты параметров данной турбины, принимаем ПЛ20-В-850 с диаметром рабочего колеса D_1=8,5 м, количество агрегатов принимаем Z_a = 6, синхронная частота вращения n_c = 71,4 об/мин. (Приложение Б, рисунок Б3).

3.3 Гидротурбины и их проточная часть

3.3.1 Определение заглубления рабочего колеса гидротурбины

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

Расчетное значение высоты отсасывания определяется наиболее неблагоприятным с точки зрения кавитации режимом работы гидротурбинного оборудования. Полное представление о таких режимах дает кавитационная характеристика, которая представляет собой совмещение кривой связи нижнего бьефа и характеристики $H_S(Q_{НБ})$ при различном числе работающего агрегата ГЭС.

$$Q_{max} = Q' \cdot z \cdot D^2 \cdot \sqrt{\Delta p \cdot H} = 0{,}9 \cdot 8{,}5^2 \cdot \sqrt{1{,}099 \cdot 19{,}5} = 301{,}02 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_p = 1{,}61 \cdot 8{,}5^2 \cdot \sqrt{1{,}099 \cdot 12{,}9} = 437{,}9 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_{min} = 1{,}56 \cdot 8{,}5^2 \cdot \sqrt{1{,}099 \cdot 11{,}9} = 407{,}6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Высота направляющего аппарата натурной турбины:

$$b_0 = 0{,}4 \cdot D_1 = 0{,}4 \cdot 8{,}5 = 3{,}4 \text{ м}, \quad (3.12)$$

где D_1 – диаметр рабочего колеса натурной гидротурбины.

Высота отсасывания:

$$H_S = B - \frac{Z_{НБ}(Q_{НБ})}{900} - \sigma \cdot H + Z_{Х.ПЛ.} - 1{,}5, \quad (3.13)$$

где $B = 10$ м – барометрическое давление;

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

k_σ – коэффициент запаса по кавитации при переходе от модельной гидротурбины к натурной из выражения ($k_\sigma = 1{,}1$);

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

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

$Z_{Х.ПЛ.}$ – разность высотных отметок двух характерных плоскостей модельной и натурной турбин, выражение (для поворотно-лопастных гидротурбин $Z_{Х.ПЛ.} = 0$).

Пересчитана точка пересечения напорной характеристики при НПУ и линии ограничения по пропускной способности в координаты главной универсальной характеристики, используя формулу (3.14):

$$n'_I = \frac{71{,}4 \cdot 8{,}5}{\sqrt{19{,}5 \cdot 1{,}081}} = 131{,}1 \text{ мин}^{-1}. \quad (3.14)$$

На главной универсальной характеристике (Приложение Б, рисунок Б3) находим точку пересечения горизонтальной прямой, соответствующей найденной частоте, и линии ограничения по генератору.

Для этой точки (точка 1):

$$\sigma = 0{,}335, \tag{3.15}$$

$$Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}) = 79{,}0 \text{ м}. \tag{3.16}$$

Пользуясь формулой (3.17) определяется высота отсасывания:

$$H_S = 10 - \frac{79{,}0}{900} - 0{,}335 \cdot 19{,}5 - 1{,}5 = 1{,}88 \text{ м}. \tag{3.17}$$

Пересчитывается точка в координаты главной универсальной характеристики для расчетного значения напора и максимального расхода, при этом используется формула (3.18):

$$n'_I = \frac{71{,}4 \cdot 8{,}5}{\sqrt{11{,}9 \cdot 1{,}81}} = 167{,}83 \text{ мин}^{-1}. \tag{3.18}$$

На главной универсальной характеристике находим точку пересечения горизонтальной прямой, соответствующей найденной частоте, и линии ограничения по генератору. Для этой точки (точка 2):

$$\sigma = 0{,}65, \tag{3.19}$$

$$Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}) = 79{,}3 \text{ м}. \tag{3.20}$$

Пользуясь формулой (3.21) определяется высота отсасывания:

$$H_S = 10 - \frac{79{,}3}{900} - 0{,}65 \cdot 11{,}9 - 1{,}5 = 0{,}67 \text{ м}. \tag{3.21}$$

Данный режим соответствует на режимном поле расчётной точке.

Пересчитывается третью точка в координаты главной универсальной характеристики:

$$n'_I = \frac{71{,}4 \cdot 8{,}5}{\sqrt{12{,}9 \cdot 1{,}081}} = 161{,}2 \text{ мин}^{-1}. \tag{3.22}$$

На главной универсальной находим точку пересечения горизонтальной прямой, соответствующей найденной частоте, и линии ограничения по генератору, для этой точки:

$$\sigma = 0{,}675, \tag{3.23}$$

$$Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}) = 79{,}4. \tag{3.24}$$

Высота отсасывания:

$$H_S = 10 - \frac{79{,}4}{900} - 0{,}675 \cdot 12{,}9 - 1{,}5 = -0{,}3 \text{ м.} \quad (3.25)$$

Высота обеспечения выбирается из рассчитанных таким образом, чтобы обеспечить бескавитационную работу во всех режимах:

$$H_S = -0{,}3 \text{ м.} \quad (3.26)$$

Результаты расчета высоты отсасывания гидротурбины занесены в таблицу 3.5.

Таблица 3.5-Результаты расчета высоты отсасывания гидротурбины

Результаты расчёта							
тип турбины	D1, м	Za, шт	nc, об/мин	N агр, МВт	Hs1, м	Hs2, м	Hs3, м
ПЛ 20-В	8,5	6	71,4	291	1,88	0,67	-0,3

3.3.2 Определение геометрических размеров проточной части

По чертежу проточной части (Приложение Б, рисунок Б4) модельной гидротурбины определяются основные геометрические размеры гидротурбины.

По полученным данным строится бетонная спиральная камера изображенная на рисунке 3.2.

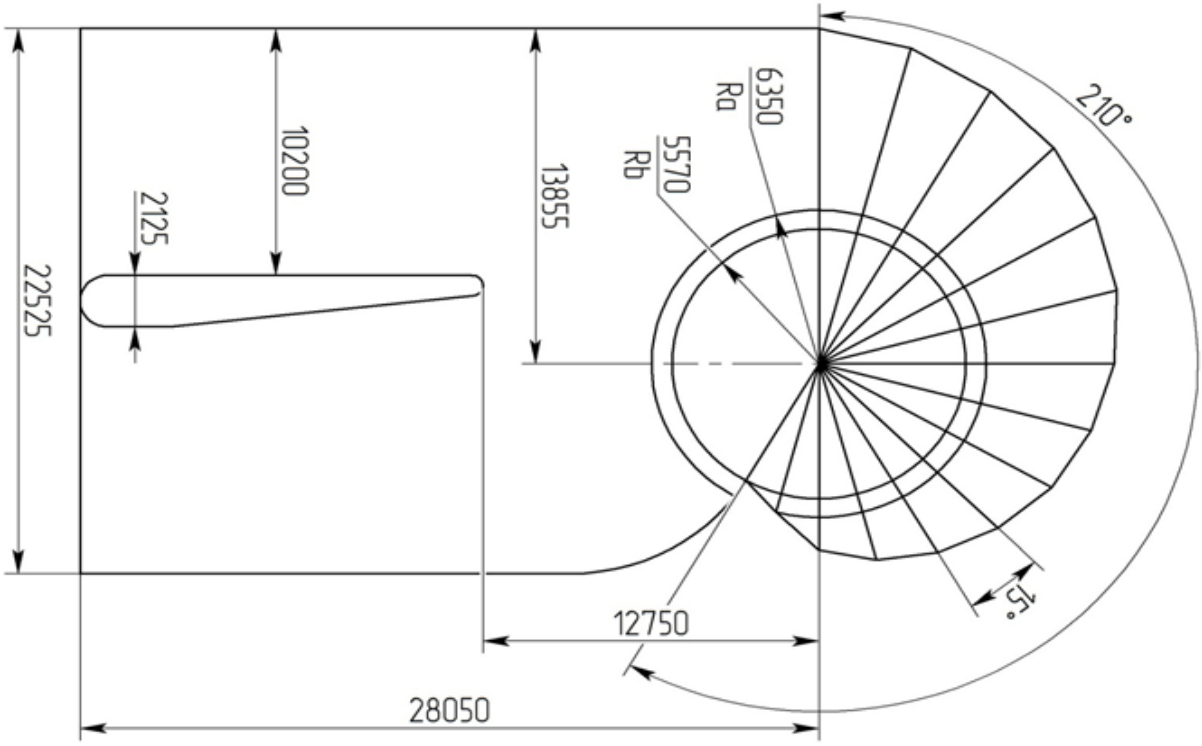


Рисунок 3.2 – План спиральной камеры гидротурбины ПЛ20-В-850

3.4 Выбор гидрогенератора

Гидрогенератор подбирается по справочным данным серийных типов по расчетному значению его номинальной мощности и синхронной частоте вращения.

В результате расчета был выбран тип генератора СВ-1100/40-84 с мощностью $S_{\text{ном}} = 53{,}8$ МВ · А.

3.5 Выбор типа и габаритных размеров маслонапорной установки

Наиболее крупными элементами по габаритам системы регулирования гидротурбин является маслонапорная установка (МНУ), размещение которой должно быть предусмотрено при проектировании строительной части здания ГЭС.

Габаритные размеры МНУ определяются объемом масловоздушного котла, зависящего от суммарного объема сервомоторов, обслуживаемых одной МНУ.

По номограмме [7] определяется тип маслонапорной установки:
МНУ 16/1 – 40-20-3.

Маслонапорная установка с гидроаккумулятором ГА 16/1-40 вместимостью 16 м^3, состоящим из двух сосудов на давление 4 МПа=40 кгс/см^2.

В результате расчета приняли ЭГРК-150-5.

3.5.1 Выбор кранов

В машинном зале для монтажа и демонтажа основного гидросилового оборудования принимаем к установке 2 полукозловых крана КП-110. В качестве подъёмного механизма для плоских затворов отсасывающей трубы принимаем козловой кран ККС-40 т, а для подъема сороудерживающих решёток, затворов турбинных водоводов принимаем козловой кран ККС-140т.

3.6 Расчеты для определения параметров машинного зала

Русловая компоновка. Все бетонные сооружения (здания ГЭС, водосливная часть плотины) располагаются в естественном русле реки.

Ширина одного блока:

$$\text{В}_{\text{бл}} = (2{,}7 \div 3) \cdot d = 8{,}5 \cdot 3 = 25{,}5 \text{ м}, \quad . \qquad (3.27)$$

$\text{М} = 1{,}3 \cdot 25{,}5 = 33{,}15$ м - монтажная площадка.

Длина здания ГЭС:

$$L = 25{,}5 \cdot 6 + 33{,}15 \approx 186 \text{ м}. \qquad (3.28)$$

Ширина монтажной площадки:

$$L_{\text{мп}} = B_{\text{бл}} = 25{,}5 \text{ м.} \tag{3.29}$$

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

Высота машинного зала:

$$H'_{\text{мз}} = 121{,}0 - 93{,}3 = 27{,}7 \text{ м,} \tag{3.30}$$

где ∇ 121,0 – отметка крыши машинного зала;

∇ 93,9 – отметка пола машинного зала.

4 Компоновка и сооружения гидроузла

4.1 Компоновка гидроузла

Сооружения Ярославского гидроузла размещаются в суженной части долины левого берега. Левый борт пологий. Длина створа 2 км. Для данных геологических условий будет целесообразным строительство гидроузла русловой компоновки.

В состав сооружения входят:

1) водосбросная плотина гравитационного типа;
2) здание ГЭС руслового типа;
3) глухая грунтовая плотина со стороны левого и правого берегов;
4) проектирование судоходного шлюза в правом берегу;

Конструктивные профили плотины определяются гидравлическими, статическими и фильтрационными расчетами.

4.2 Проектирование бетонной водосливной плотины

На начальном этапе проектирования, выбрав тип плотины, определяем положение гребня плотин и ширину водосливного фронта. На последующих стадиях конструируют профиль водослива, проектируем устройства нижнего бьефа; конструируем подземную часть плотины, её быки и устои, выбираем типовое или проектируют индивидуальное гидромеханическое оборудование.

4.2.1 Определение ширины водосливного фронта, числа и размеров водосливных отверстий

Число и размеры водосливных отверстий определяют, исходя из условия пропуска расхода воды основного расчетного случая. Пропуск расхода при основном расчетном случае должен обеспечиваться, как правило, при НПУ через все эксплуатационные водопропускные сооружения гидроузла при полном их открытии. Количество агрегатов, участвующих в пропуске расчетных расходов, определяется количеством агрегатов ГЭС.

Определяем расчетный расход для основного расчетного случая:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{осн.}max} - Q_{\text{ГА}}(n-1), \tag{4.1}$$

где $Q_{\text{осн.}max}$– расчетный максимальный расход для основного случая;

(n-1) – количество агрегатов, участвующих при пропуске расчетного расхода[2];

$Q_{\text{ГА}}$- расход через один гидроагрегат.

$$Q_{\text{р}} = 9083 - 289 \cdot (6-1) = 7638 \text{ м3/с}. \tag{4.2}$$

Определяем удельный расход на рисберме:

$$q_{\text{р}} = [vh] \cdot h_{\text{нб}} = 3{,}5 \cdot 7 = 24{,}5 \text{ м}^2/\text{с}, \quad (4.3)$$

где $[v_h]$- допустимая неразмывающая скорость на рисберме, принимается в зависимости от грунтов, слагающих дно реки (для глины $[v_h]$=3,5м/с);

$h_{\text{нб}}$– глубина воды в НБ при Q осн.max(определяется по кривой связи ∇НБ= $f(Q_{\text{НБ}})$).

$$h_{\text{нб}} = \nabla\text{УНБ} - \nabla \text{ дна}, \quad (4.4)$$

$$h_{\text{нб}} = 85 - 78 = 7 \text{ м}.$$

Определяем удельный расход на водосливе:

$$q_{\text{в}} = 1{,}25 \cdot q_{\text{в}}, \quad (4.5)$$

$$q_{\text{в}} = 1{,}25 \cdot 24{,}5 = 30{,}6 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Определяем ширину водосливного фронта:

Ширина водосливного фронта B должна быть целым числом, поэтому полученное значение округляют в большую сторону.

$$B = \frac{Q_{\text{р}}}{q_{\text{в}}} = \frac{7638}{30{,}6} = 249{,}4 \text{ м} \approx 250\text{м}. \quad (4.6)$$

Полученная ширина должна удовлетворять условию $B = \text{в}_{\text{ст}} \cdot n$

Стандартную ширину пролета $\text{в}_{\text{ст}}$ принимают в соответствии с техническим регламентом заводов-изготовителей гидромеханического оборудования таблица 4.1.

Таблица 4.1-Стандартный ряд ширины пролета водосливной плотины:

8	9	10	12	14	16	18	20	24	30

При $\text{в}_{\text{ст}}$ =20м, принимаем тогда число пролётов:

$$n = 250/20 = 12{,}5 \approx 13.$$

Фактическая ширина водосливного фронта:

$$B = \text{в}_{\text{ст}} \cdot n = 20 * 13 = 260 \text{ м}.$$

При количестве пролетов более шести следует учитывать вероятную невозможность открытия одного затвора и исключать один пролет из расчета.

По этой причине, необходимо добавить еще один пролёт, тогда ширина водосливного фронта плотины будет (В + в).

4.2.2 Определение отметки гребня водослива

Рассчитываем криволинейный безвакуумный водослив практического профиля. Методом последовательных приближений определяем напор на гребне водослива сначала без учета сжатия и подтопления (H_{01}), а затем с их учетом (H_{02}).

Определяем полный напор на водосливе (с учетом скорости подхода) без учета сжатия:

$$H_{01} = \left(\frac{Q_{\text{р}}}{mB\sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \tag{4.7}$$

где m – коэффициент расхода водослива, принимается в зависимости от типа водослива. Примем коэффициент расхода m=0.49 как для практического профиля типа А.

$$H_{01} = \left(\frac{7638}{0{,}49 \cdot 260 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81}} \right)^{2/3} = 5{,}6 \text{ м.}$$

Определяем напор на водосливе с учетом бокового сжатия:

$$H_{02} = \left(\frac{Q_{\text{р}}}{m\xi\sigma_n B\sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \tag{4.8}$$

где ε –коэффициент бокового сжатия, зависящий от условий входа;

$\sigma_{\text{п}}$- коэффициент подтопления(считаем ,что водослив не подтопленный, то есть $\sigma_{\text{п}}$=1).

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2\,\frac{\xi\text{у} + (n-1)\,\xi_{\text{б}}}{n} \cdot \frac{H_{01}}{\text{в}}, \tag{4.9}$$

где $\xi_{\text{у}}$- коэффициент формы устоев, учитывает закругление их вертикальных ребер ($\xi_{\text{у}}$- =0,7);

$\xi_{\text{б}}$- коэффициент формы быка в плане (для быка закругленной формы $\xi_{\text{б}}$= 0,45).

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2\,\frac{0{,}7 + (13-1) \cdot 0{,}45}{13} \cdot \frac{5{,}6}{20} = 0{,}973,$$

$$H_{02} = \frac{7638}{0{,}49 \cdot 0{,}973 \cdot 1 \cdot 260\sqrt{2 \cdot 9{,}81}}^{2/3} = 5{,}8 \text{ м.}$$

Определяем напор на гребне водослива без учета скорости подхода потока в водосливу V_0:

$$H = H_{02} - \frac{\alpha V_0^2}{2g}, \quad (4.10)$$

где α- коэффициент Кориолиса $\alpha = 1{,}1$.

$$V_o = \frac{Q_p}{\omega_{\text{нпу}}}, \quad (4.11)$$

$$\omega_{\text{нпу}} = (\nabla \text{НПУ} - \nabla \text{дна}) \cdot [\text{В} + \text{в} + (n-1) * \delta_б], \quad (4.12)$$

где $\delta_б$ – толщина быка.

По рекомендации Березинского А.Р. ширина неразрезного быка:

$$d = 0{,}20b = 0.20 \cdot 20 = 4 \text{ м.} \quad (4.13)$$

С учетом разрезки по быку его толщина увеличивается на 0,5-1,0 м.
Тогда ширина разрезного быка будет равна:

$$\delta_б = d + 1 = 4 + 1 = 5 \text{ м,}$$

$$\omega_{\text{нпу}} = (99 - 78) \cdot (260 + 20 + (14 - 1) \cdot 5) = 7245 \text{ м}^2/\text{с,}$$

$$V_o = \frac{7638}{7245} = 1{,}05 \text{ м/с.}$$

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

$$H = 5{,}8 - \frac{1{,}1 \cdot 1{,}05^2}{2 \cdot 9{,}81} = 5{,}74 \text{ м.}$$

Стандартные напоры приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2-Стандартные напоры

4	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	14,0

Принимаем ближайший к стандартному напору, $H_{ст} = 6$ м.

Определяем отметку гребня водослива:

$$\nabla ГВ = \nabla НПУ - Н_{ст} = 99 - 6 = 93 \text{ м.}$$

4.2.3 Проверка на пропуск поверочного расхода при поверочном случае

Пропуск поверочного расхода должен осуществляться при ФПУ всеми водопропускными сооружениями гидроузла. Проверка на пропуск сводится к определению расчетной отметки ФПУ, которая должна быть равна или меньше заданной, в противном случае отметка ФПУ повышается до расчетной отметки ФПУ.

Определяем максимальный расчетный расход для поверочного случая:

$$Q_{пов} = Q_{пов.max} - Q_{ГЭС}(n-1) - Q_{С} = 10617-289\cdot(6-1) = 9172 \text{ м}^3/\text{с}, \qquad (4.14)$$

где $Q_{пов.max}$- максимальный расчетный расход для поверочного случая;

$Q_{ГЭС}(n-1)$ - расход через гидроагрегаты, участвующие в пропуске воды;

Qс - расход через другие водопропускные сооружения гидроузла, Qс=0;

Определяем напор над гребнем водослива при пропуске расхода поверочного расчетного случая без учета сжатия:

$$H_{01пов} = \left(\frac{Q_{пов}}{m(B+в)\sqrt{2g}}\right)^{2/3} = \left(\frac{9172}{0{,}49\cdot(260+20)\cdot\sqrt{2\cdot 9{,}81}}\right)^{2/3} = 6{,}1 \text{ м.} \qquad (4.15)$$

Определяем напор над гребнем водослива при пропуске расхода поверочного расчетного случая с учетом сжатия:

$$H_{02пов} = \left(\frac{Q_{пов}}{m\,\varepsilon\sigma_n(B+в)\sqrt{2g}}\right)^{2/3}, \qquad (4.16)$$

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2\frac{\xi у+(n-1)\xi б}{n}\cdot\frac{H_{01}}{b} = 1 - 0{,}2\frac{0{,}7+(14-1)\cdot 0{,}45}{14}\cdot\frac{6{,}1}{20} = 0{,}971, \qquad (4.17)$$

$$H_{02пов} = \left(\frac{9172}{0{,}49\cdot 1\cdot 0{,}971\cdot(260+20)\cdot\sqrt{2\cdot 9{,}81}}\right)^{2/3} = 6{,}2.$$

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

$$H_{пов} = H_{02.пов} - \frac{a\upsilon_{0.пов}^2}{2g} = 6{,}2 - \frac{1.1 \cdot 1{,}20^2}{2 \cdot 9.81} = 6{,}14 \text{ м}, \quad (4.18)$$

$$\upsilon_{0.пов} = \frac{Q_{пов}}{(\nabla ФПУ - \nabla дна)(B + в + (n-1)\delta_б)}, \quad (4.19)$$

$$\upsilon_{0.пов} = \frac{9172}{(101 - 78)(260 + 20 + (14 - 1) \cdot 5)} = 1{,}20 \text{ м/с}.$$

Определяем расчетную отметку форсированного уровня:

$$\nabla ФПУ_р = \nabla ГВ + Н_{пов} = 93 + 6{,}14 = 99{,}15 \text{ м}. \quad (4.20)$$

Расчетная отметка форсированного уровня меньше заданной $\nabla ФПУ = 101$ м, то следовательно, повышение форсированного уровня не требуется.

4.2.4 Построение профиля водосливной плотины

По проектному напору $Н_{пр}$ = $Н_{ст}$ определяем координаты для построения оголовка плотины практического профиля типа А (таблица 4.3). Табличные координаты умножаются на $Н_{ст}$=6 м и сводятся в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Приведённые координаты начального очертания гребня нормальной безвакуумной водосливной стенки (стенки Кригера - Офицерова)

№ точки	X	Y	№ точки	X	Y
1	0	0,8	22	12,6	8,2
2	0,6	0,2	23	13,2	9,0
3	1,2	0,0	24	13,8	9,9
4	1,8	0,4	25	14,4	11,4
5	2,4	0,0	26	15	11,8
6	3	0,2	27	15,6	12,7
7	3,6	0,0	28	16,2	13,7
8	4,2	0,6	29	16,8	14,8
9	4,8	0,7	30	17,4	15,7
10	5,4	1,2	31	18	16,9
11	6	1,5	32	18,6	18,1
12	6,6	1,9	33	19,2	19,2
13	7,2	2,4	34	19,8	20,4
14	7,8	2,9	35	20,4	21,7
15	8,4	3,4	36	21	22,9
16	9	4,0	37	21,6	24,2
17	9,6	4,6	38	22,2	25,3
18	10,2	5,2	39	22,8	26,8
19	10,8	5,9	40	23,4	28,1
20	11,4	6,6	41	24	29,5

По координатам таблицы 4.4 строим оголовок безвакуумного водослива практического профиля (рисунок 4.1).

Значение сопрягающего радиуса R в зависимости от напора на водосливе H и высоты водосливной плотины $C_н$.Определяем по координатам для оголовка , пользуясь данными таблицы 4.4.

Таблица 4.4-Координаты для оголовка безвакуумного водослива

$C_н$, м	R=f(H), м
10	8,5
20	11,0

На основании интерполяции значение R, приведенных в таблице 5, R=9,75 м.

$$C_н = \nabla ГВ - \nabla дна = 93 - 78 = 15 \text{ м}$$

По полученным координатам вычерчиваем оголовок, показанный на рисунке 4.1.

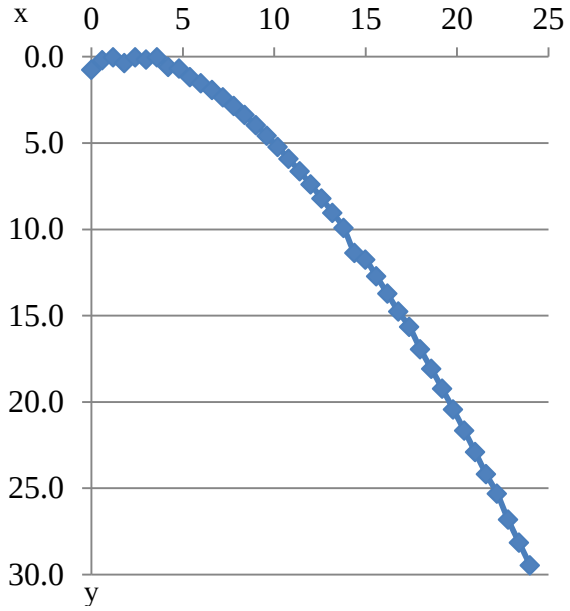


Рисунок 4.1- Оголовок безвакуумного водослива практического профиля.

4.2.5 Расчет сопряжения бьефов

Расчет сводится к определению сопрягающих глубин h'_c , h''_c и по сравнению второй сопряженной глубины hc" с бытовой глубиной $h_{нб}$. При этом в зависимости от соотношения глубины h''_c и бытовой глубины $h_{нб}$ возникают следующие типы сопряжения бьефов:

а) $h''_c > h_{НБ}$ – сопряжение по типу отогнанного прыжка;

б) $h''_c = h_{НБ}$ – сопряжение в виде прыжка в сжатом сечении;

в) $h''_c < h_{НБ}$ – сопряжение в виде надвинутого (затопленного) прыжка.

Наиболее часто для плотин на нескальных основаниях принимают сопряжение бьефов с донным режимом.

Определяем полную удельную энергию E_o перед водосливом:

$$Eo = Сн + Но, \quad (4.21)$$

где Сн-высота плотины со стороны НБ; H_o-полный напор на водосливе.

$$Сн = \nabla ГВ - \nabla дна = 93 - 78 = 15м. \quad (4.22)$$

Определяем полный напор на водосливе.

В случае, когда $\omega > 4(B * H)$, скоростью подхода можно пренебрегать и считать H_o=H.

$$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot \vartheta_0^2}{2g}; \quad (4.23)$$

$$\omega = (\nabla НПУ - \nabla дна) \cdot [(В + в) + (n - 1) \cdot \delta_б], \quad (4.24)$$

$$\omega = (99 - 78) \cdot [(260 + 20) + (14 - 1) \cdot 5] = 7245 \text{ м}^2,$$

$$4ВН = 4 \cdot [(В + в) + (n - 1) \cdot \sigma_б],$$

$$H = 4 \cdot 6 \cdot [(260 + 20) + (14 - 1) \cdot 5] = 8280 \text{ м}^2.$$

Тогда ω=7245 м^2 <4вн=8280 м^2 , поэтому скорость подхода необходимо учитывать.

$$H_o = 6 + \frac{1{,}1 \cdot 1{,}05^2}{2 \cdot 9{,}81} = 6{,}06м,$$

$$Eo = 15 + 6{,}06 = 21{,}06 \text{ м}.$$

Определяем критическую глубину при полном открытии всех отверстий:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{aQ_р^2}{((B + в) + (n - 1) \cdot \delta_б)^2 g}} = \sqrt[3]{\frac{1{,}1 \cdot 7638^2}{((260 + 20) + (14 - 1) \cdot 5)^2 \cdot 9{,}81}} = 3{,}9 \text{ м}.$$

Определяем относительную глубины удельную энергию:

$$\xi_o = \frac{Eo}{h_{кр}} = \frac{21{,}06}{3{,}9} = 5{,}4. \quad (4.25)$$

По графику М.Д. Чертоусова в зависимости от ξ_0 по рис. 12-5 [4], определим относительную глубину в сжатом сечении ξ_c и относительную вторую сопряженную глубину ξ_c''.

По отношению $\frac{H_{ст}}{C_н} = \frac{6}{15}$ =0,4 , пользуясь данными таблицы 4.5, определяем коэффициент скорости в сжатом сечении $\varphi_c = 0{,}945$;

Таблица 4.5 - Коэффициент скорости φ_c в сжатом сечении по данным Скребкова Г.П.

$H_{ст}/C_н$	1.5	1	0.5	0.3	0.16	0.1
φ_c	0.99	0.98	0.96	0.93	0.9	0.88

При $\varphi_0 = 0{,}945$ и $\xi_0 = 5{,}4$,
ξc=0,32; $\xi_c'' = 2{,}3$;

Определяем сопряженные глубины:

$$hc' = \xi c \cdot h_{кр} = 0{,}32 \cdot 3{,}9 = 1{,}24 \text{ м}, \quad (4.26)$$

$$hc'' = \xi_c'' \cdot h_{кр} = 2{,}3 \cdot 3{,}9 = 8{,}97 \text{ м}.$$

$h_{нб}$=7 м < hc´´=8,97 м , это означает что прыжок отогнанный, необходимо устройство гасителей в нижнем бьефе.

4.2.6 Расчет водобойного колодца

На рисунке 4.2 изображена схема для дальнейшего расчета водобойного колодца.

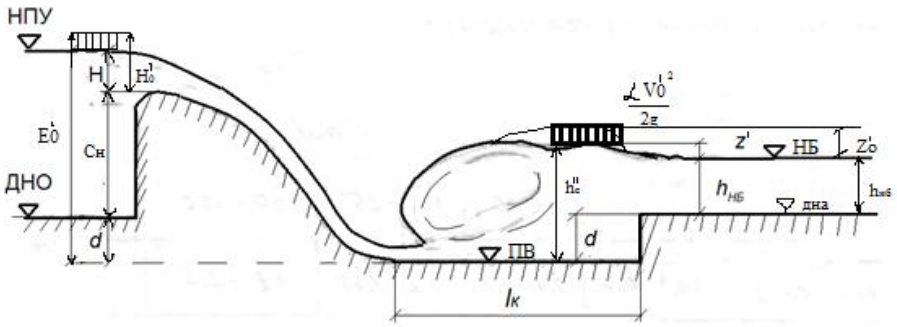


Рисунок 4.2- Схема к расчету водобойного колодца

В качестве гасителя проектируется водобойный колодец. Водобойный колодец образуется за счет опускания дна русла НБ непосредственно за плотиной. Целью расчета является определение глубины колодца и его длины. Глубина водобойного колодца (d) определяется методом последовательных

приближений. Разница между расчетными значениями (d) не должна превышать 5-10%.

Первоначально глубину водобойного колодца определяем:

$$d = \sigma \cdot h_c'' - (h_{нб} + z'), \quad (4.27)$$

где z'- перепад свободной поверхности, обусловленный стеснением потока снизу уступом глубиной d;

σ- коэффициент запаса, $\sigma = 1{,}1$.

Выходная часть водобойного колодца работает как подтопленный водослив с широким порогом. Перепад z'_0 определим по формуле затопленного водослива с широким порогом:

$$q_{вод} = h_{нб}\sqrt{2 \cdot g \cdot z_0'} \cdot \varphi_в, \quad (4.28)$$

где $\varphi_в$- коэффициент скорости водослива с широким порогом, зависящий от кромки уступа. При ориентировочных расчетах можно принимаем $\varphi_в = 0{,}92$;

$q_{вод}$- удельный расход водослива с широким порогом; $q_{вод} = q$;

Из формулы расхода водослива с широким порогом определяем z_0':

$$z_0' = \frac{q^2}{\varphi_в{}^2 \cdot h_{нб}{}^2 \cdot 2g}, \quad (4.29)$$

где z_0'- перепад свободной поверхности на выходе в НБ с учетом скорости подхода;

q-удельный расход в водобойном колодце;

$$q = \frac{Q_р}{(В + в) + (n-1)\delta_б} = \frac{7638}{(260 + 20) + (14 - 1) \cdot 5} = 23{,}1 \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$z' = z_0' - \frac{\alpha(v'_0)^2}{2g} = \frac{q^2}{\varphi_в{}^2 \cdot h_{нб}{}^2 \cdot 2g} - \frac{\alpha q^2}{2g \cdot \sigma^2 \cdot (h_c'')^2} =$$

$$= \frac{q^2}{2g}\left(\frac{1}{\varphi_в{}^2 \cdot h_{нб}{}^2} - \frac{\alpha}{\sigma^2 \cdot (h_c'')^2}\right) = \frac{23{,}1^2}{2 \cdot 9{,}81}\left(\frac{1}{0{,}92^2 \cdot 7^2} - \frac{1{,}1}{1{,}1^2 \cdot (8{,}97)^2}\right) = 0{,}26 \text{ м}. \quad (4.30)$$

Глубину водобойного колодца определяем:

$$d = 1{,}1 \cdot 8{,}97 - (7 + 0{,}26) = 2{,}6 \text{ м}.$$

Во втором приближении определяем изменившуюся полную удельную энергию:

$$E'_0 = C_Н + H'_0 + d, \quad (4.31)$$

$$E'_0 = 15 + 6{,}06 + 2{,}6 = 23{,}66 \text{ м},$$

где $C_Н = \nabla ГВ - \nabla дна = 93 - 78 = 15$ м ; $H_0 = 6{,}06$ м.

Определяем отношение: $\frac{H0'}{Сн} = \frac{6{,}06}{15}$ =0,4.

С помощью таблицы 1 определяем коэффициент скорости φ =0,945.
Относительная удельная энергия:

$$\xi_0 = \frac{E'_0}{h_k} = \frac{23{,}66}{3{,}9} = 6{,}1 \ . \quad (4.32)$$

Определяем относительные глубины $\mathcal{E}''_c$ и $\mathcal{E}_c$:

$\mathcal{E}_c$=0,31,

$\mathcal{E}''_c$=2,39.

Сопряжение глубины:

$$h_c = 0{,}31 \cdot 3{,}9 = 1{,}2 \text{ м}, \quad (4.33)$$

$$h_c'' = 2{,}39 \cdot 3{,}9 = 9{,}3 \text{ м}.$$

Определяем глубину водобойного колодца во втором приближении:

$$d = \sigma * h_c'' - (h_{нб} + z'), \quad (4.34)$$

$$z' = \frac{q^2}{2g}\left(\frac{1}{\varphi_в{}^2 \cdot h_{нб}{}^2} - \frac{\alpha}{\sigma^2 \cdot (h''_c)^2}\right) = \frac{23{,}1^2}{2 \cdot 9{,}81}\left(\frac{1}{0{,}92^2 \cdot 7^2} - \frac{1{,}1}{1{,}1^2 \cdot (9{,}3)^2}\right) = 0{,}26 \text{ м},$$

$$d = 1{,}1 \cdot 9{,}3 - (7 + 0{,}26) = 2{,}97 \text{ м}. \quad (4.35)$$

Разница между расчетными значениями глубин колодца составляет 12%, определяется расчетом d_1=2,6 и d_2=2,97 .

В третьем приближении определяем изменившуюся полную удельную энергию:

$$E'_0 = 15 + 6{,}06 + 2{,}97 = 24{,}03 \text{ м}.$$

Относительная удельная энергия:

$$\xi_0 = \frac{E'_0}{h_k} = \frac{24{,}03}{3{,}9} = 6{,}16.$$

Определяем относительные глубины $\mathcal{E}_c''$ и $\mathcal{E}_c$, используя $\varphi_c = 0{,}945$ и $\mathcal{E}_0 = 6{,}16$:

$\mathcal{E}_c$=0,312,

$\mathcal{E}_c''$=2,35.

Сопряжение глубины:

$$h_c = 0{,}312 \cdot 3{,}9 = 1{,}21 \text{ м}, \tag{4.36}$$

$$h_c'' = 2{,}35 \cdot 3{,}9 = 9{,}16 \text{ м}.$$

Определяем глубину водобойного колодца в третьем приближении:

$$z' = \frac{q^2}{2g}\left(\frac{1}{\varphi_в{}^2 * \mathrm{h}_{нб}{}^2} - \frac{\alpha}{\sigma^2 * (h_c'')^2}\right) =$$
$$= \frac{23{,}1^2}{2 * 9{,}81}\left(\frac{1}{0{,}92^2 * 7^2} - \frac{1{,}1}{1{,}1^2 * (9{,}16)^2}\right) = 0{,}26 \text{ м},$$

d= $1{,}1 \cdot 9{,}16 - (7 + 0{,}26) = 2{,}81$ м.

Разница между двумя последними расчетными значениями глубин колодца не превышает 10%. Принимаем $d \approx 3$м.

Определяем отметку пола водобоя:

$$\nabla ПВ = \nabla дна - d = 78 - 3 = 75 \text{ м}. \tag{4.37}$$

Длина водобоя с гасителями на них:

$$L=(0{,}8\text{-}1{,}0)\ln , \tag{4.38}$$

где ln- длина гидравлического прыжка.

$$\ln =2{,}5\ (1{,}9\ h_c''\text{-}h_c') =2{,}5\cdot(1{,}9\cdot 9{,}16\text{- } 1{,}2)= 40{,}5 \text{ м}. \tag{4.39}$$

Тогда: L= 0,81·40,5 = 33 м – длина водобоя с гасителями;

4.3 Конструирование плотины

4.3.1 Назначение размеров основных элементов плотины

У бетонной водосливной плотины на нескальном основании следует определить основные элементы: фундаментные плиты, бык и устой, водослив, деформационные швы и их уплотнения, водобой и рисберму, противофильтрационные устройства (понур, зубья, противофильтрационные завесы), дренаж.

4.3.2 Определение ширины подошвы бетонной плотины

На рисунке 4.3 изображена схема для дальнейшего расчета по определению ширины подошвы водосливной плотины.

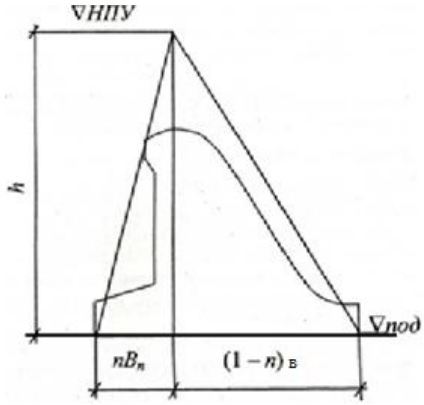


Рисунок 4.3 - Схема к расчету ширины подошвы водосливной плотины

Треугольный профиль плотины, имеющий минимальную ширину по основанию В плотины, будет требовать минимума материалов, т.е. будет экономичным. Этот профиль должен удовлетворять двум условиям:

- отсутствию растягивающих напряжений в бетоне, так как бетон слабо сопротивляется растяжению и в нем недопустимо появления трещин с напорной стороны плотины;
- устойчивости тела плотины против сдвига по основанию;

Из условия отсутствия растягивающих напряжений на верховой грани, ширина основания определяется:

$$B_1=\frac{\mathrm{h}}{\sqrt{\frac{\gamma_б}{\gamma_в}(1-\mathrm{n})+\mathrm{n}(2-\mathrm{n})-\alpha_1}}, \quad (4.40)$$

где h- высота плотины, равная: h = ∇НПУ - ∇подошвы. (4.41)

$$\nabla\text{подошвы} = \nabla\text{дна} - (d + \delta_в + (2 \div 3)), \quad (4.42)$$

где (2÷3)-толщина запаса грунта с низкой несущей способностью принимаем 2;

d – глубина колодца, равное 3м;

$\delta_в = 3{,}3$ м – толщина водобойной плиты.

∇подошвы $= 78 - (3 + 3{,}3 + 2)$ = 69,7 м.

Высота плотины равна:

h=НПУ-∇подошвы $= 99 - 69{,}7 = 29{,}3$ м. (4.43)

Из условия устойчивости плотины на сдвиг по основанию ширина подошвы водосливной плотины определится из выражения:

$$B_2 = \gamma_n \frac{h}{\tan\varphi(\frac{\gamma_б}{\gamma_в} + n - \alpha_1)}, \quad (4.44)$$

где γ_n - коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый в зависимости от класса сооружения=1,25; φ - угол внутреннего трения грунта основания [7]=15°.

Задаваясь различными значениями n,производим расчет таблица4.6.

Точка пересечения кривых определит искомую ширину подошвы водосливной плотины.

Таблица 4.6-Различные значения для построения графиков зависимостей B_1 = f(n) и B_2 = f(n)

n	B1	B2
0.2	9.2	106.0
0.3	10.2	82.3
0.4	11.6	67.3
0.5	13.4	56.9
0.6	15.9	49.3
0.7	19.4	43.5
0.8	25.0	38.9
0.9	35.1	35.2
1	59.0	32.1

Строим графики зависимостей B_1 = f(n) и B_2 = f(n) рисунок 4.4.

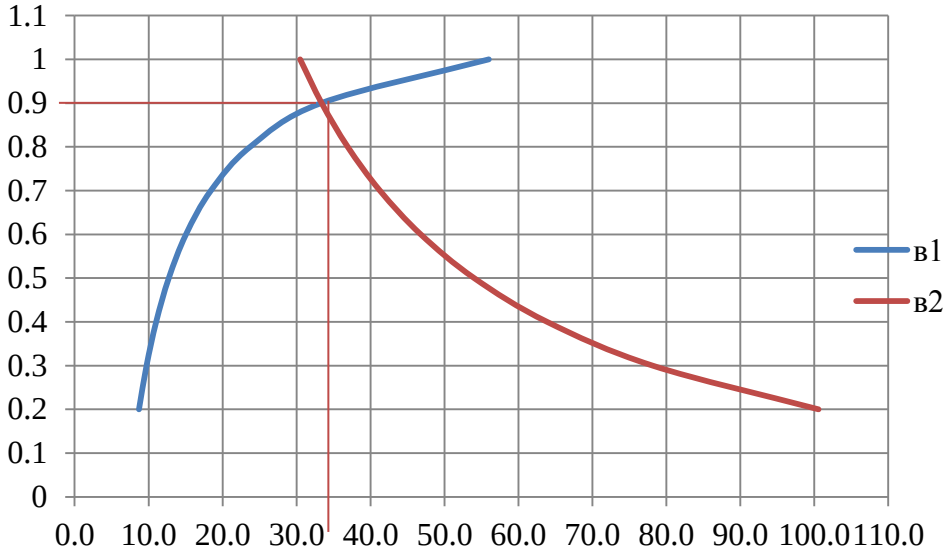


Рисунок 4.4 - Определение ширины подошвы плотины

- Координаты точки пересечения n = 0,9.
- Ширина плотины по основанию B = 36 м.

При расчете плотин на нескальном основании ширина подошвы по условию устойчивости значительно больше, чем по условию прочности материала. Поэтому в случае глинистых оснований:

$$\frac{в}{h} = (1{,}2 - 1{,}7) = \frac{36}{29{,}3} = 1{,}22.$$

4.4 Конструирование отдельных элементов подземного контура плотины

Аналогом подземного контура является Новосибирский гидроузел, в основании которого залегает глина.

4.4.1 Устои

Устои плотин предназначены для защиты примыкающей к водосливу земляной плотины или берега от размыва водой, сбрасываемой через водослив; для обеспечения плавного подхода потока к водосливу и плавного его растекания в нижнем бьефе; для предотвращения опасного воздействия фильтрации в зоне примыкания водосливной плотины к земляной плотине или берегу, так же они служат опорами для затворов или мостов.

В данном проекте необходимо устройство двух типов устоев:

- Сопрягающие устои: один для сопряжения бетонной водосливной плотины с грунтовой плотиной и второй для сопряжения станционной части плотины с грунтовой плотиной.
- Раздельный устой – для сопряжения бетонной водосливной плотины со станционной частью плотины.

4.4.2 Дренажные устройства

Для отвода профильтровавшейся воды, снятия фильтрационного давления на сооружение, предотвращения разрушения грунта основания под подошвой сооружения устраиваем горизонтальный дренаж с устройством обратного фильтра состоящего из двух слоёв крупнозернистого грунта, расположенных с увеличением крупности частиц при переходе от одного слоя к другому. Дренаж из слоев обратного фильтра, устраиваем под подошвой тела плотины, а так же под понуром, на рисберме, под водобоем, так как ее покрытием служат бетонные плиты. Так же обеспечиваем беспрепятственный отвод профильтровавшейся воды в нижний бьеф.

4.5 Назначение размеров основных элементов плотины

4.5.1 Понур

Назначение понура – снижать фильтрационное давление в основании плотины путем удлинения путей фильтрации.

Принимаем анкерный понур, который является не только противофильтрационным элементом, но и повышает устойчивость плотины против сдвига.

Анкерный понур выполняется в виде железобетонных плит толщиной 0,5м с гидроизоляционным покрытием поверху из битумных и полимерных материалов. Продольную арматуру железобетонного анкерного понура заделывают в фундаментную плиту плотины.

Длина анкерного понура назначается:

$$l_{\text{п}} = (1 \div 1{,}5)\text{H}_{max}\ , \qquad (4.45)$$

где H_{max} – полный напор на плотине.

$$l_{\text{п}} = 1{,}5 \cdot 14 = 21 \text{ м},$$

$$\text{H} = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{НБmin}} = 99 - 78{,}5 = 20{,}5 \text{ м}, \qquad (4.46)$$

где $\nabla_{\text{НБmin}}$ – минимальная отметка УНБ, снимаем с кривой связи при строительном расходе $Q_{\text{стр}} = 200 \text{ м}^2/\text{с}$.

Толщину понура плотины принимаем 0,5 м.

4.6 Конструктивные элементы нижнего бьефа

Русло за водосливной плотиной защищается от размыва водобоем, рисбермой и концевым креплением в виде ковша.

4.6.1 Водобой

Устраивается в виде армированной массивной горизонтальной бетонной плиты, предназначенной для восприятия динамического воздействия сбрасываемого потока.

4.6.2 Расчет водобойной плиты

Устойчивость определяется условием:

$$К_{всп} = \frac{\sum V_{уд}\gamma_{cd}}{\sum V_{всп}\gamma_{lc}} \geq \gamma_n, \quad (4.47)$$

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

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

γ_{cd}- коэффициент условия работы для первой группы предельных состояний $\gamma_{cd} = 1$;

γ_{lc}- коэффициент сочетания нагрузок для основного сочетания дляпервой группы предельных состояний $\gamma_{lc} = 1$.

Удерживающие силы

Вес плиты водобоя с учетом взвешивания:

$$G_n = (\rho_б - \rho_в) \cdot g \cdot l_в \cdot \delta_в \cdot К_н, \quad (4.48)$$

где $l_в$- длина водобоя;

$\delta_в$- толщина водобоя.

Толщину плиты водобоя определяем по формуле В.Д. Домбровского:

$$\delta_в = 0{,}15 v_с \sqrt{h'_c}\,, \quad (4.49)$$

где $v_с$- скорость в сжатом сечении.

$$v_с = \frac{Q_р}{h'_c((В+в)+(n-1)\delta_б)}\,, \quad (4.50)$$

$$v_с = \frac{7638}{1{,}21 \cdot ((260+20)+(14-1)\cdot 5)} = 19{,}6 \text{ м/с},$$

$$\delta_в = 0{,}15 \cdot 19{,}6\sqrt{1{,}21} = 3{,}1 \text{ м}.$$

Принимаем $\delta_в = 3$ м.

$$G_n = (2{,}4 - 1{,}0) \cdot 9{,}81 \cdot 33 \cdot 3 \cdot 1 = 1404{,}9 \text{ кН}.$$

Силы, вызывающие всплытие плиты:
Дефицит давления:

$$W_{\text{д}} = 0{,}5 \cdot t_1 \cdot g \cdot \rho_{\text{в}} \cdot l \cdot K_{\text{н}}\ , \tag{4.51}$$

$$W_{\text{д}} = 0{,}5 \cdot 5{,}56 \cdot 9{,}81 \cdot 1 \cdot 33 \cdot 1 = 922{,}6 \text{ кН},$$

где t_1 – высота эпюры дефицита:

$$t_1 = 0{,}7(h_c'' - h_c') = 0{,}7 \cdot (9{,}16 - 1{,}21) = 5{,}56 \text{ м}. \tag{4.52}$$

Фильтрационное давление на подошву плиты:

$$W_{\text{ф}} = 0{,}05 \cdot (T - h_c'')l \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot 0{,}5K_{\text{н}}\ , \tag{4.53}$$

$$W_{\text{ф}} = 0{,}05 \cdot (24 - 9{,}16) \cdot 33 \cdot 1 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}5 \cdot 1 = 120{,}1 \text{ кН},$$

где $l = l_{\text{в}}$ = 33м;
T − превышение уровня верхнего бьефа над водобоем.

$$\text{Т} = \nabla\text{НПУ} - \nabla\text{ПВ} = 99 - 75 = 24 \text{ м} \tag{4.54}$$

Пульсационная вертикальная составляющая (в долях от критической глубины).

$$W_n = p' \cdot l_{\text{в}} \cdot K_{\text{н}}, \tag{4.55}$$

где p'− высота эпюры вертикальной пульсационной нагрузки.

$$p' = 0{,}13 \cdot h_{\text{кр}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g\ , \tag{4.56}$$

$$p' = 0{,}13 \cdot 3{,}9 \cdot 9{,}81 = 4{,}97 \text{ м}\ ,$$

$$W_n = 4{,}97 \cdot 33 \cdot 1 = 164{,}1 \text{ кН}.$$

Устойчивость плиты против всплытия:

$$\text{К}_{\text{всп}} = \frac{1404{,}9}{922{,}6 + 120{,}1 + 164{,}1} = 1{,}16.$$

Плотина 1ого класса $К_{всп} = 1{,}16 < \gamma_n = 1{,}25$, устойчивость плиты против всплытия не соблюдается, следовательно нужно увеличить толщину плиты водобоя.

Принимаем $К_{всп}$ =1,25.

Тогда $G = \sum V_{всп} \cdot К_{всп} = 1206{,}8 \cdot 1{,}25 = 1508{,}5$, (4.57)

$$\delta_в = \frac{1508{,}5}{(2{,}4 - 1{,}0) \cdot 9{,}8 \cdot 33 \cdot 1} = 3{,}3 \text{ м.}$$

$К_{всп} = 1{,}25 \geq \gamma_n = 1{,}25$ - устойчивость против всплытия обеспечивается.

4.7 Рисберма и ковш

4.7.1 Ковш рисбермы

На рисунке 4.5 изображен концевой участок рисбермы.

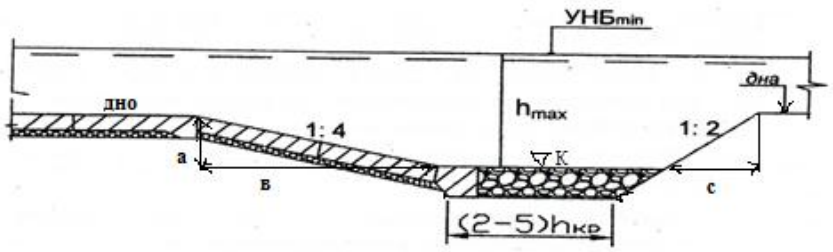


Рисунок 4.5- Концевой участок рисбермы

Концевой участок рисбермы устраиваем в виде ковша. Глубина ковша в месте наибольшего размыва определяется по формуле:

$$h_{max} = К_р \sqrt{\frac{q_p}{V_н}}, \quad (4.58)$$

где $\vartheta_н = 0{,}8$ м/с – неразмывающая скорость течения для грунта дна реки при глубине потока Н=1м;

$q_{рисб}$ =23,0 $м^2/с$ – удельный расход на рисберме (раздел 4.4);

$К_р$ – коэффициент, зависящий от условий размыва, принимаем $К_р$=1,05 .

$$h_{max} = 1{,}05 \cdot \sqrt{\frac{23{,}1}{0{,}8}} = 5{,}64 \text{ м.}$$

Концевой участок рисбермы устраиваем в виде ковша, предназначенного для защиты рисбермы, от подмыва с заложением внутреннего откоса $m = 1:4$ и

с заложением внешнего откоса m =1:2. На дно ковша укладываем слой отсыпки камня толщиной 2м.

Общая длина послепрыжкового участка (рисбермы с ковшом) определяем по рекомендации М.С.Вызго:

$$l_{пп} = \frac{0,4}{n} \cdot h_c^{``}, \quad (4.59)$$

где n – коэффициент шероховатости русла $n = 0,03$;

$h_c^{``}$ – вторая сопряженная глубина $h_c^{``} = 9,16$ м.

$$l_{пп} = \frac{0,4}{0,03} \cdot 9,16 = 122 \text{ м.}$$

Длина ковша по дну:

$$L_к = (2 \div 5) h_{кр.р}. \quad (4.60)$$

Принимаем: $L_к = 3 \cdot h_{кр.р}$. (4.61)

$$L_к = 3 \cdot 3,9 = 11,7 \text{ м.}$$

Принимаем: $L_к$=12 м

Определяем отметку колодца:

$$\nabla К = \nabla УНБ_{min} - h_{max} = 78,5 - 5,64 = 72,8 \text{ м}. \quad (4.62)$$

Определяем горизонтальные проекции откосов колодца:

$$а = \nabla дна - \nabla К = 78 - 72,8 = 5,2 \text{ м}, \quad (4.63)$$

$$в = а \cdot 4 = 5,2 \cdot 4 = 20,8 \text{ м}, \quad (4.64)$$

$$с = 2 \cdot а = 2 \cdot 5,2 = 10,4 \text{ м.} \quad (4.65)$$

Длина горизонтального участка рисбермы равна:

$$L_{рис} = l_{пп} - в - с - L_к = 122 - 20,8 - 10,4 - 12 = 78,8 \text{ м} \approx 79 \text{ м.} \quad (4.66)$$

Количество плит рисбермы : $n = \frac{l_р}{8} = \frac{79}{8}$ =9,8≈ 10. (4.67)

4.7.2 Рисберма

Определение толщины плит рисбермы

Рисберма - участок за водобоем, предназначенный для успокоения и рассеяния потока. Выполняется чаще всего в виде крепления из бетонных плит со сдвинутыми швами. Конструкция рисбермы по течению должна постепенно облегчаться. Горизонтальная рисберма выполнена в виде крепления из бетонных плит. В качестве дренажных отверстий используем межплиточные швы.

Толщина плит рисбермы:

$$t_{\text{р}} = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot h_{\text{р}} \cdot \text{К}_{\text{с}}}{(\rho_{\text{б}} - \rho_{\text{в}})}, \tag{4.68}$$

где $h_{\text{р}}$- глубина на рисберме; K_c – коэффициент запаса, принимаем K_c=1,25.

$$h_{\text{р}}^{1} = 2h_v \left(\frac{h_{\text{кр}}}{\text{x}}\right)^{1,34}, \tag{4.69}$$

где x - расстояние от сжатого сечения до рассматриваемой плиты.

$$h_v = \frac{\alpha \cdot V_c^2}{2 \cdot g}, \tag{4.70}$$

где $h_{кр.р}$ – критическая глубина на рисберме; V_c^2 - скорость в сжатом сечении;

$$h_{кр.р} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q_p^2}{g}}, \tag{4.71}$$

$$V_c^2 = \frac{Q_{\text{р}}}{\text{B}_{\text{р}} \cdot h_c'}, \tag{4.72}$$

где $\text{B}_{\text{р}}$- ширина рисбермы (принимаем равной ширине колодца).

$$\text{B}_{\text{р}} = \text{B}_{\text{к}} = \left[\text{B} + \text{в} + (n-1)\delta_{\text{б}}\right]. \tag{4.73}$$

Расчет производится для первых 3х плит рисбермы. Толщина первой плиты принимается не менее половины толщины плиты водобоя. Толщина остальных плит принимается равной толщине третьей плите.

Принимаем длину $L_{\text{р}} = 8$ м.

$$V_c = \frac{7638}{[(260+20)+(14-1)\cdot 5]\cdot 1{,}21} = 20{,}35 \text{ м/с},$$

$$h_v = \frac{1{,}1\cdot 20{,}35^2}{2\cdot 9{,}81} = 23{,}23 \text{ м},$$

где $h_{\text{кр}} = 3{,}9\text{м} -$ критическую глубину рассчитывали ранее;

$q_{\text{р}} = 23{,}1\text{м}^3/\text{с}$ – удельный расход на рисберме рассчитывали ранее.

Первая плита располагается за водобоем, значит $x_1 = 33$ м.

$$h_{\text{р}}^1 = 2\cdot 23{,}23\cdot\left(\frac{3{,}9}{33}\right)^{1{,}34} = 2{,}65 \text{ м},$$

$$t_{\text{р}}^1 = \frac{1\cdot 2{,}65\cdot 1{,}25}{(2{,}4-1{,}0)} = 2{,}37 \text{ м}.$$

Толщина первой плиты получилась 2,4 м.

Результаты расчетов для каждой плиты занесены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 - Результаты расчетов

Параметры	x_1, м	x_2, м	x_3, м
x , м	33	41	49
$h_{\text{р}}$, м	2,65	1,98	1,56
$t_{\text{р}}$, м	2,37	1,77	1,39
Толщ. плиты	2,4	1,8	1,4

Определение устойчивости плит рисбермы против опрокидывания:

Определяем устойчивость первых трех плит рисбермы.

Приближенно сила гидродинамического давления определяется по формуле:

$$W_{\text{д}} = 0{,}5\cdot(1{,}5\cdot\delta\cdot \text{a})\cdot l\cdot\rho_{\text{в}}\cdot g, \quad (4.74)$$

где а – величина восстановленной кинетической энергии.

$$\text{a} = 0{,}5\cdot\frac{\vartheta_{\text{р}}^2}{2g}, \quad (4.75)$$

где $\vartheta_{\text{р}}$ - средняя скорость течения воды над плитами рисбермы;

δ- высота полуволны.

$$\delta = \frac{1{,}13\cdot z\cdot h_{\text{кр}}^{4/3}}{\text{x}^{4/3}}, \quad (4.76)$$

$$\vartheta_{\text{р}} = \frac{q_{\text{р}}}{h_{\text{нб}}} = \frac{23{,}1}{7} = 3{,}3 \text{ м}^2/\text{с}, \quad (4.77)$$

где z- разность отметок НПУ и поверхности воды в сжатом сечении.

$$z = \nabla\text{НПУ} - (\nabla\text{ПВ} + h_c''), \quad (4.78)$$

$$h_{\text{нб}} = \nabla\text{УНБ} - \nabla\text{дна} = 85 - 78 = 7 \text{ м}, \quad (4.79)$$

$$\text{а} = 0{,}5 \cdot \frac{3{,}3^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}27 \text{ м}.$$

Определяем длину полуволны:

$$l = 2 \cdot h_{\text{кр}} = 2 \cdot 3{,}9 = 7{,}8 \text{ м}. \quad (4.80)$$

Расчет на устойчивость первой плиты рисбермы
Определяем высоту полуволны:

$$\delta = \frac{1{,}13 \cdot 22{,}87 \cdot 3{,}9^{4/3}}{33^{4/3}} = 1{,}49 \text{ м}.$$

Разность отметок:

$$z = 99 - (75 + 1{,}49) = 22{,}87 \text{ м}.$$

Определяем силу гидродинамического давления:

$$W_{\text{д}} = 0{,}5 \cdot (1{,}5 \cdot 1{,}49 + 0{,}27) \cdot 7{,}8 \cdot 1 \cdot 9{,}81 = 96{,}54 \text{ кН}.$$

Сила лобового сопротивления:

$$\text{Р} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \sigma \cdot \frac{\vartheta_{\text{р}}^2}{2} \cdot t_{\text{р}}, \quad (4.81)$$

где σ- коэффициент пульсационного давления равный 0,2.

$$\text{Р} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0{,}2 \cdot \frac{3{,}28^2}{2} \cdot 1{,}9 = 1{,}29 \text{ кН}.$$

Определяем вес плиты с учетом взвешивания:

$$G = (\rho_{\text{б}} - \rho_{\text{в}}) \cdot g \cdot L_{\text{р}} \cdot t_{\text{р}} = (2{,}4 - 1{,}0) \cdot 9{,}81 \cdot 8 \cdot 1{,}9 = 263{,}69 \text{ кН}. \quad (4.82)$$

Расчёт коэффициента устойчивости плиты на опрокидывание:

$$\text{к}_{\text{опр}} = \frac{\sum \text{М}_{\text{уд}} \cdot \gamma_{cd}}{\sum \text{М}_{\text{опр}} \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n \ , \tag{4.83}$$

$$\text{к}_{\text{опр1}} = \frac{G \cdot \frac{L_{\text{р}}}{2}}{\left(W_{\text{д}}\left(L - \frac{l}{2}\right) + P \cdot \frac{t_{\text{р}}}{3}\right)} = \frac{263{,}69 \cdot \frac{8}{2}}{\left(96{,}54 \cdot \left(8 - \frac{7{,}8}{2}\right) + 1{,}29 \cdot \frac{2{,}4}{3}\right)} = 2{,}66 \ . \tag{4.84}$$

Плиты устойчивы против опрокидывания, так как $\text{к}_{\text{опр1}} = 2{,}66 > \gamma_n = 1{,}25$, условие выполняется.

Результаты расчетов для каждой плиты занесены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты расчетов

Параметры	1 плита	2 плита	3 плита
δ, м	1,49	1,12	0,88
$W_{\text{д}}$, кН	96,54	74,93	61,30
P, кН	1,29	0,95	0,75
G, кН	263,69	194,90	153,49
$K_{\text{опр}}$	2,66	2,59	2,50

4.8 Фильтрационные расчёты

Фильтрационные расчеты проводим с целью обоснования состава элементов подземного контура, их размеров и очертания, с последующим определением величины фильтрационного давления на флютбет, определения градиентов фильтрационного потока. Расчеты приводим для двух расчетных случаев: основного и поверочного.

4.8.1 Построение эпюры фильтрационного противодавления методом удлиненной контурной линии

Параметры фильтрационного потока определяем в соответствии схемой. На прямой последовательно откладываем длины элементов подземного контура. Крайние отрезки достраиваем, таким образом учитываем дополнительные потери на вход и выход.

Действительная глубина залегания водоупора $\text{Т}_{\text{действ}} = 0$, так как глина является водоупором. Для схемы подземного контура $\text{Т}_{\text{акт}} > 0$, поэтому $\text{Т}_{\text{действ}} < \text{Т}_{\text{акт}}$, то зона фильтрации расположена между подземным контуром и реальным водоупором. В этом случае за расчетную глубину $\text{Т}_{\text{р}}$принимаем $\text{Т}_{\text{действ}}$, $\text{Т}_{\text{р}} = \text{Т}_{\text{действ}} = 0$.

Разворачиваем подземный контур в линию, распложенную на отметке УНБ.

Для основного случая

Откладываем вертикальную линию от точки 1 равную напору при основном сочетании нагрузок и воздействий:

$$\text{Н}_{\text{осн}} = \nabla\text{НПУ} - \text{УНБ}_{min} = 99 - 78{,}5 = 20{,}5 \text{ м.} \quad (4.85)$$

Соединяем точку 1 с точкой 8, получаем треугольник. Определим напоры в точках подземного контура.

$$\text{Н}_i = tg\alpha \cdot l_i \,. \quad (4.86)$$

где l_i- расстояние от рассматриваемой точки до точки 8.

$$tg\alpha = \frac{\text{Н}_i}{L_i} = \frac{20{,}5}{57{,}05} = 0{,}36, \quad (4.87)$$

где $L_i = 57{,}05$ - расстояние от точки 1 до точки 8.

Для особого случая

Откладываем вертикальную линию от точки 1 равную напору при основном сочетании нагрузок и воздействий:

$$\text{Н}_{\text{повер}} = \nabla\text{ФПУ} - \text{УНБ}_{max} = 101 - 85 = 16 \text{ м.} \quad (4.88)$$

Соединяем точку 1 с точкой 8, получаем треугольник. Определим напоры в точках подземного контура.

$$\text{Н}_i = tg\alpha \cdot l_i \,, \quad (4.89)$$

где l_i- расстояние от рассматриваемой точки до точки 8.

$$tg\alpha = \frac{\text{Н}_i}{L_i} = \frac{16}{57{,}05} = 0{,}28, \quad (4.90)$$

где $L_i = 57{,}05$ - расстояние от точки 1 до точки 8;

Результаты расчетов напоров занесли в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Результаты расчетов напоров в точках подземного контура

Параметры	Основной	Особый
Н_1, м	20,5	16
Н_2, м	20,32	15,8
Н_3, м	12,8	9,9
Н_4, м	10,89	8,5
Н_5, м	5,88	4,5
Н_6, м	4,8	3,7
$\text{Н}_{6'}$, м	4,09	3,19
Н_7, м	3,19	2,49
Н_8, м	0	0

Масштабные чертежи собраны для основного и особого на чертежах.

4.9 Статические расчеты плотины

Расчёты прочности и устойчивости гидротехнических сооружений выполняем для основного и особого сочетания нагрузок и воздействий.
Вес сооружения и механизмов:
Вес одного погонного метра водосливной части плотины определяется по формуле:

$$G_{\text{пл}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot b \cdot g \cdot \rho_{\text{б}}}{\text{b}+\delta_{\text{б}}}, \quad (4.91)$$

где $S_{\text{пл}}$ −площадь поперечного сечения водосливной плотины, определённая на чертеже, выполненном в масштабе с помощью программного обеспечения AutoCad.

$S_{\text{пл}} = 549{,}9\ \text{м}^2$;

b -ширина пролёта, b=20м

$\delta_{\text{б}}$-толщина быка $\delta_{\text{б}} = 5\text{м}$

$\rho_{\text{б}}$-плотность бетона $\rho_{\text{б}} = 2{,}4\ \text{кг/м}^3$

Плечо равнодействующей силы Y центра тяжести, относительно точки O, определяется так же, как и площадь сооружения, в программном обеспечении AutoCad. Y_1=3,01 м

Считаем вес одного погонного метра водосливной плотины:

$$G_{\text{пл}} = \frac{549{,}9 \cdot 9{,}81 \cdot 20 \cdot 2{,}4}{20+5} = 10358{,}16\ \text{кН}.$$

Вес быка определяется аналогично по формуле:

$$G_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}} \cdot \delta_{\text{б}} \cdot g \cdot \rho_{\text{б}}}{\text{b}+\delta_{\text{б}}}, \quad (4.92)$$

где $S_{\text{б}}$-площадь быка, определяемая с помощью программы AutoCad.

$S_{\text{б}} = 995{,}99\ \text{м}^2$.

Тогда вес быка:

$$G_{\text{б}} = \frac{995{,}99 \cdot 9{,}81 \cdot 5 \cdot 2{,}4}{20+5} = 4689{,}92\ \text{кН}.$$

Плечо равнодействующей силы относительно центра тяжести согласно расчётам в программе AutoCad: Y_2=3,63м .

Вес плоского затвора определяем по формуле Березинского А.Р.:

$$Q_з = 0{,}055 f\sqrt{f}g, \tag{4.93}$$

где f −площадь затвора.

$$f = (\nabla ФПУ - \nabla ГВ + 0{,}5)b = (101 - 93 + 0.5) \cdot 20 = 170 \text{ м}^2 . \tag{4.94}$$

Здесь b-ширина пролёта b=20м
Тогда вес плоского затвора:

$$Q_з = 0{,}055 \cdot 170\sqrt{170} \cdot 9.81 = 1195{,}9 \text{ кН} = 134{,}4 \text{ т.}$$

Приводим вес затвора к весу на один погонный метр:

$$Q_з^{расч} = \frac{Q_з}{b + \delta_б} = \frac{1195{,}9}{20 + 5} = 47{,}83 \text{кН.} \tag{4.95}$$

Сила гидростатического давления воды:
Сила гидростатического давления воды раскладывается на две составляющие горизонтальную и вертикальную. Уровни верхнего и нижнего бьефов выбираются согласно двум случаям сочетаний нагрузок. Эпюры гидростатического давления на верховой и на низовой гранях принимаются по треугольникам, катеты которых равны.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления находится по формуле:
Со стороны верхнего бьефа:

$$Т_в = \frac{\rho_w \cdot g \cdot h_1^2}{2} = \frac{9{,}81 \cdot 29{,}3^2}{2} = 4210{,}8 \text{ кН.} \tag{4.96}$$

Со стороны нижнего бьефа:

$$Т_н = \frac{\rho_w \cdot g \cdot h_2^2}{2} = \frac{9{,}81 \cdot 8{,}8^2}{2} = 379{,}8 \text{ кН,} \tag{4.97}$$

где $h_1 = \nabla НПУ - \nabla подошвы = 99 - 69{,}7 = 29{,}3$м;

$$h_2 = \nabla УНБ_{min} - \nabla подошвы = 78{,}5 - 69{,}7 = 8{,}8 \text{ м.}$$

Вертикальная составляющая силы гидростатического давления воды с верхнего бьефа определена площадью поперечного сечения тела давления,

удерживающих сооружение. Площадь поперечного тела давления со стороны верхнего бьефа, определена с помощью точных расчётов в программе AutoCad .

$S_{эп}^{в} = 16{,}02$ м^2,

Определяем вертикальную составляющую силы гидростатического давления со стороны верхнего бьефа:

$$W_{в} = \rho_w \cdot g \cdot S_{эп}^{в} = 16{,}02 \cdot 9{,}81 = 157{,}2 \text{ кН}. \quad (4.98)$$

Площадь поперечного тела давления со стороны нижнего бьефа определена с помощью точных расчётов в программе AutoCad.

$S_{эп}^{н} = 11{,}32$ м^2,

Определяем вертикальную составляющую силы гидростатического давления со стороны нижнего бьефа:

$$W_{н} = \rho_w \cdot g \cdot S_{эп}^{н} = 11{,}32 \cdot 9{,}81 = 111{,}03 \text{ кН}. \quad (4.98)$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления:

Со стороны верхнего бьефа: $T'_{в} = \frac{\rho_w \cdot g \cdot h_1'^2}{2} = \frac{9{,}81 \cdot 31{,}3^2}{2} = 4805{,}3$ кН, (4.99)

Со стороны нижнего бьефа: $T'_{н} = \frac{\rho_w \cdot g \cdot h_2'^2}{2} = \frac{9{,}81 \cdot 15{,}3^2}{2} = 3148{,}2$ кН, (4.100)

где $h_1' = \nabla ФПУ - \nabla подошвы = 101 - 69{,}7 = 31{,}3$ м;
$h_2' = \nabla УНБ_{max} - \nabla подошвы = 85 - 69{,}7 = 15{,}3$ м.

Площадь поперечного тела давления со стороны верхнего бьефа, определена с помощью точных расчётов в программе AutoCad:

$S_{эп}^{в} = 193{,}18$ м^2;

Определяем вертикальную составляющую силы гидростатического давления со стороны верхнего бьефа:

$$W_{в} = \rho_w \cdot g \cdot S_{эп}^{в} = 193{,}18 \cdot 9{,}81 = 1895{,}1 \text{кН}. \quad (4.101)$$

Площадь поперечного тела давления со стороны нижнего бьефа определена с помощью точных расчётов в программе AutoCad.

$S_{эп}^{н} = 389{,}9$ м^2;

Определяем вертикальную составляющую силы гидростатического давления со стороны нижнего бьефа:

$$W_{н} = \rho_w \cdot g \cdot S_{эп}^{н} = 389{,}9 \cdot 9{,}81 = 3825{,}2 \text{ кН}. \quad (4.102)$$

Равнодействующая сила взвешивающего давления.

Ординаты эпюры взвешивающего давления на подошву плотины принимаются от отметки УНБ до подошвы сооружения.

Ширина эпюры равна ширине подошвы по основанию B=36 м.

Сила взвешивающего давления определяется площадью построенных эпюр:

$$W_{взв} = S_{эп}; \quad (4.103)$$

Далее ведём расчёт для двух случаев сочетаний нагрузок.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Уровень в нижнем бьефе ∇УНБ$min = 78{,}5$м;

Высота h_3=∇УНБ$min - \nabla$зуба $= 78{,}5 - 66{,}7 = 11{,}8$ м; (4.104)

где ∇зуба $= (\nabla$подошвы $- 3$м).

Площадь эпюры взвешивающего давления:

$$S_{эп} = 126 \text{ м}^2; \quad (4.105)$$

Тогда сила взвешивающего давления:

$$W_{взв} = S_{эп} \cdot p \cdot g = 126 \cdot 9{,}81 = 1236{,}06 \text{ кН}. \quad (4.106)$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Уровень в нижнем бьефе ∇УНБ$max = 85$ м;

Высота h_3=∇УНБ$min - \nabla$зуба $= 85 - 66{,}7 = 18{,}3$ м. (4.107)

Площадь взвешенного давления на подошву плотины, определена с помощью точных расчётов в программе AutoCad.

$$S_{эп} = 801{,}29 \text{ м}^2; \quad (4.108)$$

Тогда сила взвешивающего давления:

$$W_{взв} = S_{эп} \cdot p \quad \cdot g = 801{,}29 \cdot 9{,}81 = 7860{,}65 \text{ кН}. \qquad (4.109)$$

Сила фильтрационного давления

При расчёте силы фильтрационного давления, учитывается только та часть эпюры давления, которая находится непосредственно под самим сооружением. Эпюры строятся для двух расчётных случаев.

У полученных эпюр, построенных в масштабе, находим площадь.

В данном курсовом проекте мы считаем площадь с помощью программы AutoCad, для более точного и безошибочного её нахождения.

Сила фильтрационного давления находим по формуле:

$$W_{ф} = \rho_w \cdot g \cdot S_{эп}. \qquad (4.110)$$

Далее ведём расчёт для двух случаев сочетаний нагрузок.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Площадь эпюры фильтрационного давления:

$$S_{эп} = 183{,}47 \text{ м}^2; \qquad (4.111)$$

Сила фильтрационного давления:

$$W_{ф} = 9{,}81 \cdot 183{,}47 = 1799{,}9 \text{ кН}.$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Площадь эпюры фильтрационного давления:

$$S_{эп} = 165{,}08 \text{ м}^2. \qquad (4.112)$$

Сила фильтрационного давления:

$$W_{ф} = 9{,}81 \cdot 165{,}08 = 1619{,}44 \text{ кН}.$$

Нагрузки, действующие на понур.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Площадь гидростатического давления воды на понур сверху:

$$S_{эп} = 710{,}5 \text{м}^2; \qquad (4.113)$$

Сила гидростатического давления на понур сверху:

$W_{п} = 9{,}81 \cdot 710{,}5 = 6970$ кН.

Площадь эпюры фильтрационного давления воды под понуром:

$S_{эп} = 334{,}6$ м^2; (4.114)

Сила фильтрационного давления:

$W_{ф} = 9{,}81 \cdot 334{,}6 = 3282{,}42$ кН.

Площадь веса плиты анкерного понура:

$S_{эп} = 10{,}5$ м^2; (4.115)

Сила фильтрационного давления:

$G_{п} = (\rho_{б} - \rho_{в}) \cdot g \cdot S_{эп} = (2{,}4 - 1{,}0) \cdot 9{,}81 \cdot 10{,}5 = 144{,}2$ кН. (4.116)

Сила сдвига воспринимаемая анкерным понуром:

$$Q = \frac{(G_{п} + W_{п} - W_{ф}) \cdot tg\varphi + cl}{\gamma_n}, \quad (4.117)$$

где $G_{п}$- вес плиты анкерного понура с учетом взвешивания;

$W_{п}$–гидростатическое давление воды на понур сверху;

$W_{ф}$–фильтрационное давление на понур снизу;

φ-угол внутреннего трения грунта, для твердой глины $\varphi = 15$;

с- удельное сопротивление грунта основания понура, для твердой глины принимается с = 50 кПА;

l-длина понура.

γ_n –коэффициент надежности по ответственности сооружения, для 1ого класса $\gamma_n = 1{,}25$;

Тогда:

$$Q = \frac{(144{,}2 + 6970 - 3282{,}42) \cdot tg15 + 50 \cdot 21}{1{,}25} = 1661{,}22 \text{ кН}.$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Площадь гидростатического давления воды на понур сверху:

$$S_{эп} = 785{,}1 м^2; \quad (4.118)$$

Сила гидростатического давления:

$$W_п = 9{,}81 \cdot 785{,}1 = 7701{,}8 \text{ кН}.$$

Площадь эпюры фильтрационного давления воды под понуром:

$$S_{эп} = 263{,}13 \text{ м}^2; \quad (4.119)$$

Сила сдвига воспринимаемая анкерным понуром:

$$Q = \frac{(144{,}2 + 7701{,}8 - 2581{,}3) \cdot tg15 + 50 \cdot 21}{1{,}25} = 1964{,}5 \text{ кН}.$$

Давление наносов:
Давление наносов на вертикальную грань можно определить по формуле:

$$\rho_н = \gamma_н \cdot h_н \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_н}{2}\right), \quad (4.120)$$

где $\gamma_{гр} = 19 \frac{кН}{м^3}$ – удельный вес наносов из глины в сухом состоянии;
n – пористость грунта, для глины $n = 0{,}4$.

Определяем удельный вес наносов во взвешенном состоянии:

$$\gamma_н^{взв} = \gamma_{гр} - (1 - n) \cdot \gamma_в = 19 - (1 - 0{,}4) \cdot 10 = 13 \text{ кН/м}^3. \quad (4.121)$$

Толщина слоя наносов:

$$h_н = \nabla наносов - \nabla дна = 81 - 78 = 3м, \quad (4.122)$$

где $\varphi_н = 20^o$ –угол внутреннего трения наносов.

Тогда давление грунта наносов:

$$\rho_н = 13 \cdot 3 \cdot tg^2\left(45 - \frac{20}{2}\right) = 8{,}75.$$

Равнодействующая давления наносов на 1 погонный метр определяется как:

$$E_н = \frac{\rho_н \cdot h_н}{2} = \frac{8{,}75 \cdot 3}{2} = 13{,}1 \text{ кН}. \quad (4.123)$$

Активное давление грунта

Определяем верхнюю ординату эпюры активного давления с учётом сил внутреннего трения по формуле:

$$P` = \gamma_{н} \cdot h_{н} \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot tg\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right), \quad (4.124)$$

$$P` = 13 \cdot 3 \cdot tg^2\left(45 - \frac{20}{2}\right) - 2 \cdot 40 \cdot tg\left(45 - \frac{20}{2}\right) = -29{,}14,$$

где $\gamma_{н} = 13$ кН/м^3 ;

$\gamma_{гр} = 19$кН/м^3 – удельный вес для глины;

$n_0 = 0{,}40$ – пористость глины;

$\varphi_{гр} = 20$ – угол внутреннего трения для глины;

$h_{н} = 3$м – толщина слоя наносов.

Так как грунт обладает сцеплением с, то оно уменьшает боковое давление грунта на сооружение.

где $c = 40$кПа – сцепление глины.

Определяем нижнюю ординату эпюры активного давления относительно плиты анкерного понура:

$$P'' = \left(h_{н} \cdot \gamma_n + h_{гр} \cdot \gamma_{гр}^{взв}\right) \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot tg\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right). \quad (4.125)$$

Тогда:

$$P'' = (13 \cdot 3 + 13 \cdot 8)tg^2\left(45 - \frac{20}{2}\right) - 2 \cdot 40 \cdot tg\left(45 - \frac{20}{2}\right) = 4{,}97 \text{ м}, \quad (4.126)$$

где $h_{гр} = 8$ м – толщина грунта на нижней границе слоя;

Определяем нижние ординаты эпюры активного давления с учетом плиты анкерного понура:

$$P''' = \left(\gamma_n \cdot h_{н} + \gamma_{гр}^{взв} \cdot h_{гр} + h_{пл} \cdot \gamma_{б}^{взв}\right)tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) - 2 \cdot 40 \cdot tg\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right), \quad (4.127)$$

где $h_{пл}$ – толщина анкерного понура, $h_{пл} = 0{,}5$м;

$\gamma_{б}^{взв} = (24 - 10)$ – удельный вес бетона;

Тогда

$$P''' = \left(13 \cdot 3 + 8 \cdot 13 + 0{,}5 \cdot (24 - 10)\right)tg^2\left(45 - \frac{20}{2}\right) - 2 \cdot 40 \cdot$$

$$\cdot tg\left(45 - \frac{20}{2}\right) = -4{,}22, \quad (4.128)$$

$$P'''' = \left(\gamma_n \cdot h_{\text{н}} + \gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{гр}} + h_{\text{пл}} \cdot \gamma_{\text{б}}^{\text{взв}} + h \cdot \gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}}\right) tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2}\right) - 2 \cdot 40 \cdot$$
$$\cdot\, tg\left(45 - \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2}\right), \qquad (4.129)$$

где $h = 5{,}35$ м – высота от понура до зуба плотины.

Тогда

$$P'''' = (13 \cdot 3 + 8 \cdot 13 + 0{,}5 \cdot (24 - 10) + 5{,}35 \cdot 13) tg^2\left(45 - \frac{20}{2}\right) - 2 \cdot 40 \cdot$$
$$\cdot\, tg\left(45 - \frac{20}{2}\right) = 11{,}38. \qquad (4.130)$$

Численное значение равнодействующей активного давления грунта на 1 п. м длины плотины соответствует площади эпюры активного давления грунта.

Площадь эпюры активного давления грунта вычислена при помощи программы AutoCad.

$$E_{\text{акт}} = S_{\text{эп}} = 84{,}6.$$

Пассивное давление грунта основания на плотину со стороны нижнего бьефа:

Под водобойной плитой:

$$\text{Р}_{\text{пн}}' = \gamma_{\text{бет}}{}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{пл}} \cdot tg^2\left(45 + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2}\right) = (24 - 10) \cdot 3{,}3 tg^2\left(45 + \frac{20}{2}\right) =$$
$$= 93{,}15, \qquad (4.131)$$

где $\gamma_{\text{бет}}{}^{\text{взв}} = (\rho_{\text{б}} - \rho_{\text{в}})$;

$h_{\text{пл}} = 3{,}3$ м – толщина водобойной плиты.

Давление на уровне подошвы плотины:

$$\text{Р}_{\text{пн}}'' = (\gamma_{\text{бет}}{}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{пл}} + \gamma_{\text{гр}}{}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{гр}}) \cdot tg^2\left(45 + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2}\right) =$$
$$= [(24 - 10) \cdot 3{,}3 + 18{,}4 \cdot 2] tg^2\left(45 + \frac{20}{2}\right) = 167{,}3, \qquad (4.132)$$

где $h_{\text{гр}} = 2$ м – толщина слоя грунта от низа водобойной плиты до подошвы плотины.

Равнодействующая пассивного давления находится как:

$$E_{\text{п}} = \frac{(P`_{\text{пн}} + P``_{\text{пн}}) h_{\text{гр}}}{2} = \frac{93{,}15 + 167{,}3}{2} \cdot 2 = 260{,}45 \text{ кН}. \qquad (4.133)$$

Определение нагрузки от волнового давления.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Равнодействующая волнового давления при основном и поверочном расчётных случаях может быть определена по формуле А.П. Можевитинова:

$$W_{\text{волн}} = 0.5 \cdot \rho_w \cdot g \cdot h_{1\%} \left(\frac{\bar{\lambda}}{\pi} + \frac{h_0}{2} \right), \quad (4.134)$$

где $h_0 = \frac{\pi * \mathrm{h}_{1\%}{}^2}{\bar{\lambda}_{\mathrm{d}}} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}96^2}{9{,}9} = 0{,}29$ м, (4.135)

где $\mathrm{h}_{1\%}$ – высота волны 1% обеспеченности (раздел);

$\bar{\lambda}_{\mathrm{d}}$ – средняя длина волны (раздел).

Тогда равнодействующая волнового давления:

$$W_{\text{волн}} = 0{,}5 \cdot 1 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}96 \left(\frac{9{,}9}{3{,}14} + \frac{0{,}29}{2} \right) = 15{,}52 \text{ кН}.$$

Плечо силы волны относительно уровня покоя верхнего бьефа (НПУ):

$$\mathrm{y} = \frac{\lambda_{\mathrm{d}}}{2\pi} - \frac{3}{8} \cdot \mathrm{h}_{1\%} = \frac{9{,}9}{2 \cdot 3{,}14} - \frac{3}{8} \cdot 0{,}96 = 1{,}14 \text{ м}. \quad (4.136)$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Находим значение h_0:

$$h_0 = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}6^2}{21{,}3} = 0{,}37 \text{ м}.$$

Тогда равнодействующая волнового давления:

$$W_{\text{волн}} = 0{,}5 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}6 \cdot \left(\frac{21{,}3}{3{,}14} + \frac{0{,}37}{2} \right) = 12{,}6 \text{ кН}.$$

Плечо силы волны относительно уровня покоя верхнего бьефа (ФПУ):

$$y = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} \cdot h_{1\%} = \frac{21{,}3}{2 \cdot 3{,}14} - \frac{3}{8} \cdot 1{,}6 = 4{,}82 \text{ м}. \quad (4.137)$$

Как видно из приведённых выше расчётов, величины волнового давления для основного и особого случаев сочетания нагрузок различны, при этом для

основного случая сочетаний нагрузок – волновое давление больше, это связанно с тем, что расчётная высота волн наката при основном сочетании нагрузок больше чем при особом сочетании нагрузок.

4.9.1 Расчёт прочности плотины

Все нагрузки рассчитанные ранее, на чертежах.

Расчет прочности производится по методу предельных состояний первой группы. Расчет прочности состоит в определении нормальных, касательных и главных напряжений со стороны напорной и низовой граней по контактному сечению.

В расчетах плотины на прочность сжимающие напряжения приняты со знаком «+», а растягивающие – со знаком «-».

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Расчёт краевых напряжений для основного случая в горизонтальным сечениях плотины (при расчете на 1 погонный метр длины) выполняется по формулам:

Для верховой грани:

Нормальные напряжения на контакте основание–бетон σ_y рассчитываем методом сопротивления материалов по формуле внецентренного сжатия:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B} + \frac{6 \cdot \sum M}{B^2}, \qquad (4.138)$$

где $N -$ сумма вертикальных сил, действующих на плотину,

$N = 16676.408$ кН для основного сочетания нагрузок;

M – сумма моментов всех сил, действующих на плотину,

$\mathrm{M} = 12659.63$ кН·м для основного сочетания нагрузок;

$B = 36$ м – ширина подошвы плотины.

Тогда:

$$\sigma_y^u = -\frac{16676.408}{36} + \frac{6 \cdot 12659.63}{36^2} = -272{,}57 \text{ кН/м}^2,$$

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u \cdot m_u^2 - \gamma_w \cdot H_d^u \cdot (1 - m_u^2), \qquad (4.139)$$

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

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

$$H_d^u = \nabla\text{НПУ} - \nabla\text{под} = 99 - 69{,}7 = 29{,}3 \text{ м}, \qquad (4.140)$$

$$m_u = \tan \alpha_1,$$

где α_1 – угол между напорной гранью и вертикалью. Так как у водосливной плотины напорная грань вертикальна, то $\tan\alpha_1 = 0$;

Тогда формула примет вид:

$$\sigma_x^u = -\gamma_w \cdot H_d^u = -10 \cdot 29{,}3 = -293 \text{ кН/м}^2. \quad (4.141)$$

Находим касательное напряжение на участке:

$$\tau_{xy}^u = \left(\gamma_w \cdot H_d^u + \sigma_y^u\right) \cdot m_u = 0. \quad (4.142)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u \cdot (1 + m_u^2) + \gamma_w \cdot H_d^u \cdot m_u^2 = -272{,}57 \cdot 1 + 0 = -272{,}57 \text{ кН/м}^2. \quad (4.143)$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w \cdot H_d^u = -10 \cdot 29{,}3 = -293 \text{ кН/м}^2. \quad (4.144)$$

Для низовой грани:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B} - \frac{6 \cdot \sum M}{B^2} = -\frac{16676.408}{36} - \frac{6 \cdot 12659.63}{36^2} = -521{,}84 \text{ кН/м}^2 \ . \quad (4.145)$$

$$\sigma_x^t = \sigma_y^t \cdot m_t^2 - \gamma_w \cdot H_d^t \cdot (1 - m_t^2), \quad (4.146)$$

где $m_t = 0$;

$H_d^t = \nabla\text{УНБ}_{min} - \nabla\text{ПОД} = 78{,}5 - 69{,}7 = 8{,}8$ м – напор над расчётным сечением со стороны нижнего бьефа.

Тогда

$$\sigma_x^t = -521{,}84 \cdot 0 - 10 \cdot 8{,}8 \cdot (1 - 0^2) = -88 \text{ кН/м}^2.$$

Находим касательное напряжение на участке:

$$\tau_{xy}^t = -\left(\gamma_w \cdot H_d^t + \sigma_y^t\right) \cdot m_t = -(10 \cdot 8{,}8 - 521{,}84) \cdot 0 = 0 \text{ кН/м}^2. \quad (4.147)$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^t = \sigma_y^t \cdot (1 + m_t^2) + \gamma_w \cdot H_d^t \cdot m_t^2, \quad (4.148)$$

$$\sigma_3^t = -521{,}84 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 8{,}8 \cdot 0^2 = -521{,}84 \text{ кН/м}^2.$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^t = -\gamma_w \cdot H_d^t = -10 \cdot 8{,}8 = -88 \text{ кН/м}^2. \quad (4.149)$$

Расчёт краевых напряжений сводим в таблицу 4.10

Таблица 4.10-Краевые напряжения действующие на плотину

Напряжение	Основной случай	
	Напорная грань	Низовая грань
σ_y	$-272{,}6$	$-521{,}84$
σ_x	-293	-88
τ_{xy}	0	0
σ_1	$-272{,}6$	-88
σ_3	-293	$-521{,}84$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Для верховой грани:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B} + \frac{6 \cdot \sum M}{B^2}, \quad (4.150)$$

где N=15333,31 кН для особого сочетания нагрузок(таблица 4.7);
M= 17081,35 кН·м для особого сочетания нагрузок(таблица 4.7).

Тогда:

$$\sigma_y^u = -\frac{15333{,}31}{36} + \frac{6 \cdot 17081{,}35}{36^2} = -346{,}85 \text{ кН/м}^2,$$

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u \cdot m_u^2 - \gamma_w \cdot H_d^u \cdot (1 - m_u^2). \quad (4.151)$$

Напор над расчётным сечением со стороны верхнего бьефа:

$$H_d^u = \nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{под} = 101 - 69{,}7 = 31{,}3 \text{ м}, \quad (4.152)$$

$$m_u = \tan \alpha_1,$$

где α_1 – угол между напорной гранью и вертикалью. Так как у водосливной плотины напорная грань вертикальна, то $\tan \alpha_1 = 0$.

Тогда формула примет вид:

$$\sigma_x^u = -\gamma_w \cdot H_d^u = -10 \cdot 31{,}3 = -313 \text{ кН/м}^2. \quad (4.153)$$

Находим касательное напряжение на участке:

$$\tau_{xy}^u = \left(\gamma_w \cdot H_d^u + \sigma_y^u\right) \cdot m_u = 0. \quad (4.154)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u \cdot (1 + m_u^2) + \gamma_w \cdot H_d^u \cdot m_u^2 = -346{,}85 \cdot 1 + 0 = -346{,}85 \text{ кН/м}^2.$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w \cdot H_d^u = -10 \cdot 31{,}3 = -313 \text{ кН/м}^2. \quad (4.155)$$

Для низовой грани:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B} - \frac{6 \cdot \sum M}{B^2} = -\frac{15333{,}31}{36} - \frac{6 \cdot 17081}{36^2} = -505{,}06 \text{ кН/м}^2, \quad (4.156)$$

$$\sigma_x^t = \sigma_y^t \cdot m_t^2 - \gamma_w \cdot H_d^t \cdot (1 - m_t^2), \quad (4.157)$$

где $m_t = 0$;

$H_d^t = \nabla\text{УНБ}_{max} - \nabla\text{ПОД} = 85 - 69{,}7 = 15{,}3$ *м* – напор над расчётным сечением со стороны нижнего бьефа.

Тогда:

$$\sigma_x^t = -505{,}06 \cdot 0 - 10 \cdot 15{,}3 \cdot (1 - 0^2) = \text{- } 153 \text{ кН/м}^2.$$

Находим касательное напряжение на участке:

$$\tau_{xy}^t = -\left(\gamma_w \cdot H_d^t + \sigma_y^t\right) \cdot m_t, \quad (4.158)$$

$$\tau_{xy}^t = -(10 \cdot 15{,}3 - 505{,}06) \cdot 0 = 0 \text{ кН/м}^2.$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^t = \sigma_y^t \cdot (1 + m_t^2) + \gamma_w \cdot H_d^t \cdot m_t^2, \quad (4.159)$$

$$\sigma_3^t = -505{,}06 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 15{,}3 \cdot 0^2 = -505{,}06 \text{ кН/м}^2.$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^t = -\gamma_w \cdot H_d^t = -10 \cdot 15{,}3 = -153 \text{ кН/м}^2. \quad (4.160)$$

Расчёт краевых напряжений сводим в таблицу 4.11

Таблица 4.11- Краевые напряжения действующие на плотину

Напряжение	Особый случай	
	Напорная грань	Низовая грань
σ_y	-346,85	-505,06
σ_x	-313	-153
τ_{xy}	0	0
σ_1	-346,85	-153
σ_3	-313	$-505{,}06$

После определения напряжений необходимо проверить сооружение на прочность. В качестве основного материала принимаем бетон класса В20 с расчётным сопротивлением бетона на сжатие $R_b = 11500$ кН/м^2.

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

1) Во всех точках плотины:

$$\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot \sigma_3 \leq \gamma_{cd} \cdot R_b, \tag{4.161}$$

где $\gamma_n = 1.20$ – коэффициент надежности по назначению в зависимости от класса сооружения; (пункт 5.3[6]).

Основное сочетание нагрузок и воздействий

где γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок, для основного расчетного случая $\gamma_{lc} = 1{,}0$; (пункт 5.3[6]);

γ_{cd} – коэффициент условий работы, для основного расчетного случая $\gamma_{cd} = 0{,}9$; (пункт 5.3[6]).

Проверяем условие:

$$1.20 \cdot 1.0 \cdot |-521{,}84| \leq 0.9 \cdot 11500,$$

$$521{,}84 \text{ кН/м}^2 \leq 10350 \text{ кН/м}^2.$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

$\gamma_{lc} = 0{,}9$; (пункт 5.3[6]);

$\gamma_{cd} = 1$; (пункт 5.3[6]).

Проверяем условие:

$$1{,}2 \cdot 0{,}9 \cdot |-505{,}06| \leq 1 \cdot 11500,$$

$$505{,}06 \text{ кН/м}^2 \leq 11500 \text{ кН/м}^2.$$

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

$$\sigma_y^u < 0. \quad (4.162)$$

Основное сочетание нагрузок и воздействий

$$-272{,}57\ \text{кН/м}^2 < 0. \quad (4.163)$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

$$-346{,}85\ \text{кН/м}^2 < 0. \quad (4.164)$$

3)В зоне верховой грани плотины:

$$\left|\sigma_y^u\right| \geq 0{,}25 \cdot \gamma_w \cdot H_d^u. \quad (4.165)$$

Основное сочетание нагрузок и воздействий

$$272{,}57\ \text{кН/м}^2 > 0{,}25 \cdot 10 \cdot 29{,}3\ \text{кН/м}^2,$$

$$272{,}57\ \text{кН/м}^2 > 73{,}25\ \text{кН/м}^2.$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

$$346{,}85\ \text{кН/м}^2 > 0.25 \cdot 10 \cdot 31{,}3\ \text{кН/м}^2,$$

$$346{,}85\ \text{кН/м}^2 > 78{,}25\ \text{кН/м}^2.$$

4.9.2 Расчёт устойчивости плотины

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

Плотины рассчитывают по первому предельному состоянию-по потере несущей способности.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Сила сопротивления сдвигу:

$$R = \left(G_{пл} + G_б + Q_з + Q_п - W_ф - W_{взв} + W_в + W_н + Q_{понур}\right) \cdot \text{tg}\,\varphi + \text{Е}_п \cdot \gamma_c' + \\ + c \cdot \omega, \quad (4.166)$$

где φ – угол внутреннего трения для грунта основания, для глины во взвешенном состоянии $\varphi = 15^\circ$;

c – сцепление для глины, $c = 40$ кН/м^2(таблица 1[15]);

ω – горизонтальная проекция площади подошвы плотины, при расчёте на 1 погонный метр, $\omega = B \cdot 1 = 36$ м^2.

Тогда согласно формуле находим силу сопротивления сдвигу:

$$R = (10876{,}07 + 4924{,}42 + 43{,}84 - 1799{,}9 - 1236{,}06 + 157{,}208 + 111{,}03 + 1661{,}22) \cdot 0{,}267 + 208{,}36 \cdot 0{,}7 + 40 \cdot 36 = = 5520{,}85 \text{ кН/м}.$$

Сдвигающая сила:

$$F = T_в - T_н + W_{волн} + E_н + E_а = 4210{,}8 - 379{,}8 + 22{,}08 + 101{,}52 = = 3970{,}12 \text{ кН/м}. \quad (4.167)$$

По формуле условие на сдвиг:

$$\frac{5520{,}85 \cdot 0{,}9}{3970{,}12 \cdot 1{,}0} = 1{,}26 > 1{,}25.$$

Условие против сдвига соблюдается.

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Находим силу сопротивления сдвигу:

$$R = (10876{,}07 + 4924{,}42 + 43{,}84 - 1619{,}44 - 7860{,}65 + 3825{,}2 + +1964{,}5) \cdot 0{,}267 + 208{,}36 \cdot 0{,}7 + 40 \cdot 36 == 4833{,}59 \text{кН/м}.$$

Сдвигающая сила:

$$F = 4805{,}3 - 3148{,}2 + 12{,}64 + 22{,}08 + 101{,}52 = 1794{,}34 \text{ кН/м}.$$

Определяем условие на сдвиг:

$$\frac{4833{,}59 \cdot 1}{1794{,}34 \cdot 0{,}9} = 2{,}9 > \gamma_n = 1{,}25.$$

Условие против сдвига соблюдается.

4.10 Проектирование грунтовой плотины

В створе Ярославской ГЭС находится большое количество песка и суглинистого материала. Это и будет определяющим фактором при выборе

материала грунтовой плотины. Исходя от материала, находящегося в створе, плотина будет неоднородной, из песчаного грунта с суглинистым ядром.

Заложение откосов грунтовой плотины:

1. Заложение верхового откоса m_1 – 1:3,0;
2. Заложение низового откоса m_2 – 1:2,5.

Ширина по гребню будет зависеть от класса дороги. В нашем случае выберем IV класс дороги с шириной по гребню $b = 10$ м.

Также предусмотрим дренажный банкет с низового откоса. Выполненный из каменной наброски. Высота дренажного банкета – 8м, заложение откосов m_4, m_3– 1:1,25 и шириной по гребню – 5,14 м.

4.10.1 Определение отметки гребня земляной плотины и гребня быка

Отметка гребня земляной плотины:

$$\nabla ГГП = \nabla НПУ + h_s, \quad (4.168)$$

где h_s- превышение гребня плотины над расчётным уровнем в ВБ, создаваемое для учёта волнового воздействия.

$$h_s = h_{run1\%} + \Delta h_{set} + a\ , \quad (4.169)$$

где $h_{run1\%}$- высота наката волн на откос расчётной обеспеченностью 1%;

Δh_{set} - высота ветрового нагона; a - конструктивный запас, принимаемый не менее 0,5 м.

$$\Delta h_{set} = K_w \cdot \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot d} \cdot cos\alpha_w, \quad (4.170)$$

где α_w -угол между продольной осью водоёма и направлением ветра, градусы (буду рассматривать перпендикулярное направление ветра в сторону плотины, 0°С), принимаем $cos\alpha_w = 1$;

V_w -скорость ветра;

L – длина разгона волны- скорость ветра 18м/с, определяется по плану водохранилища с учетом розы ветров, L=17800 м ; и скорость ветра 10м/с, определяется по плану водохранилища с учетом розы ветров, L=14000 м ;

K_w - коэффициент, принимаемый по таблице 10; d - средняя высота водохранилища.

Расчетные характеристики ветра занесены в таблицу 4.9.

Таблица 4.9– Расчетные характеристики ветра

V_w м/с	10	20	30	40	50
$K_w \cdot 10^{-6}$	1.2	2.1	3	3.9	4.8

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Для расчета элементов волн при основном сочетании нагрузок и воздействий (при НПУ) обеспеченность расчетной скорости ветра составляет для сооружений 1 класса – 2%.

За расчетную скорость принимаем скорость ветра для заданного района строительства (Ярославская область, город Ярославль) на высоте 10 м над поверхностью земли.

Для скорости ветра $V_w = 18$ м/с ; $K_w = 1{,}92 \cdot 10^{-6}$(таблица 4.9).

Средняя глубина водохранилища:

$$d = \frac{\nabla НПУ - \nabla ДНА}{2} = \frac{99-78}{2} = 10{,}5 \text{ м.} \quad (4.171)$$

Высота ветрового нагона:

$$\Delta h_{set} = \frac{1{,}92 \cdot 10^{-6} \cdot 18^2 \cdot 17800}{9{,}81 \cdot 10{,}5} cos0 = 0{,}01 \text{ м.}$$

Определим высоту волны 1% обеспеченности:

Вычислим безразмерные комплексы:

$$\frac{gL}{v^2} = \frac{9{,}81 \cdot 17800}{18^2} = 538{,}9, \quad (4.172)$$

$$\frac{gt}{v} = \frac{9{,}81 \cdot 21600}{18} = 11772, \quad (4.173)$$

где t=6 ч- период развития волн на водохранилище.

По графику ([4] рис.1) по верхней огибающей кривой для глубоководной зоны и значениям $\frac{gL}{v^2}$ и $\frac{gt}{v}$ определяются параметры $\frac{g\bar{h}}{v^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v}$.

При $\frac{gL}{v^2} = 538{,}9$; $\frac{g\bar{h}}{v^2} = 0{,}014$ и $\frac{g\bar{T}}{v} = 1{,}38$; (4.174)

При $\frac{gt}{v} = 11772$; $\frac{g\bar{h}}{v^2} = 0{,}09$ и $\frac{g\bar{T}}{v} = 3{,}9$. (4.175)

Используя меньшие полученные значения $\frac{g\bar{h}}{v^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v}$,вычислим средний период волны $\bar{T}$ и среднюю высоту волны $\bar{h}$:

$$\bar{h} = \frac{0{,}014 \cdot v^2}{g} = \frac{0{,}014 \cdot 18^2}{9{,}81} = 0{,}46 \text{ м,} \quad (4.176)$$

$$\bar{T} = \frac{1{,}38 \cdot v}{g} = \frac{1{,}38 \cdot 18}{9{,}81} = 2{,}53 \text{ с.} \quad (4.177)$$

Вычислим среднюю длину волны:

$$\overline{\lambda_d} = \frac{g\overline{T}^2}{2\pi} = \frac{9{,}81 \cdot 2{,}53^2}{2 \cdot 3{,}14} = 9{,}9 \text{ м.} \quad (4.178)$$

Проверяем условие для глубоководной зоны

$$d = 10{,}5 \text{ м} > 0{,}5 \cdot \overline{\lambda_d} = 4{,}95 \text{ м.} \quad (4.179)$$

Условие выполнено.

Определим высоту волны 1% обеспеченности:

$$h_{1\%} = \bar{h}k_i = 0{,}46 \cdot 2{,}1 = 0{,}96 \text{ м.} \quad (4.180)$$

где k_i=2,1 коэффициент, принимаемый по графику([4] рис. 2).

Высоту наката волн на откос 1% обеспеченности для фронтально подходящих волн при глубине перед сооружением.

$d = 10{,}5$ м $> 2h_{1\%} = 2 \cdot 0{,}96 = 1{,}92$ м определяем по формуле:

$$h_{run1\%} = k_r k_p k_{sp} k_{run} h_{1\%} = 1 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}42 \cdot 2{,}2 \cdot 0{,}96 = 2{,}69 \text{ м,} \quad (4.181)$$

где k_r=1 и k_p=0,9- коэффициенты шероховатости и проницаемости откоса укреплённого бетонными плитами, принимаемые по ([4] табл.6);

k_{sp}=1,42 - коэффициент, принимаемый в зависимости от угла наклона откосов и скорости ветра([4] табл. 7*);

$ctg\varphi = 3 -$ угол заложения верхового откоса;

k_{run}=2,2 - коэффициент, принимаемый по графикам ([4] рис.10*) в зависимости от пологости волны $\overline{\lambda}_d / h_{1\%}$ =9,9/0,96=10,31 на глубокой воде.

Превышение гребня плотины над расчётным уровнем в верхнем бьефе :

$$h_s = 0{,}01 + 2{,}69 + 0{,}5 = 3{,}2 \text{ м,}$$

Тогда отметка гребня грунтовой плотины:

$$\nabla ГГП = 99 + 3{,}2 = 102{,}2 \text{ м.}$$

Особое сочетание нагрузок и воздействий

Для расчета элементов волн при особом сочетании нагрузок и воздействий (при ФПУ) обеспеченность расчетной скорости ветра для сооружений 1 класса принимается 20%.

Для скорости ветра $V_w = 10$ м/с, принимаем $K_w = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$(таблица 5.1).

Средняя глубина водохранилища:

$$d = \frac{\nabla ФПУ - \nabla ДНА}{2} = \frac{101-78}{2} = 11{,}5 \text{ м.} \quad (4.182)$$

Высота ветрового нагона:

$$\Delta h_{set} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 14000}{9{,}81 \cdot 11{,}5} cos0 = 0{,}001\text{м.}$$

Определим высоту волны 1% обеспеченности:

1. Вычислим безразмерные комплексы:

$$\frac{gL}{v^2} = \frac{9{,}81 \cdot 14000}{10^2} = 1373{,}4,$$

$$\frac{gt}{v} = \frac{9{,}81 \cdot 21600}{10} = 21189{,}6.$$

2. По графику ([4] рис.1) по верхней огибающей кривой для глубоководной зоны и значениям $\frac{gL}{v^2}$ и $\frac{gt}{v}$ определяются параметры $\frac{g\bar{h}}{v^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v}$.

При $\frac{gL}{v^2} = 1373{,}4$; $\frac{g\bar{h}}{v^2} = 0{,}072$ и $\frac{g\bar{T}}{v} = 3{,}7$;

При $\frac{gt}{v} = 21189{,}6$; $\frac{g\bar{h}}{v^2} = 0{,}12$ и $\frac{g\bar{T}}{v} = 5{,}1$.

Используя меньшие полученные значения $\frac{g\bar{h}}{v^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v}$, вычислим средний период волны $\bar{T}$ и среднюю высоту волны $\bar{h}$:

$$\bar{h} = \frac{0{,}072 \cdot v^2}{g} = \frac{0{,}072 \cdot 10^2}{9{,}81} = 0{,}73 \text{ м,} \quad (4.183)$$

$$\bar{T} = \frac{3{,}7 \cdot v}{g} = \frac{3{,}7 \cdot 10}{9{,}81} = 3{,}7 \text{ с.} \quad (4.184)$$

3. Вычислим среднюю длину волны:

$$\overline{\lambda_d} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9{,}81 \cdot 3{,}7^2}{2 \cdot 3{,}14} = 21{,}3 \text{ м.} \quad (4.141)$$

Проверяется условие, характеризующее глубоководную зону водохранилища:

$$d = 11{,}5 \text{ м} > 0{,}5 \cdot \overline{\lambda_d} = 10{,}65 \text{ м}.$$

Условие выполнено. Расчеты подтверждены.

4. Определим высоту волны 1% обеспеченности:

$$h_{1\%} = \bar{h}k_i = 0{,}73 \cdot 2{,}2 = 1{,}6\text{м}, \quad (4.185)$$

где k_i=2,2 - коэффициент принимаемый по графику([4] рис. 2).

Высота наката волн на откос расчётной обеспеченностью 1%:

$$h_{run1\%} = k_r k_p k_{sp} k_{ran} h_{1\%} = 1 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}6 = 2{,}2 \text{ м}, \quad (4.186)$$

где k_r=1 и k_p=0,9- коэффициенты шероховатости и проницаемости откоса укреплённого бетонными плитами, принимаемые по ([4] табл.6);

k_{sp}=1,1- коэффициент, принимаемый по ([4] табл. 7*);

k_{run}=1.4 - коэффициент, принимаемый по графикам ([4] рис.10*) в зависимости от пологости волны $\overline{\lambda}_d / h_{1\%}$ =21,3/1,6=13,3 на глубокой воде.

Превышение гребня плотины над расчётным уровнем в верхнем бьефе:

$$h_s = 0{,}001 + 2{,}2 + 0{,}5 = 2{,}7 \text{ м}.$$

Тогда отметка гребня грунтовой плотины :

$$\nabla ГГП = 101 + 2{,}7 = 103{,}7\text{м}.$$

Отметка гребня быка бетонной водосливной плотины:

$$\nabla ГБ = \nabla ГВ + 1{,}6 \cdot H_{ст} = 93 + 1{,}6 \cdot 6 = 102{,}6\text{м} = 103 \text{ м}. \quad (4.187)$$

Отметку гребня земляной плотины и быка принимаем равной 103,7м.

Высота земляной плотины:

$$\nabla ГП - \nabla ДНА = 103{,}7 - 78 = 25{,}7 \text{ м}. \quad (4.188)$$

Земляная плотина высотой 25,7 м на глинистом основании относится ко I классу сооружений.

4.10.2 Расчет положения кривой депрессии для плотины с ядром и дренажным банкетом на водонепроницаемом основании

При расчете положения кривой депрессии будем использовать метод виртуальных длин, суть этого метода заключается в том, что ядро с

коэффициентом фильтрации ($K_я$) и средней толщиной ($\delta_{ср}$), заменяется ядром виртуальной длины $\bar{\delta}_я$, с коэффициентом фильтрации, равный коэффициенту фильтрации тела плотины. Последующий расчет выполняется, как расчет однородной плотины с уширенным гребнем, коэффициентом фильтрации тела плотины ($K_{т)}$ и принятым дренажным устройством.

Определение средней толщины ядра:

$$\delta_{ср} = \frac{\delta_в + \delta_н}{2} = \frac{3+6}{2} = 4{,}5 \text{ м}, \tag{4.189}$$

где $\delta_в$ =3 м- ширина ядра поверху;
$\delta_н$ =6 м - ширина ядра понизу.

Определяем виртуальную длину ядра:

$$\bar{\delta}_я = \delta_{ср} \cdot \frac{K_т}{K_я} = 4{,}5 \cdot \frac{10^{-5}}{10^{-8}} = 4{,}5 \cdot 10^3 = 4500 \text{ м}, \tag{4.190}$$

где $K_т = 10^{-5}$ м/с - коэффициент фильтрации тела плотины (песок средний);
$K_я = 10^{-8}$ м/ с - коэффициент фильтрации ядра (суглинок);

Определяем расстояние, на котором кривая депрессии выклинивается на поверхность воды в ВБ:

$$\lambda \text{H}_1 = \frac{m_1}{1+2\cdot m_1} \cdot H_1 = \frac{3}{1+2\cdot 3} \cdot 21 = 9\text{м}, \tag{4.191}$$

где $m_1 = 3{,}0$ - заложение верхового откоса.

Вычисляем расстояние от точки пересечения внутреннего откоса дренажной призмы с подошвой плотины до точки выклинивания кривой депрессии в дренаж:

$$l_{др} = \frac{m_3 \cdot \text{H}_2}{3} = \frac{1{,}25\cdot 7}{3} = 2{,}9\text{м}, \tag{4.192}$$

где $m_3 = 1{,}25$ - заложение откосов дренажной призмы;
$\text{H}_2 = 9$ - расстояние от ∇дна до ∇УНБ.

Определяем расстояние от начала координат до точки пересечения внутреннего откоса дренажной призмы с подошвой плотины:

$$S = m_1 \cdot d + \left(\frac{b}{2} - \frac{\delta_{ср}}{2}\right) + \bar{\delta}_я + \left(\frac{b}{2} - \frac{\delta_{ср}}{2}\right) + m_2 \cdot \left(h_{пл} - h_{пр}\right) - m_3 \cdot h_{пр} =$$

$$= 3{,}0 \cdot 4{,}2 + \left(\frac{10}{2} - \frac{4{,}5}{2}\right) + 4500 + \left(\frac{10}{2} - \frac{4{,}5}{2}\right) + 2{,}5 \cdot (25{,}7 - 8{,}0) - 1{,}25 \cdot 8{,}07 = 4552{,}26 \text{ м}, \quad (4.193)$$

где $d = 4{,}2$м - расстояние от ∇НПУ до ∇ГЗП;
$b = 10$ м - ширина гребня плотины;
$m_2 = 2{,}5$ - заложение низового откоса;
$h_{\text{пл}} = 25{,}7$м - высота плотины;
$h_{\text{пр}} = 8{,}0$ м – высота призмы.

Вычисляем удельный фильтрационный расход:

$$q = K_{\text{т}} \cdot \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 \cdot \left(S + \lambda \text{H}_1 + l_{\text{др}}\right)} = 10^{-5} \cdot \frac{21^2 - 7^2}{2 \cdot (4552{,}26 + 9 + 2{,}9)} = 4{,}3 \cdot \frac{10^{-7}\text{м}^2}{\text{с}}. \quad (4.194)$$

Определяем ординату точки выклинивания кривой депрессии в дренаж:

$$h_4 = h_3 + H_2 = 0 + 7 = 7 \text{ м}, \quad (4.195)$$

где $h_3 = f(m_3) \cdot \frac{q}{K_{\text{т}}} = 0{,}82 \cdot \frac{4{,}3 \cdot 10^{-7}}{10^{-5}} = 0{,}035$,

$f(m_3)$ – определяется по таблице 4.10 в зависимости от заложения внутреннего откоса дренажной призмы.

Таблица 4.10- Определение функции от заложения дренажной призмы

m_3	0	0,5	1	1,5	2	2,5
$f(m_3)$	0,74	0,51	0,36	0,28	0,22	0,18

При $h_3 = 0{,}0035 < \text{H}_2 = 7$м принимается $h_3 = 0$. (4.196)

Ординаты депрессионной кривой определяются по заданным значениям x с использованием зависимости:

$$h_x = \sqrt{2 \cdot \frac{q}{K_{\text{т}}} \cdot \left(S - x + l_{\text{др}}\right) + {h_4}^2} = \sqrt{0{,}086 \cdot (4555{,}2 - x) + 49}. \quad (4.196)$$

На участке до ядра задаемся x от 0 до

$$m_1 \cdot d + \frac{b}{2} - \frac{\delta_{\text{ср}}}{2} = 3{,}0 \cdot 4{,}2 + 5 - 2{,}25 = 15{,}35 \text{ м}. \quad (4.197)$$

На участке от ядра до точки пересечения внутреннего откоса дренажной призмы задаемся x в диапазоне от :

$$m_1 \cdot d + \frac{b}{2} - \frac{\delta_{\text{ср}}}{2} + \bar{\delta}_{\text{я}} = 3{,}0 \cdot 4{,}2 + 5 - 2{,}25 + 4500 = 4515{,}3\text{м}, \qquad (4.198)$$

до x = S= 4552,26 м.

Результаты расчетов сведены в таблицу 4.12 и 4.13.

Таблица 4.12– Ординаты для построения кривой депрессии на участке до ядра

x,м	0	4	8	11.4
hx,м	20.99	20.99	20.98	20.97

Таблица 4.13-Ординаты для построения кривой депрессии на участке после ядра

x,м	4515.3	4519.3	4523.3	4527.3	4531.3	4535.3	4539.3	4543.3	4547.3	4552.2
hx,м	7.24	7.22	7.19	7.17	7.15	7.12	7.10	7.07	7.05	7.02

Построенная кривая депрессии представлена на рисунке 4.1.

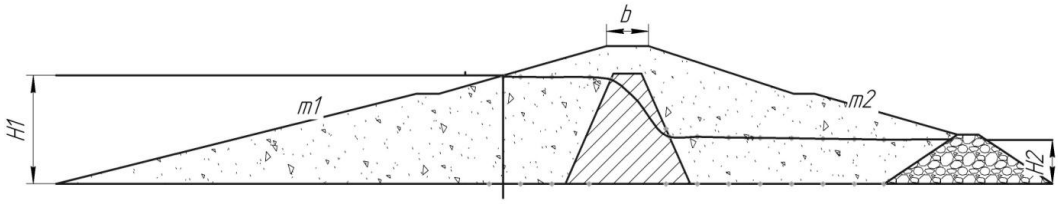


Рисунок 4.1 - Положение кривой депрессии

4.10.3 Оценка фильтрационной прочности грунтов

Фильтрационная прочность ядра обеспечивается, если выполняется условие:

$$J \leq \frac{J_{\text{кр}}}{\gamma_{\text{н}}}, \qquad (4.199)$$

где $J -$ градиент напора в расчетной области;

$J_{\text{кр}}$ - критический градиент напора для суглинка ядра;

$\gamma_{\text{н}} -$ коэффициент надежности по ответственности;

Для ядра плотины градиент напора равен

$$J_{\text{я}} = \frac{H}{\delta_{\text{ср}}} = \frac{13{,}73}{4{,}5} = 3{,}05, \qquad (4.200)$$

где $H -$ напор на ядре, $H = h_{\text{в}} - h_{\text{н}} = 20{,}97 - 7{,}24 = 13{,}73$ м

$\delta_{ср}$ −средняя толщина ядра, равная 4,5 м;

Рассматриваемая плотина имеет I класс, значит, $\gamma_н = 1{,}25$. Для ядра из суглинка $J_{кр} = 8$. Определяем соотношение:

$$\frac{J_{кр}}{\gamma_н} = \frac{8}{1{,}25} = 6{,}4 > 3{,}05. \quad (4.201)$$

Фильтрационная прочность ядра соблюдается.

Градиент фильтрационного потока при выходе в дренаж:

$$J_{вых} = \frac{\Delta h}{\Delta x}, \quad (4.202)$$

где Δh −потери напора по длине, $h = h_4 = H_2 = 7$м;

Δx − длина на которой теряется напор, т. е. Δh,

$\Delta x = m_3 \cdot H_2 = 1{,}25 \cdot 7 = 8{,}75$ м.

$$J_{вых} = \frac{7}{8{,}75} = 0{,}8.$$

Градиент напора в расчетной области фильтрации для тела призмы $J = 1{,}0$;

$$\frac{J_{кр}}{К_н} = \frac{1{,}0}{1{,}25} = 0{,}8 \geq 0{,}8 - \text{условие соблюдается.} \quad (4.203)$$

4.10.4 Расчет устойчивости низового откоса методом кругло-цилиндрической поверхности

При расчете устойчивости откоса грунтовой плотины рассматривается плоская задача, предполагая, что обрушение откоса произойдет по некоторой заданной поверхности, которую принимают в виде дуги окружности, т.е. по кругло-цилиндрической поверхности.

Задача расчета заключается в поиске области центров наиболее опасных кривых скольжения и определении наименьшего коэффициента устойчивости.

Устойчивость откоса обеспечивается если удовлетворяется условие:

$$К_у > \gamma_н, \quad (4.204)$$

где $\gamma_н = 1{,}25$ - коэффициент надежности для сооружения I класса.

Расчеты устойчивости носят вероятностный характер, так как заранее неизвестно положение наиболее опасной поверхности обрушения.

Основным расчетным случаем при определении устойчивости низового откоса является тот, при котором в ВБ отметка НПУ, в теле плотины - установившаяся фильтрация.

При расчетах вручную можно ограничиться тремя поверхностями скольжения.

Из середины низового откоса проводим два луча один вертикально, второй по углом 85°, затем из центра низового откоса радиусами R_1 и R_2 очерчиваем дуги, получая точку О.

Радиусы R_1 и R_2 зависят от заложения низового откоса и высоты плотины, определяются по таблице 4.14.

Таблица 4.14- Определение радиуса R_1 и R_2

m_2	1	2	3	4	5
$R_1/H_{пл}$	0,75	0,75	1	1,5	2,2
$R_2/H_{пл}$	1,5	1,75	2,3	3,75	4,8

При заложении низового откоса $m_2 = 2{,}5$.

Радиусы равны:

$$R_1 = 1{,}65 \cdot 25{,}7 = 42{,}4 \text{ м}, \tag{4.205}$$

$$R_2 = 2{,}85 \cdot 25{,}7 = 73{,}2 \text{ м}, \tag{4.206}$$

Из крайней точки А плотины и точки В подошвы плотины проводим дуги окружностью радиусом R:

$$R = \frac{R_н + R_в}{2} = \frac{42{,}4+73{,}2}{2} = 57{,}8 \text{ м}. \tag{4.207}$$

Проводя из точки О дугу радиусом:

$$CO = 47{,}95 \rightarrow r = {}^{CO}/_{2} = {}^{47{,}95}/_{2} = 23{,}97 \text{ м}. \tag{4.208}$$

Получаем искомый многоугольник Oedba.

Центры наиболее опасных поверхностей скольжения располагаются по линии bO, на которой в первую очередь и выбираем несколько центров О, О1, О2, О3. Вычислив подобным способом для поверхностей скольжения с центрами в других точках О1, О2, О3 коэффициенты запаса устойчивости, находим центр с наименьшим $К_у$.

После нанесения на схему плотины кривой обрушения полученную призму обрушения разбиваем вертикальными линиями на отсеки шириной:

При $R = R_2 = 73{,}2$ м,

$$b = (0{,}1 - 0{,}2)R = 0{,}2 \cdot 73{,}2 = 14{,}64. \tag{4.209}$$

Половина отсека будет равна: $b/_2 = {}^{14,64}/_2 = 7,32$.

Следом нумеруем каждый отсек. При этом вертикаль, проведенная из центра поверхности обрушения О, совпадает с осью «0» отсека.

На отсек действуют силы:

- Собственный вес грунта отсека G_n: его касательная составляющая является сдвигающей силой и она равна $G_n \cdot sin\alpha_n$, а нормальная составляющая $G_n \cdot cos\alpha_n$ является удерживающей силой.
- Сила сцепления, возникающая на подошве массива обрушения.

Эта сила является удерживающей силой против обрушения.

Взвешивающее давление воды Р действует на подошву поверхности скольжения и уменьшает удерживающую силу $G_n \cdot cos\alpha_n$. Расчет сил производится в условиях плоской задачи.

$$G_n = (\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3) \cdot b_n \ , \tag{4.210}$$

где b_n –ширина отсека;

h_1 –высота слоя от откоса до кривой депрессии;

γ_1 –удельный вес грунта тела плотины в состоянии естественной влажности в первом отсеке;

h_2 – высота слоя в первом отсеке от кривой депрессии до подошвы плотины;

γ_2 –удельный вес грунта тела плотины в водонасыщенном состоянии;

h_3 –высота слоя от подошвы плотины до кривой обрушения;

γ_3 –удельный вес грунта основания плотины в водонасыщенном состоянии.

Фильтрационное давление на n – отсек:

$$\mathrm{P}_n = \gamma_0 (h_{2n} + h_{3n}) \cdot b_n / cos\alpha_n, \tag{4.211}$$

где b_n –ширина отсека;

γ_0 –удельный вес воды 10 кН/м^3;

$\frac{b_n}{cos\alpha_n}$ –длина хорды основания отсека;

α_n –угол между вертикалью, опущенной из центра кривой скольжения О, и радиусом, который направлен на середину хорды основания отсека.

Расчет устойчивости производится по следующей формуле:

$$\mathrm{K_у} \geq \frac{\sum (G_n \cdot cos\alpha - P) \cdot tg\varphi + \sum c_n \cdot \frac{b_n}{cos\alpha}}{\sum G_n \cdot sin\alpha}. \tag{4.212}$$

Физико-механические свойства грунтов занесены в таблицу 4.14.

Таблица 4.14-Физико – механических свойств грунта:

параметр	$\gamma_{ест}$ кН/м^3	n	$\varphi_{ест}$, °С	$\varphi_н$, °С	$\gamma_{взв}$ кН/м^3	С$_n$, кПа
Камень (дренажный банкет)	23,5	0,3	45°	45°	16	0,25
Песок (боковые призмы)	18	0,45	32°	26°	12,5	3
Суглинок (ядро)	18	0,4	37°	26°	12	15
Глина (основание)	17,5	0,3	25°	20°	10,5	50

Условие устойчивости откоса для первого случая:

$$k_у = \frac{11958,59}{8309,004} = 1,43$$

Условие устойчивости откоса для второго случая:

$$k_у = \frac{12543,06}{9471,08} = 1,32$$

Условие устойчивости откоса:

$$k_у = \frac{18793,6}{14608,7} = 1,28$$

Расчет устойчивости низового откоса для 3 – х случаев представлен в приложении В, таблица В1, В2, В3.Рисунки для расчета устойчивости низового откоса представлены в приложении В, рисунок В1, В2, В3.

5 Организация и производство гидротехнических работ

5.1 Определение этапов строительства

На 1 этапе строятся перемычки первой очереди и создается котлован первой очереди. При этом продольная перемычка располагается практически в русле, значительно стесняет русло.

В котловане возводится нижняя часть водосливной плотины с гребенкой, необходимой для перекрытия и пропуска строительных расходов на последующих этапах.

Также на 1ом этапе начинаются земляные работы по строительству судоходного шлюза. Судоходный шлюз располагаем на правом берегу Ярославского гидроузла.

На 2 этапе осуществляется перекрытие русла реки и постепенное переключение расходов на построенную временную гребенку в плотине и канал под судоходный шлюз. Особое внимание здесь должно уделяться тщательной разборке перемычек первой очереди в подводящем и отводящем каналах водопропускных отверстий (для уменьшения перепадов и скоростей при перекрытии русла). После перекрытия осуществляется возведение низовой перемычки второй очереди и откачка воды из котлована второй очереди.

Также продолжают работы по возведению шлюза и бетонные работы по водосливной плотине.

На 3 этапе осуществляется наращивание бетонных сооружений по всему напорному фронту до отметок, необходимых для начала наполнения водохранилища. Пропуск строительных расходов на этом этапе осуществляется через гребенку. Особенностью этого этапа является то, что на этом этапе, как правило, выполняются основные объемы бетонных работ. Именно на этом этапе по всей ширине створа реки на большую высоту возводятся основные сооружения напорного фронта; основные объемы бетонных работ выполняются и по зданию ГЭС. В связи с этим данный этап является наиболее продолжительным. В конце 3его этапа, отверстия гребенки постепенно поочередно закрывают и наращивают отметку порога до постоянной.

На 4 этапе происходит наращивание всех сооружений, начинается наполнение водохранилища и пуск первоначальных агрегатов ГЭС. Строительные расходы пропускаются через эксплуатационные отверстия водосливной плотины.

На 5 этапе осуществляется наращивание сооружений и наполнение водохранилища до проектных отметок с последовательным (поочередным) пуском всех остальных агрегатов.

5.2 Выбор схемы пропуска строительных расходов

В случае русловой компоновки выбираем способ пропуска строительных расходов при возведении сооружений без отвода реки из ее бытового русла.

На первом этапе возводим перемычки 1-й очереди, которые образуют котлован первой очереди, русло реки сужается. В осушенном котловане 1- й очереди возводим нижнюю часть водосливной бетонной плотины и часть правобережной грунтовой плотины (выравнивающую бетонную подушку, фундаментную плиту и быки на высоту необходимую для пропуска паводка).

Расход пропускается через суженное русло. Перекрытая часть русла перемычками составляет 81% ширины русла в створе.

Для назначения отметок гребня продольной и верховой поперечной перемычек определяют повышение уровней воды перед верховой перемычкой:

$$z = \frac{1}{\varphi^2} * \frac{\vartheta_c^2}{2g} - \frac{\vartheta_0^2}{2g}, \qquad (5.1)$$

где φ – коэффициент скорости, φ = 0,8 – 0,85 для трапецеидальных перемычек;
V_0 и V_c – бытовая скорость реки и скорость в суженном русле.

Находим площадь поперечного сечения суженной части русла при строительном расходе:

$\omega_c = 923$ м;

Вычисляем бытовую скорость и скорость в суженном русле реки:

$$\vartheta_0 = \frac{6119}{4253{,}49} = 1{,}43 \text{ м/с}, \qquad (5.2)$$

$$\vartheta_{\text{сж}} = \frac{6119}{(4253 - 3329)} = 6{,}6 \text{ м/с}, \qquad (5.3)$$

где w_c - площадь поперечного сечения суженной части русла при $Q_{\text{стр}}$;
w_0 - площадь поперечного сечения русла реки до стеснения при $Q_{\text{стр}}$;

Так как река судоходная, скорости сжатого течения слишком велики. В этом случае часть расхода пропускаем через недостроенный шлюз, с тем условием, чтобы скорость сжатого течения уменьшились.

$$\text{Z}=\frac{1}{0{,}85^2} * \frac{6{,}6^2}{2 \cdot 9{,}81} - \frac{1{,}43^2}{2 \cdot 9{,}81} = 2{,}96 \text{ м.}$$

Высота верховой перемычки первой очереди:

$$\text{H}_{\text{ВП}} = \text{h}_{\text{нб}} + \text{Z} + \text{a}, \qquad (5.4)$$

где $h_{\text{нб}}$ - глубина воды в нижнем бьефе, соответствующая $Q_{\text{стр}}$;
а – конструктивный запас, принимаемый равным 1 м.

$$\text{Н}_{\text{ВП}} = 6 + 2{,}96 + 1 = 10 \text{ м}, \quad (5.5)$$

$$\nabla\text{ГВП}_{1\text{оч}} = \nabla\text{дна} + \text{Н}_{\text{ВП}} = 78 + 10 = 88 \text{ м}, \quad (5.6)$$

$$\text{Н}_{\text{НП}} = h_{\text{нб}} + \text{а} = 6 + 1 = 7 \text{ м}, \quad (5.7)$$

$$\nabla\text{ГНП}_{1\text{оч}} = \nabla\text{дна} + \text{Н}_{\text{НП}} = 78 + 7 = 85 \text{ м}. \quad (5.8)$$

На втором этапе разбираем перемычки 1-й очереди. Проводим перекрытие суженной части реки. Отсыпаем верховую и низовую перемычки 2-ой очереди, образуя котлован, полностью перегораживая русло, осушаем его.

Пропуск строительных расходов производим через построенную в котловане первой очереди гребенку.

Определяем количество отверстий гребенки:

$$n = \frac{\text{Q}_{\text{стр}}}{\vartheta_{\text{н}} \cdot l \cdot h_{\text{нб}}} = \frac{6119}{3{,}5 \cdot 6 \cdot 25} = 11{,}6 = 12 \text{ отверстий}, \quad (5.9)$$

$$H_{01} = \left(\frac{Q_{стр}}{m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g}}\right) = \left(\frac{6119}{0{,}35 \cdot (12 \cdot 20) 4{,}43}\right)^{2/3} = 6{,}4 \text{ м}, \quad (5.10)$$

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2 \cdot \frac{1 + (12 - 1) \cdot 0{,}8}{12} \cdot \frac{6{,}4}{20} = 0{,}95, \quad (5.11)$$

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{1{,}1 \cdot 6119^2}{(20 \cdot 12)^2 \cdot 9{,}81}} = 4{,}1 \text{ м}, \quad (5.12)$$

$$h_n = h_{\text{нб}} - h_{\text{пор}} = 6 - 0{,}5 = 5{,}5 \text{ м}. \quad (5.13)$$

Условие $h_n = 5{,}5$ м $> h_{\text{кр}} = 4{,}1$ м – подтопленный,

$\frac{h_n}{H_0} = \frac{5{,}5}{6{,}4} = 0{,}86$, отсюда по П.Г. Киселеву $\sigma = 0{,}499$.

$$\text{Н}_{02} = \left(\frac{6119}{0{,}35 \cdot (12 \cdot 20) \cdot 4{,}43 \cdot 0{,}499 \cdot 0{,}95}\right)^{2/3} = 10{,}6 \text{ м}, \quad (5.14)$$

$$\vartheta_0 = \frac{6119}{(10{,}6 + 0{,}5) * (240 + (12 - 1) * 5)} = 1{,}86 \text{ м/с}, \quad (5.15)$$

$$\text{Н} = \text{Н}_0 - \frac{\propto \vartheta^2}{2g} = 10{,}6 - \frac{1{,}1 \cdot 1{,}86^2}{2 \cdot 9{,}81} = 10{,}4 \text{ м}. \quad (5.16)$$

Перемычки второй очереди:

$$h_{\text{пер 2оч}} = \text{Н} + h_{\text{пор}} + \text{а} = 10{,}4 + 0{,}5 + 1 = 12 \text{ м}, \quad (5.17)$$

$$\nabla\text{ГВП}_{2\text{оч}} = \nabla\text{дна} + h_{\text{пер 2оч}} = 78 + 12 = 90 \text{ м}. \quad (5.18)$$

Пропускную способность трехступенчатой гребенки при ее закрытии определяем по формуле:

$$Q_{гр} = m_1 \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \sigma_{n1} \cdot H_{01}^{\frac{3}{2}} \cdot n_1 + m_2 \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \sigma_{n2} \cdot H_{02}^{\frac{3}{2}} \cdot n_2 =$$
$$= 1975{,}7 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (5.19)$$

где m_1, m_2-коэффициенты расхода водослива с широким порогом, принимаем 0,35 со скруглением;

σ_{n1}, σ_{n2}-коэффициент, учитывающий подтопление водослива при различной высоте порога;

n_1-число отверстий с напором H_{01};

n_2-число отверстий с напором H_{02};

b - ширина водосливного пролета, равная 20м.

При бетонировании (закрытии)гребенки пропускная способность трехступенчатой гребенки равна:

Расход после периода половодья составляет 903 $\text{м}^3/\text{с}$. Гребенка проходит по условию 1975,7 $\text{м}^3/\text{с} > 903 \text{ м}^3/\text{с}$.

Высота бетонирования за затвором $h_{\text{гр}}$=3м, $k_{\text{гр}} = 3$, так как гребенка $3^{\text{х}}$ ступенчатая.

Высота затвора:

$$h_{затв} = k \cdot h_{гр} + 0{,}5 = 9 + 0{,}5 = 9{,}5 \text{ м}. \quad (5.20)$$

5.3 Определение объемов основных работ

5.3.1 Определение объемов земляных работ

Строительство гидротехнических сооружений отличается от строительства других промышленных сооружений выполнением больших объемов бетонных и земляных работ, которые в свою очередь определяют достаточно высокую стоимость и длительные сроки строительства.

При расчете объемов земляных работ объемы грунтов всегда определяются в плотном теле, т.е. при плотности их естественного залегания. Общий объем работ по сооружениям представляет собой сумму из объемов основных и дополнительных работ.

Для определения объемов работ пользуемся программой AutoCad.

5.3.2 Объемы земляных работ для грунтовой плотины

Грунтовая плотина – насыпная, из местного материала песка, с противофильтрационным элементом – ядром из суглинка, и дренажной призмой из каменной наброски.

Этапы возведения грунтовой плотины показаны на рисунке 5.1.

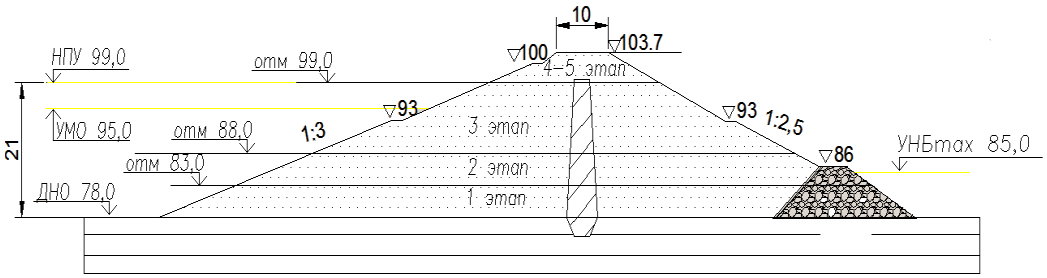


Рисунок 5.1- Этапы возведения грунтовой плотины

Правобережная грунтовая плотина

На 1ом этапе на отметке 84,0 объем равен: $V = 100462{,}5$ м^3,

На 2ом этапе на отметке 88,0 объем равен: $V = 55144{,}2$ м^3,

На 3ом этапе на отметке 99,0 объем равен: $V = 114014{,}5$ м^3,

На 4-5 этапе на отметке 103,7 объем равен: $V = 23665{,}8$ м^3.

Левобережная грунтовая плотина

На 3ом этапе на отметке 98,0 объем равен: $V = 15144{,}8$ м^3,

На 4-5 этапе на отметке 103,7 объем равен: $V = 9057{,}28$ м^3.

5.3.3 Объемы земляных работ для перемычек

Перемычки первой очереди показаны на рисунке 5.2.

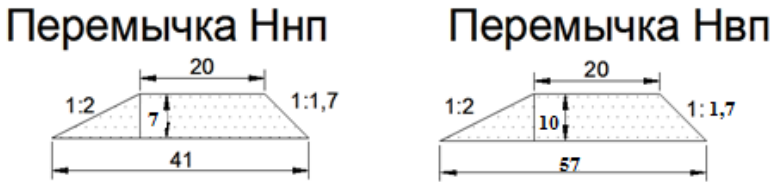


Рисунок 5.2- Перемычки первой очереди

Размеры котлована для поперечных перемычек:

где а1- расстояние низового откоса верховой перемычки;

$$a1 = H_{перем} \cdot m = 10 \cdot 1{,}7 = 17 \text{ м}, \quad (5.21)$$

где а2 – предназначены для размещения механизмов, водосбросных устройств и съездов в котлован, принимаем 20м;

а3 – расстояние откоса котлована;

$$а3 = H_{котл} \cdot m = 7 \cdot 1{,}7 = 11{,}9 \text{ м}, \quad (5.22)$$

где а4 – определяется по производственным условиям, размещение средств водоотлива, принимаем 4м;

Продольные перемычки:

а1- расстояние низового откоса продольной перемычки;

$$а1 = H_{перем} \cdot m = 10 \cdot 2 = 20 \text{ м}, \quad (5.23)$$

где а2 – предназначены для размещения механизмов, водосбросных устройств и съездов в котлован, принимаем 5м;

а3 – расстояние откоса котлована;

$$а3 = H_{котл} \cdot m = 7 \cdot 1{,}7 = 11{,}9 \text{ м}, \quad (5.24)$$

где а4 – определяется по производственным условиям, размещение средств водоотлива, принимаем 4 м.

Длина котлована поперечных перемычек:

$$L_к = (а1 + а2 + а3 + а4) \cdot 2 + b, \quad (5.25)$$

где b- длина водосливной плотины с учетом глухой секции, 350м;

$$L_к = (17 + 5 + 11{,}9 + 2) \cdot 2 + 350 = 422 \text{ м}, \quad (5.26)$$

Длина продольных перемычек:

$$L_к = (а1 + а2 + а3 + а4) + b, \quad (5.27)$$

где b -ширина водосливной плотины с учетом гасителей, 223м;

$$L_к = (20 + 5 + 11{,}9 + 2) + 223 = 262 \text{ м},$$

Для подсчета объема котлована, сначала вычисляем площадь отдельных частей котлована.

Площадь нижней части котлована:

$$S_1 = (а2 \cdot 2 + b)(а4 + b + n \cdot \delta_б) = (20 \cdot 2 + 350)(2 + 260 + 13 \cdot 5) = \\ = 127530 \text{ м}^2, \quad (5.28)$$

$$S_2 = (а3 \cdot 2 + а4 \cdot 2 + b) \cdot (а3 + а4 + b + n \cdot \delta_б) = 27528 \text{ м}^2, \quad (5.29)$$

Площадь верхней части котлована:

$$S_3 = \left((\text{a2} + \text{a3} + \text{a4}) \cdot 2 + b\right)(\text{a2} + \text{a3} + \text{a4} + b + n \cdot \delta_б) = 35432 \text{ м}^2,$$

$$S_4 = \left((\text{a1} + \text{a2} + \text{a3} + \text{a4})\text{м2} + b\right)(\text{a1} + \text{a2} + \text{a3} + \text{a4} + b + n \cdot \delta_б) = \\ = 44440 \text{ м}^2. \quad (5.30)$$

Вычисляем объем котлована по формуле объема усеченной пирамиды:

$$V = \frac{1}{3} \cdot h \cdot \left(S_{\text{ниж}} + S_{\text{верх}} + \sqrt{S_{\text{ниж}} \cdot S_{\text{верх}}}\right). \quad (5.31)$$

Объем нижней части котлована:

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{h_{\text{котл}}}{2} \cdot \left(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}\right) = \frac{1}{3} \cdot \frac{h_{\text{котл}}}{2} \cdot \left(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}\right) = \frac{1}{3} \cdot \frac{7}{2} \cdot \\ \left(127530 + 27528 + \sqrt{127530 \cdot 27528}\right) = 410758{,}3 \text{ м}^3. \quad (5.32)$$

Объем верхней части котлована:

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot h_{\text{котл}} \cdot \left(S_3 + S_4 + \sqrt{S_3 \cdot S_4}\right) = 458277{,}3 \text{ м}^3. \quad (5.33)$$

Объем воды котлована:

$$V = V_1 + V_2 = 410758{,}3 + 458277{,}3 = 869045{,}6 \text{ м}^3. \quad (5.34)$$

Объем выемки котлована первой очереди: $V = 226800$ м^3.

Все виды объемов работ занесен в таблицу в Приложении Г, таблица Г1.

5.4 Осушение котлована

Для осушения котлованов первой и второй очереди используется способ открытого водоотлива, который заключается в том, что откачка воды ведется непосредственно из котлована.

Бытовой расход, при котором замыкается котлован первой и второй очереди соответствует расходу после половодья равный 503 м^3/с. Уровень нижнего бьефа при данном расходе равен 82 м , который определяется по кривой связи НБ.

На начальном этапе определяем допустимые скорости понижения уровня для нескальных грунтов:

$L_0 = 0{,}5 \frac{\text{м}}{\text{сут}}$ – средняя скорость;

Определяется требуемое время для откачки:

$$\mathrm{T}_0 = \frac{\mathrm{H}_{\text{отк}}}{L_0}, \tag{5.35}$$

где $\mathrm{H}_{\text{отк}}$ –глубина воды в котлованах, определяемая по формуле:

$$\mathrm{H}_{\text{отк}} = \text{УНБ} - \text{дно} = 82 - 78 = 4 \text{ м}, \tag{5.36}$$

$$\mathrm{T}_0 = \frac{4}{0{,}5} = 8 \text{ сут.} \tag{5.37}$$

Требуемое время для откачки воды из котлованов 8 суток. Выбирается насос с допустимым напором, подачей и потребляемой мощностью насоса.

Принимаем насос марки 12НДс-Н-м с подачей 1250 $\text{м}^3/\text{с}$.

5.4.1 Котлован первой очереди

Общая производительность насосов:

$$\sum Q = \frac{2 \cdot V}{\mathrm{T}_0} = \frac{2 \cdot 869045{,}6}{8} = 217261{,}4 \text{ м}^3/\text{с}, \tag{5.38}$$

$$N = \frac{\sum Q \cdot 1{,}5}{Q_{\text{насоса}} \cdot 24} = \frac{217261{,}4 \cdot 1{,}5}{1250 \cdot 24} = 10 \text{ штук}, \tag{5.39}$$

где 1,5-50% резерв насосов.

Количество насосов требующихся для откачки воды из котлована первой очереди – 10 насосов.

5.4.2 Котлован второй очереди

Объем котлована второй очереди составляет: $V = 203850{,}2 \text{ м}^3$

Тогда общая производительность насосов:

$$\sum Q = \frac{2 \cdot V}{\mathrm{T}_0} = \frac{2 \cdot 203850{,}2}{8} = 50962{,}5 \text{ м}^3/\text{с}, \tag{5.41}$$

$$N = \frac{\sum Q \cdot 1{,}5}{Q_{\text{насоса}} \cdot 24} = \frac{50962{,}5 \cdot 1{,}5}{1250 \cdot 24} = 2{,}54 \approx 3 \text{ штуки}, \tag{5.42}$$

где 1,5-50% резерв насосов.

Количество насосов требующихся для откачки воды из котлована первой очереди –3 насоса.

Суммарный объем воды, откачиваемый из котлована, в основном слагается из первоначального геометрического объема воды в огражденном перемычками пространстве и дополнительного объема воды, поступающего за счет фильтрации через перемычки и их основание, через дно и откосы котлована и за счет поверхностного стока.

Допустимая интенсивность откачки на начальном этапе составляет 0,5 м/сут. – в котлованах из среднезернистых песков.

5.5 Выбор способа перекрытия

Перекрытие русла реки при строительстве речного гидроузла является одним из сложных этапов работ в общей схеме пропуска строительных расходов. Сущность процесса перекрытия заключается в переключении расходов воды в реке на заранее подготовленный на 1 этапе водоотводящий тракт путем постепенного или мгновенного завала русла материалом.

Для возведения Ярославского гидроузла используем фронтальный способ перекрытия русла.

Фронтальный способ перекрытия осуществляется отсыпкой каменного банкета равномерно по всей ширине прорана реки с наплавного или стационарного моста самосвалами. Для повышения эффективности отсыпки, по мере увеличения перепада и скоростей в проране, наряду с камнем отсыпают крупные каменные блоки или бетонные массивы, обычно кубы или тетраэдры весом 5 – 12 т. С выходом банкета из воды его уширяют отсыпкой камня. Способ применяется на крупных реках в размываемом основании.

5.6 Выбор транспортной схемы бетонных работ

Для транспортировки бетонной смеси от бетонного завода до сооружения принимается автомобильный вид общестроительного транспорта – автобетоновозы типа СБ-124.

Для подачи бетонной смеси в блоки бетонирования применяются специальные башенные краны КБГС-450 (кран) грузоподъемностью 10 т на максимальном вылете стрелы.

Автобетоновозы доставляют бетонную смесь к месту работы кранов, разгружают ее в бадьи, емкостью 3,2 $м^3$, которые затем кранами подаются в блок.

Уплотнение бетонной смеси в блоке бетонирования производится методом виброуплотнения с применением глубинных вибраторов марки ИВ-59 (ручной). Для уплотнения бетонных смесей с осадкой конуса 2-5 см, укладываемых в среднеармированные и неармированные конструкции. Частота колебаний 5700 кол/мин.; масса 22 кг; ориентировочно техническая производительность 12-16 $м^3$. Представляют собой вибробулавы или виброиглы длиной 40-80 см и диаметром 18-150 см.

5.7 Технологическая карта

5.7.1 Разработка котлована под водобойную плиту

Размеры котлована 325×33 (нескальное основание - глина)
Глубина котлована 6 м; толщина плиты 3 м;
Объем выемки $V_{выем} = 325 \times 33 \times 6 = 64350$ м^3
Принимаем экскаватор – прямая лопата ЭО – 5122А

Технологические характеристики экскаватора ЭО-5122А сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 Технические характеристики экскаватора ЭО – 5122А

Показатель	ЭО – 5122А
Вместимость ковша, м^3	1,6
Наибольший радиус копания, $R_к$, м	8,93
Наибольшая высота копания, $Н_к$, м	9,65
Наибольшая высота выгрузки, $Н_в$, м	5,10
Радиус выгрузки при наибольшей высоте выгрузки, $R_в$, м	4,62

$t_{цыкла} = 30$ с.

Определяем производительность экскаватора, для этого воспользуемся формулами для определения производительности машины:

$$П_ч^э = q_ц \cdot n_ц \cdot k_в, \quad (5.42)$$

где $q_ц$ − фактический объем грунта в ковше экскаватора;
$n_ц$ −число циклов в час;
$k_в$ −коэффициент использования внутрисменного рабочего времени;

$$q_ц = q_{ков} \cdot \frac{k_н}{k_р}, \quad (5.43)$$

где $q_{ков}$ −геометрическая емкость ковша экскаватора, 1,6 м^3;
$k_р$ −коэффициент разрыхления грунта, для твердой глины 1,2;
$k_н$ −коэффициент наполнения ковша, твердая глина 0,95.

Тогда

$$q_ц = 1{,}6 \cdot \frac{0{,}95}{1{,}2} = 1{,}26 \text{ м}^3. \quad (5.44)$$

Коэффициент использования внутрисменного рабочего времени по опыту эксплуатации равен $k_в = 0{,}85$ при работе в отвал, $k_в = 0{,}75$ – при работе на транспорт.

$$П_ч^э = \frac{3600}{30} \cdot 0{,}75 \cdot 1{,}26 = 113{,}4 \text{ м}^3/\text{час}, \quad (5.45)$$

$$t_{вып} = \frac{V_{выем}}{П_ч^э} = \frac{64350}{113{,}4} = 567{,}5 \text{ часа}. \quad (5.46)$$

Отвал грунта на расстоянии $l_т = 1$ км.

Выбираем самосвал КрАЗ-6444
Скорости транспортирования грунта по строительным дорогам:

Груженного $V_г = 15 \div 25$км/ч;
Порожненного $V_х = 25 \div 35$ км/ч.

Производительность самосвала:

$$t_ц = \frac{l_т}{V_т} + \frac{l_т}{V_х} + \left(t_{разг} + t_{маневр}\right) + t_з, \quad (5.47)$$

где $t_{разг}$ –время разгрузки;
$t_з$ –время загрузки.

$$\left(t_{разг} + t_{маневр}\right) = 2 \div 2{,}5 \text{ мин}. \quad (5.48)$$

Количество ковшей:

$$n_{ковш} = \frac{Q_{сам}}{\rho \cdot q_{ковш} \cdot k_н} = \frac{14}{1{,}8 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}95} = 5{,}1 \approx 5 \text{ ковшей}, \quad (5.49)$$

где ρ –плотность глины, 1,8 т/м^3.

$$t_з = t_{ц.э.} \cdot n_{ковш} = 30 \cdot 6 = 180 \text{ сек} = 0{,}05 \text{ часа}, \quad (5.50)$$

$t_ц = \frac{1{,}5}{20} + \frac{1{,}5}{30} + \frac{2}{60} + 0{,}05 = 0{,}2$ часа – время одного цикла самосвала.

Количество самосвалов:

$$N_{самосв} = \frac{t_ц}{t_{цэ} \cdot 5} = \frac{0{,}2 \cdot 3600}{30 \cdot 5} = 5 \text{ автосамосвалов}. \quad (5.51)$$

Производительность автосамосвала:

$$П_э^ч = \frac{Q \cdot A}{\rho \cdot t_ц} \cdot К_в = \frac{14 \cdot 1}{1{,}8 \cdot 0{,}2} \cdot 0{,}85 = 38{,}8 \text{ м}^3/\text{час}, \quad (5.52)$$

$$П_ас = \frac{Т \cdot g \cdot К_в}{\frac{2 \cdot l_ср}{\vartheta} + t_ц} = \frac{8 \cdot 14 \cdot 0{,}85}{\frac{2 \cdot 1}{30} + 1} = 89{,}8 \text{ т/см}, \quad (5.53)$$

где Т –продолжительность рабочей смены, 8 ч;
g –грузоподъемность автосамосвала, 14 т;
$К_в$ –коэффициент использования времени, 0,85;
$l_ср$ –дальность возки, 1 км;
ϑ –средняя скорость транспортировки, 30 км/ч;
$t_ц$ –время погрузки и разгрузки;

$$t_ц = n_к \cdot t_ц^{экск} = 5 \cdot 0{,}2 = 1 \text{ час}. \quad (5.54)$$

Передвижение экскаватора на расстояние передвижки $l_пер$:

$$l_{пер.max} = l_{х.р.},$$

$$l_{х.р.} \approx R_{p.max} - R_{p.min} = 8{,}93 - 4{,}62 = 4{,}3 \text{ м}, \quad (5.55)$$

где $l_{пер.max}$ –величина передвижки экскаватора;
$l_{х.р.}$ –длина хода рукояти.

Минимальная высота забоя из условия полного наполнения ковша должна быть равна:

$$Н_{з.min} = \frac{q'}{b_c \cdot h_c} \cdot k_з = \frac{1{,}6}{0{,}95 \cdot 0{,}9} \cdot 0{,}96 = 1{,}8 \text{ м}, \quad (5.56)$$

где $k_з = \frac{k_н}{k_р} = \frac{1{,}3}{1{,}35} = 0{,}96$ –коэффициент загрузки, (5.57)

$k_н = 1{,}3 \div 1{,}4$ –коэффициент наполнения ковша для глины;
$k_р = 1{,}35 \div 1{,}5$ –коэффициент разрыхления грунта (глина);
$b_c = 0{,}95$ –ширина стружки ковша;
$h_c = 0{,}9$ –толщина стружки;
q' –геометрическая емкость ковша;

Минимальная высота забоя равна высоте напорного вала $Н_{н.в.}$ экскаватора:

$$Н_{н.в.} = Н_{з.min} = 1{,}8 \text{ м}$$

Время, за которое экскаватор выроет котлован, составляет 24 дня.

Принимаем 2 экскаватора и 10 автосамосвалов.

5.8 Строительный генеральный план

Основным значением является решение вопросов размещения на строительной площадке производственных баз и предприятий, временных зданий, сооружений, необходимых для выполнения общестроительных, гидротехнических работ.

Схема строительного генерального плана зависит от компоновки гидроузла, состава и объема сооружений, топографической и геологической обстановки района.

Расположение производственных установок и складов на стройгенплане определяется практическими соображениями с учётом конкретных условий стройки. Бетонно-растворные узлы целесообразно размещать вблизи мест выгрузки цемента и инертных материалов, принимая во внимание расположение мест наибольшего потребления бетона и раствора. Общеплощадоччные склады закрытого хранения строительных материалов должны располагаться таким образом, чтобы были обеспечены удобные условия для их получения на всех объектах.

Административно-хозяйственные и бытовые помещения располагают в местах, приближённых к строительству основных объектов, чтобы сократить рабочим и линейным работникам время переходов для отдыха и обогрева. При размещении временных зданий и сооружений необходимо соблюдать правила пожарной безопасности при производстве строительных работ. Каждое постоянное или временное здание должно быть расположено не далее 25 м от дорог и проездов.

5.9 Календарный план

Намечаются характерные этапы основных сооружений на основе анализа особенностей конкретных условий, принципов и рекомендаций.

Устанавливается максимально необходимая конструктивная готовность каждого сооружения на каждом этапе и анализируется их технологичность. Все сооружения в плане, и по высоте разбиваются на части, возводимые в различные этапы.

6 Охрана окружающей среды

6.1 Требования по охране труда и техники безопасности для работников Ярославской ГЭС

Основными задачами в области охраны труда, техники безопасности и производственной санитарии при эксплуатации оборудования и сооружений ГЭС является создание безопасных условий труда, обучение персонала безопасным приемам работ, приемам оказания первой помощи при несчастных случаях, выявление и устранение причин производственного травматизма, повышение культуры производства, разработка и осуществление организационно-технических и санитарно-гигиенических мероприятий по предупреждению и снижению производственного травматизма и заболеваемости.

На Ярославской ГЭС должен быть организован кабинет по технике безопасности и охране труда, являющийся организационным и учебно-методическим центром по работе с персоналом.

Соблюдение безопасности труда повышает дисциплинированность работников, что, в свою очередь, ведет к повышению производительности труда, снижению количества несчастных случаев, поломок оборудования и иных нештатных ситуаций, то есть в конечном итоге повышает эффективность производства. В организации управление охраной труда осуществляет технический руководитель Ярославской ГЭС.

Для реализации задач по обеспечению безопасных условий труда на Ярославской гидроэлектростанции создано структурное подразделение-служба по охране труда и производственному контролю.

Ключевые задачи, выполняемые СОТ и ПК

— определение целей, задач и политики организации в области охраны труда;

— участие в организации работ на оборудовании и сооружениях Ярославской ГЭС;

— назначение ответственных лиц за ПО и ОТ;

— разработка мероприятий по охране труда на предприятии.

Для всех работников станции в обязательном порядке разрабатываются инструкции по охране труда.

Все работники станции должны при исполнении своих служебных обязанностей должны руководствоваться данными документами.

Инструкции по охране труда могут разрабатываться как для работников отдельных профессий, так и на отдельные виды работ. Они разрабатываются на основе межотраслевых и отраслевых правил по охране труда, типовых инструкций, требований безопасности, изложенных в технической документации завода - изготовителя оборудования, с которым имеют дело работники, с учетом конкретных условий производства и т.д. Каждой инструкции присваивается наименование и номер.

6.2 Пожарная безопасность

Комплекс мероприятий по предотвращению пожара, ограничению его распространения и средства пожаротушения на гидроэнергетических объектах предусматривается в соответствии с Федеральным законом о "Пожарной безопасности", государственным и ведомственными нормативными документами. Охрана труда и техника безопасности на предприятии, в том числе, подразумевает обучение пожарной безопасности для персонала и руководителей.

Каждый объект станции оснащается системой пожарной сигнализации, с помощью которой осуществляется контроль за противопожарным состоянием защищаемого объекта, автоматическим пуском системы пожаротушения.

На генераторах гидроузла устанавливаются электрические защиты, которые сигнализируют о наличии возгорания. Пожаротушение осуществляется вручную. В качестве огнегасящего вещества применяется распыленная вода. Тушение трансформаторов осуществляется автоматически с пуском от защит трансформатора. Предусмотрены специально установленные емкости, куда будет сливаться водно-масляная смесь, образующаяся во время тушения пожара. В этом маслосборнике предусматривается устройство для разделения воды и масла.

Все кабельные коридоры, туннели с кабелями 0,4 – 6 кВ должны иметь противопожарные стенки, делящие их на секции. Наличие сквозных отверстий между секциями 1 коридора (туннеля) не допускается. Проходы между секциями осуществляются посредством установки несгораемых герметичных дверей. Прокладки кабелей сквозь стены должны быть герметично заделаны.

Масляное хозяйство с резервуарами, маслоочистительной и регенерационной аппаратурой, входящее в состав технологических установок электростанции, трансформаторной мастерской, размещается в сооружении гидроузла. Масляное хозяйство как источник повышенной опасности предусматривает устройство новейших автоматических противопожарных защит с откачкой воздуха из помещений с автоматическим и дистанционным ручным управлением.

Источником водоснабжения систем пожаротушения, является верхний бьеф. Предпочтение отдается самотечной системе, поскольку по условиям компоновки защищаемого оборудования можно обеспечить расчетное давление перед устройствами распыления воды .Противопожарные трубопроводы обеспечивают непрерывную подачу воды в противопожарную систему, они закольцованы и разделены секционными задвижками. Трубопроводы постоянно заполнены водой, расположены в помещениях с температурой не менее +5°С, прокладка производится открыто.

Разработаны Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий, в которых изложены основные организационные и технические требования по пожарной безопасности. Подготовка ИТР, рабочих и служащих Ярославской гидроэлектростанции по пожарной безопасности состоит из следующих основных положений:

- вводный инструктаж по пожарной безопасности;
- проводимые в структурных подразделениях регулярные инструктажи (первичный, периодический, внеплановый и целевой), в тематику которых обязательно включаются вопросы пожарной безопасности;
- специальная подготовка персонала;
- занятия по пожарно-техническому минимуму для соответствующих категорий персонала;
- проведение противопожарных тренировок;
- повышение квалификации в учебных центрах, а также при проведении семинаров и целевых конференций по противопожарной защите;
- изучение и проверка знаний правил пожарной безопасности.

Проверка знаний и инструкций по пожарной безопасности и конкретные требования по работе с персоналом определяются "Правилами организации работы с персоналом на предприятиях и в учреждениях энергетического производства".

Все лица, поступающие работать на Ярославскую гидроэлектростанцию, либо принятые на временную работу, учащиеся и студенты, проходящие производственную практику, должны пройти вводный инструктаж по пожарной безопасности.

В целях выявления нарушений противопожарного режима и правил пожарной безопасности в технологических процессах энергетических предприятий, а также привлечения персонала к проведению профилактических противопожарных мероприятий, на предприятии будут создаваться пожарно-технические комиссии.

6.3 Опасности и риски для населения и персонала

На стадии строительства гидроузла для персонала идентифицируются следующие риски:

- строительные (работа на высоте, шум, вибрация, опасности, связанные с грузоподъемными механизмами и буровзрывными работами);
- автотранспортные;
- риски, связанные с воздействием на сооружения жестких климатических условий;
- риски заболеваний персонала природно-очаговыми инфекциями.

На стадии эксплуатации гидроузла идентифицируемые риски можно классифицировать на следующие группы:

− для безопасности населения и персонала, связанные с авариями на ГТС ГЭС;

− для безопасности населения и персонала, связанные с авариями на объектах инфраструктуры ГЭС .

Принципиальные решения по минимизации последствий аварий связаны, в основном, с заблаговременностью и эффективностью оповещения персонала и населения о назревающей или происшедшей аварийной ситуации. Порядок оповещения определен с использованием автоматизированного способа

оповещения, когда передача сигналов, речевой информации осуществляется по государственным каналам связи с использованием комплекса специальной аппаратуры и технических средств оповещения. Предусматривается использование современных средств связи и сигнализации (оповещения), удовлетворяющих международным стандартам.

Предусмотрено создание и размещение резервов материальных средств для ликвидации аварий: резервные запасы грунтов, материалов и оборудования. Во всех основных сооружениях гидроузла предусмотрены цементационные галереи, позволяющие при необходимости проводить повторные цементации основания.

Предусматриваются решения по беспрепятственной эвакуации людей с территории объекта в случае такой необходимости. Разрабатываются соответствующие планы ликвидации аварийных ситуаций, по которым проводятся занятия и учения. В зависимости от времени и сроков проведения планируются предупреждающая и экстренная варианты эвакуации.

Снижение рисков для безопасности и здоровья персонала и населения. Ввиду потенциальной опасности и значимых отрицательных последствий при развитии аварийных сценариев на ГТС ГЭС, предусматриваются меры по их возможной минимизации. Детально эти вопросы должны быть рассмотрены в рамках подготовки инженерно-технических мероприятий гражданской обороны, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций в Декларации безопасности Ярославской гидроэлектростанции и в Паспортах безопасности.

Это меры, направленные на снижение воздействий на окружающую среду, и на подготовку и реализацию экологически обоснованного проекта. Они будут реализовываться на протяжении всего срока существования объекта. Меры смягчения воздействий должны корректироваться при изменении производственных условий, требований нормативно-правовой базы или же при выявлении неэффективности мер.

6.4 Перечень мероприятий по охране окружающей среды

Волга берёт начало на Валдайской возвышенности на высоте 228 м. Длина реки – 3530 км, площадь бассейна – 1360 тыс. км^2. Основное питание Волги осуществляется снеговыми (60 % годового стока), грунтовыми (30 %) и дождевыми (10 %) водами.

Гидрохимический фон в створе строительства обусловлен недостаточно очищенными хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами расположенных выше по течению городов и промышленных предприятий. Из-за больших объемов сброса недостаточно очищенных сточных вод самоочищающая способность водного объекта в створе строительства – низкая. Качество воды характеризуется большими значениями нитратов, нитритов, фосфатов, общей минерализации. Поэтому сброс сточных вод с площадки строительства и в дальнейшем при эксплуатации станции должен

осуществляться с концентрациями загрязняющих веществ, не превышающими значений ПДК.

Растительный и животный мир участка строительства типичен для европейской территории России. В Ярославской области обитает более 180 видов птиц, 46 видов рыб, свыше 40 видов животных: крот, выхухоль, белка, заяц-беляк, заяц-русак, ондатра, барсук, выдра, куница лесная, горностай, ласка, волк, лисица, енотовидная собака, норка, хорь тёмный.

По характеру пребывания птиц в области они разделены условно на 6 категорий: оседлые, кочующие, гнездящиеся, зимующие, пролётные и залётные. Оседлые птицы: среднеевропейский ястреб-тетеревятник, тетерев-косач, глухарь, рябчик, серая куропатка, сизый голубь, филин, серая неясыть, желна, зелёный дятел, большой пёстрый дятел, малый пёстрый дятел, ворон, сорока, домовый воробей, полевой воробей, пищуха.

Кочующие виды близки к оседлым - они отличаются более выраженными сезонными миграциями: русский сокол, белая сова, ушастая сова, болотная сова, серая ворона, галка, сойка, европейская зеленушка, щегол, поползень, большая синица, мохноногий канюк, мохноногий сыч, ястребиная сова, длиннохвостая неясыть, седой дятел, трехпалый дятел, белоспинный дятел, ореховка, белая лазоревка, обыкновенная лазоревка.

При строительстве животному миру: орнитофауне и териофауне будет оказываться воздействие из-за проводящихся строительных работ, сопровождающихся значительным шумовым воздействием.

Водные биологические ресурсы Волги представлены следующими видами: окунь, карась, щука, жерех, сазан и др.

В соответствии с Приказом Федерального агентства по рыболовству от 17.09.2009 № 818 «Об установлении категории водных объектов рыбохозяйственного значения и особенностей добычи водных биологических ресурсов, обитающих в них и отнесенных к объектам рыболовства» река Волга на участке Ивановской области относится к водному объекту высшей категории рыбохозяйственного значения.

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

6.5 Период строительства

В период строительства будут проводиться следующие виды работ:

1. подготовка ложа водохранилища (лесосводка);
2. земельно-скальные работы;
3. буровые работы;
4. бетонные работы;
5. разработка карьеров строительных материалов;
6. функционирование бетонных и обогатительных хозяйств;
7. обслуживание и ремонт строительной и автотранспортной техники;
8. мероприятия по подготовке ложа водохранилища;
9. строительство основных сооружений.

Мероприятия по подготовке ложа водохранилища регламентированы санитарными правилами СП от 01.07.1985 № 3907 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ»

Они включают в себя:

1. перенос или инженерную защиту населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений, попадающих в зону затопления, подтопления и берегообрушения;
2. мероприятия по санитарной подготовке территории затопления;
3. мероприятия по санитарной охране водных объектов в зоне влияния водохранилища.

В связи с тем, что в зону затопления не попадают жилые строения, в числе мероприятий по санитарной подготовке ложа водохранилища основными являются мероприятия по лесосводке – очистке зоны затопления от древесной и кустарниковой растительности.

Согласно СП от 01.07.1985 №3907-85 для водохранилищ с коэффициентом водообмена менее 6, а так же для водохранилищ ёмкостью до 10 млн. м^3 лесосводка и лесоочистка обязательна на всей затапливаемой территории; лесосводка и лесоочистка обязательна также в пределах санитарных зон населённых пунктов; если древесные остатки при лесоочистке не могут быть использованы или вывезены, то они сжигаются на месте без оставления недожегов.

Лесосводку при подготовке ложа водохранилища Ярославской ГЭС необходимо выполнить на площади 65,66 тыс. га.

Производство строительно-монтажных работ связано с образованием большого количества отходов.

Отходы, образующиеся при строительстве:

1) Древесные отходы (Код отхода по ФККО-2014 1 152 110 01 215):

$$M = S \cdot q, \text{ т.} \tag{6.1}$$

$$M = 65660 \cdot 1800 = 118188000 \text{ т},$$

где $q = 1800$ т/км^2, удельное значение образования древесины;

S= 65660 га, площадь лесосводки.

2) Лом бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме (Код отхода по ФККО-2014 822 201 01 215):

$$M = \frac{N \cdot q}{100} \cdot \rho = \frac{583232{,}5 \cdot 1{,}8}{100} \cdot 2{,}5 = 26245{,}5\ , \tag{6.2}$$

где $N = 583232{,}5$ м^3 - количество бетона;

$q = 1{,}8\ \%$ - удельный норматив образования отхода;

$\rho = 2{,}5$ т/ м^3 – плотность гидротехнического бетона.

3) Лом и отходы, содержащие незагрязнённые чёрные металлы
(Код отхода по ФККО-2014 4 61 010 01 215)

$$M = \frac{N \cdot q}{100} = \frac{116646{,}5 \cdot 1}{100} = 1166{,}5 \text{ т}, \quad (6.3)$$

где $N = 116646{,}5$ т - количество используемой арматуры при строительстве;
$q = 1$ % - удельный норматив образования отхода.

Таким образом, в процессе строительных работ будет образовано следующее количество основных отходов:

- древесные –118188000 т;
- бетон –262445,5 т;
- чер. мет. –1166,5 т.

Древесные отходы, а также отходы бетона должны быть вывезены на специализированный полигон на захоронение. Отходы черного металла должны быть переданы специализированной организации на использование – переплавку.

6.6 Период эксплуатации

В период эксплуатации ГЭС воздействие на окружающую среду будет оказываться при:

- Сбросе сточных, в том числе дренажных, вод с сооружений и пристанционной площадки ГЭС;
- Выбросе загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников: сооружений станции при проведении ремонтных, окрасочных работ; от дизель-генераторов в период их периодического опробывания;
- При размещении отходов, образующихся при эксплуатации и текущих и капитальных ремонтах оборудования, зданий и сооружений: отходов энергетических масел, лома черных и цветных металлов, промасленной ветоши, аккумуляторов от резервных источников питания.

Основные мероприятия по охране атмосферного воздуха, водного объекта – реки Волга, при обращении с отходами производства и потребления, по защите населения от воздействия выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и физического воздействия представлены в Приложение Д, таблица Д1.

7 Технико-экономические показатели

7.1 Объём продаж электроэнергии и расчёт расходов на проект

7.1.1 Объёмы продаж электроэнергии

В процессе эксплуатации станция реализует на рынке 2 вида товара:

– Мощность МВт;

– Электроэнергию МВт·ч.

Мощность, вырабатываемая станцией равна установленной мощности ГЭС, и реализуется на рынке в зависимости от тарифной ставки для заданного региона по «Единым сценарным условиям» ПАО «РусГидро».

Оценка объёмов продаж рассчитанная в табличной форме представлена в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Оценка объемов продаж электроэнергии

Наименование показателя	Единица измерения	Интервалы планирования (годы)				
		2021	2022	2023	2024	2025
Установленная мощность	МВт	291	291	291	291	291
Число часов использования установленной мощности	Часы	4055	4055	4055	4055	4055
Выработка электроэнергии	МВт*ч	1180005	1180005	1180005	1180005	1180005
Расход электроэнергии на собственные нужды	%	1	1	1	1	1
Расход электроэнергии на собственные нужды	МВт*ч	11 800	11 800	11 800	11 800	11 800
Объем реализации электроэнергии	МВт*ч	1168204	1168205	1168204	1168204	1168204
Тариф на электроэнергию	руб/ МВт*ч	1284	1319	1354	1392	1429
Выручка от реализации электроэнергии	Млн.руб.	124,99	128,40	131,815	135,51	139,11
НДС к выручке	Млн.руб	19,067	19,587	20,10	20,67	21,22

7.1.2 Текущие расходы

Структура текущих расходов формируется в соответствии с заданной производственной программой.

Переменные затраты определяются как произведение норматива переменных расходов определенного вида на соответствующий стоимостной или натуральный объем.

Постоянные расходырассчитываются отдельно для каждого интервала планирования и не пропорциональны объему продаж или производства.

Формирование текущих расходов выполнено на основании «Единых сценарных условий» ПАО «РусГидро» на 2016-2041гг. (Приказ ПАО «РусГидро» от 08.02.2016 № 62) с учётом реализованной электроэнергии. Расходы рассчитывались для каждого из рассматриваемых вариантов.

Текущие расходы по гидроузлу включают в себя:

– Амортизационные отчисления;

– Расходы по страхованию имущества;

– Эксплуатационные расходы;

– Расходы на ремонт производственных фондов;

– Расходы на услуги регулирующих организаций;

– Налог на воду;

Амортизационные отчисления рассчитаны исходя из среднего срока службы основного оборудования и средней ставки амортизационных отчислений.

Расходы по страхованию имущества приняты в размере (от остаточной балансовой стоимости 0,084%;

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

Эксплуатационные расходы представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2–Эксплуатационные расходы гидроузла

Наименование	Ставка(тыс.руб/МВт)	Величина, млн. руб.
Фонд оплаты труда (ФОТ)	243,8	70,94
Прочие	264,0	76,824
Итого		147,769

Отчисления на ремонт основных производственных фондов определяем исходя из величины инвестиций на приобретение и создание основных фондов ГЭС. Удельные значения расходов на ремонт в зависимости от жизненного цикла проекта в процентах представлены в таблице 7.3

Таблица 7.3–Удельные значения расходов на ремонт

В процентах, %

Этапы проекта	Величина
От 1 до 5 лет	0,06
От 6 до 15 лет	0,09
От 16 до 25 лет	0,14
Свыше 25 лет	0,2

Расходы на услуги регулирующих представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4–Расходы на услуги регулирующих организаций

Наименование	Ставка, руб/МВт	Величина, млн.руб.
ОАО «СО-ЕЭС»	107,87	31,37
НП АТС (администратор торговой системы)	1,107	2,78
ЦФР (центр финансовых расчетов)	0,310	7,79
Итого:		34,93

Налог на воду в расчете на 1 тыс. кВт ч. в соответствии с Налоговым кодексом РФ [1] в 2016 году для реки Волга составляет 13,0 руб. (постановление Правительства РФ от 30.12.2006 г. №876).

Текущие затраты с детализацией представлены графически на рисунке 7.2.

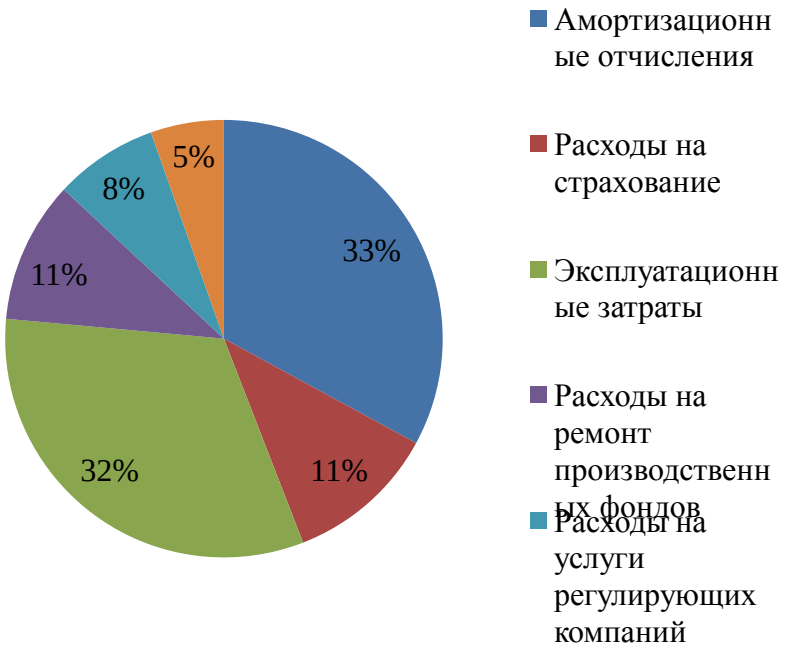


Рисунок 7.2–Структура текущих затрат, %

7.3 Налоговые расходы

Налоговые расходы являются крупной статьей оттоков денежных средств после завершения строительства Ярославской ГЭС. Значительная их часть отчисляется в региональный бюджет. Существует возможность введения льготного периода, что существенно повлияет на показатели эффективности ГЭС.

Учтены следующие налоги:

- НДС–18% от добавленной стоимости;
- взносы в социальные фонды – 34 % от фонда оплаты труда;
- налог на имущество – 2,2 % от остаточной стоимости проекта;
- налог на прибыль – 20 % от налогооблагаемой прибыли;
- налог на воду на 1 тыс. кВт ч–13,0 руб
-

7.4 Оценка суммы прибыли от реализации проекта

Прогноз прибыли от реализации инвестиционного проекта производится с помощью стандартного подхода, предполагающего последовательное вычитание из доходов предприятия (выручки) всех его издержек. В число последних включаются издержки на приобретение сырья и материалов, покупных изделий и полуфабрикатов, зарплата основных рабочих, издержки на энергию и топливо, амортизация, административные затраты, издержки, связанные с продажей и налоги.

Особое внимание уделим налогам, которые инвариантны по отношению к типу производства. Все налоговые платежи подразделяются на три группы: налоговые издержки, включенные в себестоимость, налоговые платежи, включенные в цену и налог на прибыль. Наиболее часто меняющаяся часть - это налоги, относимые на себестоимость продукции. Прогноз прибыли необходимо производить исходя из системы налогов, действующей на момент разработки инвестиционного проекта.

Основной формой отражения производственной деятельности, Ярославской ГЭС по производству электроэнергии является «Отчет о прибылях и убытках». В отчете определяем следующие показатели:

–Валовая прибыль;

–Налогооблагаемая прибыль;

–Размеры выплат по налогам;

–Нераспределенная прибыль;

–Накопленная нераспределенная прибыль;

Годовая прибыль для всего расчётного периода с 2021–2026гг представлена в таблице 7.5, чистая прибыль указана на рисунке 7.4

Таблица 7.5– Годовая прибыль в первые годы эксплуатации

Млн. руб.

Наименование показателя	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Выручка (нетто)	2822,026	2900,95	2982,85	3068,8	3152,55	3191,64
Текущие расходы	466,102	460,55	456,82	453,46	450,11	446,75
EBITDA (Валовая прибыль)	2355,92	2440,39	2526,029	2615,34	2702,44	2744,89
Скорректированный налог на прибыль	4711,84	4880,79	5052,05	5230,68	5404,89	5489,78
NOPAT(Чистая прибыль)	1884,73	1952,317	2020,82	2092,27	2161,95	2195,91
Ставка налога на прибыль Т, %	20	20	20	20	20	20

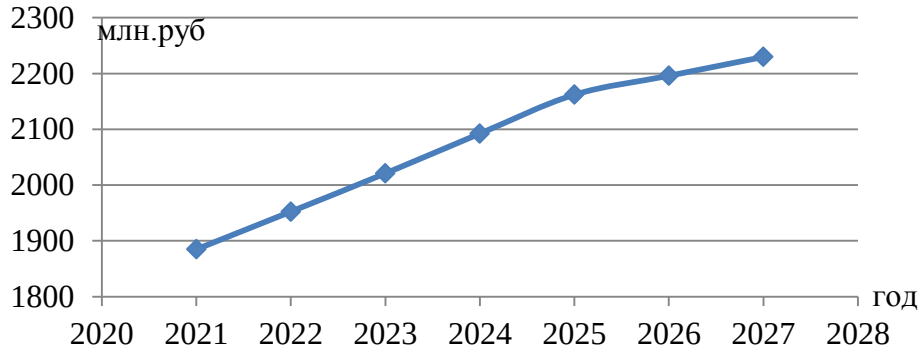


Рисунок 7.4 – Прибыль до уплаты налогов и процентов, млн. руб

7.5 Показатели эффективности проекта

Главной целью оценки инвестиционного проекта является определение показателей эффективности инвестиционного проекта.

7.5.1 Коммерческая эффективность

Эффективность проекта оценивается по ряду показателей, отражающих соотношение расходов и получаемой эффективности, для каждого из учредителей проекта. Различают следующие показатели эффективности:

–чистый дисконтированный доход NPV или интегральный эффект;

–индекс доходности *PI*;

–внутренняя норма доходности *IRR*;

–срок окупаемости (простой или дисконтированной);

–другие показатели, отражающие интересы участников или специфику проекта.

Критерии эффективности инвестиций приведены в таблице 7.6

Таблица 7.6– Показатели эффективности проекта

Показатель	Значение
Ставка дисконтирования, %	14
Период окупаемости - PB, мес	80
Чистый приведенный доход – NPV, млн.руб	4259,033
Индекс прибыльности - PI	1,69
Внутренняя норма рентабельности - IRR, %	24,32
Себестоимость электроэнергии, руб/КВт*ч	0,18
Удельные капиталовложения, руб/КВт	20921,44

7.5.2 Бюджетная эффективность

Показатели бюджетной эффективности отражают влияние результатов осуществления проекта на доходы и расходы федерального и регионального бюджетов.

Показатели бюджетной эффективности данного проекта рассчитываем на основании определения потока бюджетных средств.

К притокам бюджетных средств относятся притоки от налогов, установленных действующим законодательством.

Предполагаемые налоговые поступления в федеральный и региональный бюджеты представлены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 - Предполагаемые налоговые поступления

Бюджетная эффективность	2017	2018	2019	2020
Налоговые поступления, тыс.руб.	674,9	6018,9	103,477	115,63
В Федеральный бюджет, тыс.руб.	612	612	2166, 9	2329,73
В региональный бюджет, тыс.руб.	59,3	5403,36	10130,7	92337,9

7.6 Анализ чувствительности

Типы риска инвестиционного проекта:

– рыночные - неопределенность объемов реализации электроэнергии;

– капитальные - возможность неудачного конструктивного решения, следствием которого является изменения затрат в строительство;

– операционные - неопределенность хода проекта в его продуктивный период;

– правовые (политический, юридический, суверенный) возможность изменения правовой среды, в которой осуществляется бизнес;

– финансовые (процентный, валютный) - неопределенность обменных и процентных ставок на финансовых рынках.

Наиболее значимы для проекта рыночные, капитальные и операционные риски, которым уделено особое внимание. Соответствующие основные параметры финансовой модели перечисленным рискам приведены в таблице 7.8.

Таблица 7.8- Риски и соответствующие параметры финансовой модели

Риск	Параметры финансовой модели
Рыночный	Объем продаж
Капитальный	Капитальные затраты
Операционный	Операционные расходы

Основным методом исследования рисков является анализ чувствительности - метод оценки влияния основных параметров финансовой модели на результирующий показатель.

В данном разделе проводим анализ чувствительности величины чистого дисконтированного дохода к изменениям:

– объема инвестиций в проект;
– цены сбыта электроэнергии;
– ставки дисконтирования;

Оценка влияния указанных выше параметров проекта на величину чистого дисконтированного дохода (NPV) приведена на рисунках7.5,7.6, 7.7.

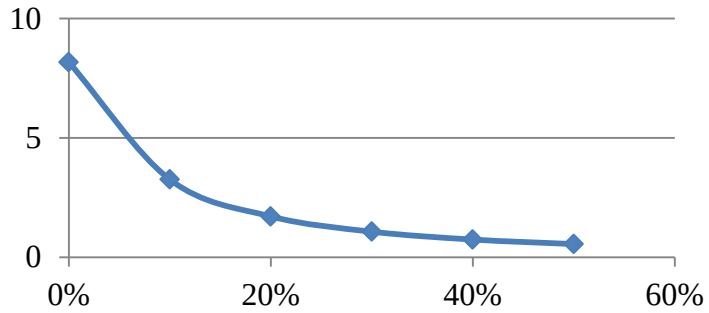


Рисунок 7.5– Зависимость NPVот ставки дисконтирования

С увеличением ставки дисконтирования, чистая приведенная стоимость уменьшается.

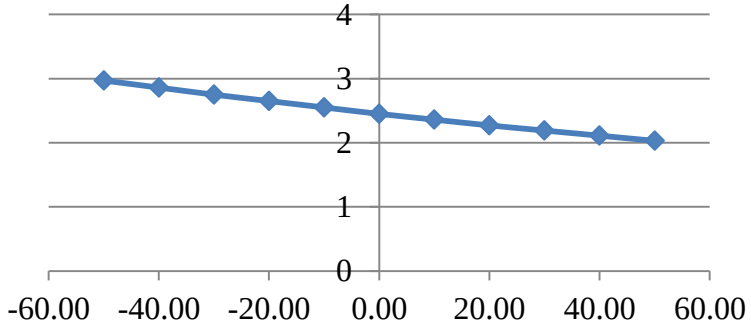


Рисунок 7.6- Зависимость NPV от ставки налогов

Увеличение ставки налога влияет на снижение чистой приведенной стоимости.

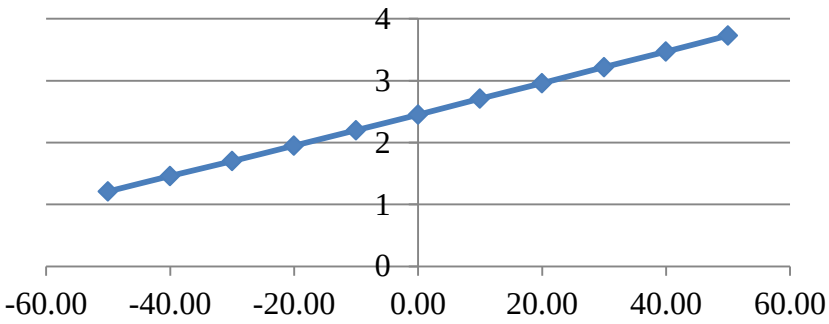


Рисунок 7.7- Зависимость NPV от цены сбыта

Увеличение цены сбыта влияет на увеличение чистой приведенной стоимости.

8 Проектирование судоходного шлюза

8.1 Общие сведения

Рациональное проектирование судоходных шлюзов в гидроэнергетических, воднотранспортных и комплексных узлах сооружений должно обеспечить нормальные условия их эксплуатации при наименьших объемах капиталовложений. Это достигается, главным образом, правильным выбором типа шлюза и компоновки его в гидроузле, системы его питания, основных конструкций и схем оборудования, наиболее отвечающих заданному напору на сооружение, а также природным и производственным условиям.

Состав данного курсового проекта:

- Выбор при заданном напоре на гидроузле типа шлюза и определение полезных размеров его камеры в соответствии с заданным расчетным составом судов и грузооборотом;
- Расположение судоходного сооружения в гидроузле с учетом топографических, гидрологических и геологических условий;

Данные для проектирования шлюза

1. Состав расчетного воза

Буксир, м:

Длина l=140 м; ширина b =16 м; осадка S = 4 м; тип буксира самоходная

Размеры барж (с обносами), м:

2. Топографические, геологические и гидрологические данные:

НПУ – 99 м; макс УНБ -85 м; мин. УНБ -78,5 м;

Грунт основания – глина. Расчетный грузооборот P = 15000 тыс. т.

Количество дней навигации N = 207;

Коэффициент использования грузоподъемности судов β = 0,8

Коэффициент неравномерности подхода судов к шлюзу φ = 1,3;

Число часов использования шлюза в сутки λ(t) = 23

8.2 Установление расчётного напора, выбор типа и определение габаритных размеров камеры и отметок порогов голов

Для установившейся отметки порога верхней головы необходимо знать навигационную сработку верхнего бьефа. Для водохранилищ сработка принимается 10..15% от наибольшего напора H_d на них.

Отметка порога верхней головы:

$$\nabla\text{НПУ} - (0{,}1 \div 0{,}15) \cdot \frac{H_d}{2} - h_i = 99 - 0{,}15 \cdot 20{,}5 - 5 = 90{,}9 \text{ м.} \qquad (8.1)$$

Отметка порога нижней головы:

$$\nabla\text{УНБ}_{min} - 5 = 78{,}5 - 5 = 73{,}5 \text{ м}. \tag{8.2}$$

8.3 Полезные габариты камеры

Полезная длина камеры:

$$L_{\text{к}} = \sum_{1}^{n} L_{\text{с}} + \sum_{1}^{n+1} \Delta l, \tag{8.3}$$

$$\Delta l = 2 + 0{,}03 l_s. \tag{8.4}$$

В камере размещается одиночное судно.

$$\Delta l = 2 + 0{,}03 \cdot 140 = 4{,}2 \text{ м},$$

$$L_{\text{к}} = 140 + 2 \cdot 4{,}2 = 148{,}4 \text{ м}.$$

Полезная ширина камеры с учетом запасов:

$$\text{В}_{\text{к}} = \sum_{1}^{n} \text{В}_{\text{с}} + \sum_{1}^{n+1} \Delta b, \tag{8.5}$$

где Δb – запас по ширине камеры с каждой стороны от группы шлюзующихся судов = 1.

$$\text{В}_{\text{к}} = 16 + 2 \cdot 1 = 18 \text{ м}.$$

Глубина на порогах:

$$h_{\text{к}} \geq 1{,}3 S_{c\,max}\,, \tag{8.6}$$

где $S_{c\,max}$ – статическая осадка расчётного судна в полном грузу; за расчётное судно принимаем баржу с осадкой равной 4 м; определяем глубину на порогах шлюза:

$$h_{\text{к}} \geq 1{,}3 * 4 = 5{,}2 \text{ м}.$$

Расчётные минимальные размеры камеры шлюза округляем до ближайших больших стандартных размеров камеры, приведённых в Приложении Е, таблица Е1.

СНиП 2.06.07-87. Таким образом, имеем следующие габаритные размеры камеры:

- полезная ширина камеры шлюза –20м;
- полезная длина камеры шлюза – 300 м;
- глубина на порогах шлюза – 5,5 м;

8.4 Расположение шлюза в гидроузле

Участки подходов сверху и снизу непосредственно примыкающие к шлюзу должны проектироваться прямолинейными, длиной не менее величины l_{st} и определяются по формуле:

$$l_{st} = l_l + 2 \cdot (l_{\text{а}} + l_s), \tag{8.7}$$

где l_l – длина шлюза, включая головы;

$l_{\text{а}}$ –длина верхнего (нижнего) участка подхода, определяемая по обязательному приложению СНиП 2.06.07-87 (формула 8.10);

l_s – длина расчётного судна 70 м.

$$l_{st} = 300 + 2 \cdot (442 + 140) = 1464 \text{ м}.$$

Ось прямолинейного участка проходимого канала должна сопрягаться с осью судового хода в реке по криволинейному очертанию с радиусом траектории центра тяжести судна r , равным не менее пяти длинам расчетного судна, входящего в буксирный состав. Принимаем:

$$r = 2l_s = 2 \cdot 140 = 280 \text{ м}. \tag{8.8}$$

8.5 Подходы к шлюзам

Ширина судового хода подходных участков:

$$b = 1{,}3 \cdot (b_{s1} + b_{s2}) = 1{,}3 \cdot (16 + 16) = 41{,}6 \text{ м}, \tag{8.9}$$

где b_{s1}, b_{s2} –ширины расходящихся расчетных судов.

Длина верхнего (нижнего) участка подхода, в пределах которого предусматривается расхождение встречных судов, должна быть не менее:

$$l_a = l_1 + l_2 + l_3, \tag{8.10}$$

где l_1 –длина участка, равная $0{,}5l_s$;

l_2 –длина участка, на котором судно при встречном движении переходит с оси шлюза на ось судового хода в канале, определяется по формуле 8.10;

l_3 –длина участка, равная $\sum_1^n l_s$.

$$l_2 = \sqrt{l_s^2 + c(4 \cdot r - c)} \quad (8.11)$$

где l_s^2 −длина расчетного судна;

r −радиус поворота судна $r = 280$ м;

c −смещение оси судового хода в канале относительно оси шлюза при выходе и входе судна.

$$c = 1{,}2 \cdot b_s + 0{,}5 \cdot \Delta b, \quad (8.13)$$

где b_s −ширина расчетного судна =16 м;

Δb −уширение, равное по формуле 8.12.

$$\Delta b = 0{,}35 \cdot \frac{l_s^2}{r} = 0{,}35 \cdot \frac{140^2}{280} = 24{,}5 \text{ м}, \quad (8.14)$$

$$c = 1{,}2 \cdot 16 + 0{,}5 \cdot 24{,}5 = 31{,}5 \text{ м},$$

$$l_2 = \sqrt{140^2 + 31{,}5 \cdot (4 \cdot 280 - 31{,}5)} = 232 \text{ м},$$

$$l_\text{а} = 0{,}5 \cdot 140 + 232 + 140 = 442 \text{ м}.$$

Ширина судового хода на участках l_2 и l_3 при поочередном движении по кривой судов в двух направлениях должна приниматься равной:

$$b_y = 4 \cdot b_s = 4 \cdot 16 = 64 \text{ м}. \quad (8.15)$$

Переходной участок l_4 между уширениями b_y и участком с прямолинейным движением судов (шириной b) должен иметь длину не менее $20 \cdot \Delta b$.

Принимаем: $l_4 = 20 \cdot \Delta b = 20 \cdot 24{,}5 = 490$ м (8.16)

На рисунке 8.1 показана схема очертания в плане подходного канала (несимметричного) к шлюзу.

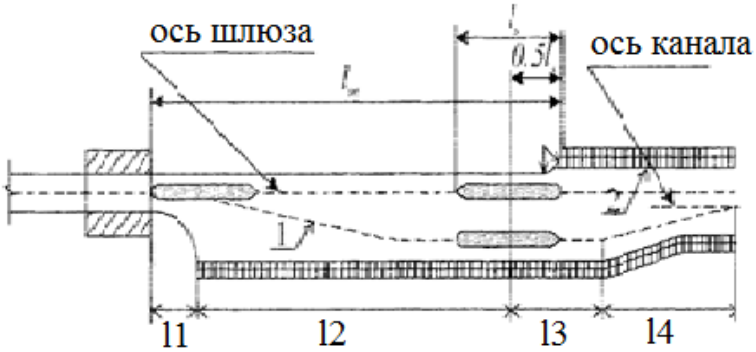


Рисунок 8.1 – Схема очертания в плане подходного канала (несимметричного) к шлюзу

8.6 Причальные и направляющие сооружения

Причальную линию располагаем в пределах участков подходов к шлюзу длиной l_{st} на продолжении лицевой грани устоев голов шлюза с правой стороны судового хода для входящих в шлюз судов. По концам причальных сооружений предусматриваем криволинейные участки с радиусом равным:

$$0{,}2l_s = 0{,}2 \cdot 140 = 28 \text{ м.} \tag{8.17}$$

Сопрягающиеся с берегом канала, а также пешеходные мостики по длине причала.

Длина причальной линии с шлюзов при двухстороннем движении

$$l_m = 0{,}5 \cdot l_s + l_2 + \sum_1^n l_s - \gamma\, l_s, \tag{8.18}$$

где l_m −длина причальной линии, принимаем от верховой грани верховой головы или низовой головы шлюза;

γ −коэффициент, равный нулю при расположении причала на незащищенном от ветровой волны участке;

$$l_m = 0{,}5 \cdot 140 + 140 + 232 = 442 \text{ м.}$$

Для плавного перехода от ширины подходных каналов к ширине камеры устраиваем направляющий пал длинной:

$$l_d = 0{,}4 \cdot l_s = 0{,}4 \cdot 70 = 28 \text{ м.} \tag{8.19}$$

8.7 Грузопропускная способность шлюза

Эксплуатационная грузопропускная способность шлюза в навигацию $P_{гр.п}$ должна быть больше, либо равна расчетному годовому грузообороту $P_{гр.об.}$.

$$P_{гр.п} \geq \frac{m \cdot \bar{P} \cdot n_{гр} \cdot N \cdot \delta}{\varphi} \geq P_{гр.об.}, \tag{8.20}$$

где m −число судов грузовых, которые одновременно шлюзуются в камере, $m = 1$;

$\bar{P}$ −грузоподъемность расчетного судна;

δ −коэффициент полезного использования грузоподъемности судов, $\delta = 0{,}8$;

$n_{гр}$ −суточное число грузовых шлюзований;

φ −коэффициент неравномерности подхода грузовых составов к шлюзам, $\varphi = 1{,}3$;

N –продолжительность навигаций, сут.

Грузоподъемность расчетного судна:

$$\overline{\mathrm{P}} = k_{\text{в}} \cdot l_s \cdot b_s \cdot (s - s_0), \tag{8.21}$$

где $k_{\text{в}}$ – коэффициент полноты водозамещения 0,85..0,9;
l_s, b_s –длина и ширина расчетного судна;
s, s_0 –осадка расчетного судна при полной загрузке и порожнего.

$$\overline{\mathrm{P}} = 0{,}9 \cdot 140 \cdot 16 \cdot (4 - 0{,}5) = 7056 \text{ т.}$$

Расчетное число суточных шлюзований для двухкамерных шлюзов:

$$n = \left(\frac{\lambda \cdot 60}{t_{\text{ср}}}\right), \tag{8.22}$$

где λ –время использования шлюза в сутки;
$t_{\text{ср}}$ –среднее время одного шлюзования.

$$t_{\text{ср}} = 0{,}25 \cdot t_{\text{од}} + 0{,}75 \cdot t_{\text{дв}}. \tag{8.23}$$

Т.е. принимаем для всех типов судов 25% односторонних и 75% двухсторонних шлюзований.

Суточное число грузовых шлюзований:

$$n_{\text{гр}} = n - n_0, \tag{8.24}$$

где n_0 –число шлюзований порожних, пассажирских и служебных судов в сутки;

За время шлюзования принимается время, необходимое на разовый пропуск через шлюз расчетного воза, определяется продолжительностью следующих операций:

- Наполнение и опорожнение камер – t;
- Открывание и закрывание ворот - $t_{\text{в}}$;
- Ввод судна в шлюз и вывод из него - $t_{\text{вв}}, t_{\text{вд}}$;
- Время учалки судна - $t_{\text{уч}}$;

Время шлюзования (мин.), при одностороннем движении судов однокамерный шлюз:

$$t_{\text{одн}} = t_{\text{вв}} + 2 \cdot \mathrm{t} + 4 \cdot t_{\text{в}} + t_{\text{вд}} + t_{\text{уч}}. \tag{8.25}$$

Время открывания и закрывания ворот при $b_c \leq 18M$, принимаем равным 2 мин. Скорость ввода $V_{вв}$ судна в камеру и скорость вывода $V_{вд}$ судна из камеры определяется по СНиП 2.06.07-87 (таблица 1, приложение2).

Принимаем $V_{вв} = 0{,}8$ м/с, $V_{вд} = 1{,}1$ м/с.

Время ввода судна в шлюз:

$$t_{вв} = \frac{1{,}4 \cdot l_c}{V_{вв}}. \tag{8.26}$$

Время вывода судна:

$$t_{вд} = \frac{1{,}1 \cdot l_c}{V_{вд}}. \tag{8.27}$$

Время учалки судна принимаем $t_{уч} = 2$ мин.

Для предварительных расчетов в соответствии со СНиП время наполнения камеры принимается равным времени опорожнения:

$$t = d \cdot \sqrt[3]{H_d \cdot b_c \cdot l_c}\,, \tag{8.28}$$

где d −коэффициент принимаемый для шлюзов с распределительной системой, 0,19;

H_d −расчетный напор на камеру.

При двустороннем движении судов , полное время шлюзование одного суда (мин.):

$$t_{дв} = t_в + t + t_{вв} + t_{вд} + t_{уч}\,, \tag{8.29}$$

$$t_{вв} = \frac{(1{,}4 \cdot l_к + l_2)}{V_{вв}}, \tag{8.30}$$

$$t_{вд} = \frac{(1{,}4 \cdot l_к + l_2)}{V_{вд}}, \tag{8.31}$$

где t −время наполнения;

$t_в$ −время закрывания ворот;

$t_{уч}$ −время учалки.

Производим расчет грузопропускной способности проектируемого шлюза.

$$t_{вв} = \frac{(1{,}4 \cdot 300/0{,}8)}{60} = 8{,}7 \text{ мин},$$

$$t_{вд} = \frac{(1{,}1 \cdot 300/1{,}1)}{60} = 5 \text{ мин},$$

$$t_{вв} = \frac{\left(\frac{(1{,}4 \cdot 300 + 232)}{0{,}8}\right)}{60} = 13{,}6 \text{ мин},$$

$$t_{вд} = \frac{\left(\frac{(1{,}4 \cdot 300 + 232)}{1{,}1}\right)}{60} = 9{,}8 \text{ мин},$$

$$t = 0{,}19 \cdot \sqrt[3]{20{,}5 \cdot 300 \cdot 20} = 9{,}4 \text{ мин},$$

$$t_{одн} = 8{,}7 + 2 \cdot 9{,}4 + 4 \cdot 2 + 5 + 2 = 42{,}5 \text{ мин},$$

$$t_{дв} = 2 + 9{,}4 + 13{,}6 + 9{,}8 + 2 = 36{,}8 \text{ мин},$$

$$t_{ср} = 0{,}25 \cdot t_{одн} + 0{,}75 \cdot t_{дв} = 0{,}25 \cdot 42{,}5 + 0{,}75 \cdot 36{,}8 = 38{,}2 \text{ мин},$$

$$\mathrm{n} = \frac{\lambda \cdot 60}{t_{ср}} = \frac{23 \cdot 60}{38{,}2} = 36,$$

$$\mathrm{n}_{гр} = 36{,}1 - 10 = 26$$

Тогда эксплуатационная грузоподъемность шлюза равна:

$$\mathrm{P}_{гр.п} \geq \frac{1 \cdot 7056 \cdot 26 \cdot 207 \cdot 0{,}8}{1{,}3} = 23369472 \text{ т } \geq 15000000 \text{ т}.$$

Следовательно, грузопропускной способности шлюза достаточно для того, чтобы обеспечить расчетный грузооборот.

8.8 Система питания

Система питания, необходимая для наполнения и опорожнения камеры, — один из основных элементов камерного шлюза, определяющих его конструктивные и эксплуатационные условия.

В данном проекте принята распределительная система питания. Распределительная система питания характеризуется подачей воды через большое количество отверстий (выпусков), расположенных в днищах и стенах камеры.

8.9 Ворота

Устанавливаются плоские металлические двустворчатые ворота. Основными элементами полотна двустворчатых ворот являются створный и вереяльный столбы, диафрагмы, ригели, обшивка, диагональные связи, опорные части - гальсбанд и пятовое устройство, контурное уплотнение и деревянная обшивка для защиты металлических конструкций от навала судов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ярославский гидроузел расположен на реке Волга в Ярославской области, на расстоянии 1 км выше по течению от поселка Фоминское. Водохранилище создано с целью хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения промышленных городов и для выработки электроэнергии.

Так как Волга является судоходной рекой, необходимо проектирование судоходного шлюза. Шлюз проектируется на правом берегу гидроузла. Шлюз однокамерный двухниточный, длина каждой камеры - 150 м, ширина – 18 м, глубина на порогах составляет 5 м. Коэффициент грузоподъемности судов составляет 0,8. Расчетный грузооборот 7000 т. Максимальные размеры судов составляют: длина – 70 м, ширина – 15 м.

Создание Ярославского гидроузла вносит большие изменения в естественный гидрологический режим. В результате регулирующего действия водохранилища сток реки в нижнем бьефе становится более равномерным в течение года.

Волга – равнинная река, имеющая, широкую пойму. Согласно СНиП 2.06.06.85 ширина створа определяется по коэффициенту створности, равному отношению длины створа по хорде к высоте плотины.

Створ Ярославской ГЭС был выбран, исходя из условий минимального объёма выемки грунта составляет 2447 тыс.м^3 и минимальной длины напорного фронта. Ширина створа составляет 900 м. В створе залегает твердая глина, песок средней крупности, которого достаточно для возведения грунтовой плотины, суглинок, который планируется использовать для ядра грунтовой плотины.

Согласно гидрографу реки Волга половодье длится апрель – май, а межень август – сентябрь. Основное питание Волги осуществляется снеговыми (60 % годового стока), грунтовыми (30 %) и дождевыми (10 %) водами. Среднегодовая температура воздуха составляет 9°С. Самые холодные месяцы январь – февраль, имеющие, среднюю температуру минус 18°С, самый теплый месяц – июль, со средней температурой плюс 23°С. Абсолютный максимум температуры воздуха достигает плюс 36°С, абсолютный минимум достигает до минус 46°С. Среднемесячная скорость ветров составляет 3,4-5,2 м/с. Промерзание грунта в течение зимы происходит на глубину 80-95 см.

Напорный фронт Ярославской ГЭС составляет 864,1 м образован: водосливной плотиной - 325 м, бетонной глухой плотиной - 25 м, зданием ГЭС - 186 м, правобережной грунтовой плотиной - 99м и левобережной грунтовой плотиной - 63,5 м. Плотины являются сооружениями 1 класса. Отметка гребня составляет 103,7 м. По гребню проходит автомобильная дорога 4 класса шириной 10 м.

Из расчетов получены отметки для Ярославского гидроузла ФПУ = 101 м, НПУ = 99 м, УНБ$_{min}$ = 78,5м, УНБ$_{max}$ = 85 м. Так же были рассчитаны расходы, как для основного расчетного случая $Q_{\text{осн}.max} = 9083\,\text{м}^3/\text{с}$, так и для поверочного $Q_{\text{пов}.max} = 10617\,\text{м}^3/\text{с}$.

Установленная мощность Ярославской ГЭС составляет 291 МВт.

В результате расчёта проекта по гидромашинам будет установлено 6 гидроагрегатов. Тип турбины: вертикальная поворотно-лопастная гидротурбина – ПЛ20-В-850, основные параметры: диаметр рабочего колеса $D_1 = 8{,}5$, синхронная частота вращения $n_1 = 78{,}9$ об./мин., отметка рабочего колеса $\nabla Z_{\text{р.к.}} = 81{,}0$ м, $\eta_{\text{Т}} = 0{,}883$. Выбран тип генератора СВ-1000/70-76 с мощностью $S_{\text{ном}} = 53{,}8\ \text{МВ} \cdot \text{А}$, произведен выбор вспомогательного оборудования и расчет основных размеров машинного зала.

Бетонная гравитационная плотина на глинистом основании с поверхностным водосливом состоит из 13 пролетов шириной в свету 20м каждый. Профиль плотины представлен треугольником, с вершиной на отметке НПУ = 99м, вертикальной напорной гранью. Заложением низовой грани. Оголовок плотины очерчен по координатам Кригера –Офицерова, максимальная высота плотины составляет 25,7 м, ширина подошвы 36 м.

В целях обеспечения монолитности плотина разделяется межсекционными швами на 13 секций, и межстолбчатыми швами на 2 столба. Плановый размер блока составляет $18\ \text{м} \times 25{,}5\ \text{м}$.

В теле плотины предусматривается вертикальный дренаж. Расстояние от оси дренажа до напорной грани, назначено в соответствии с рекомендациями СНиП 02.06.06-85, из условия не превышения критического среднего градиента напора для бетона гравитационных плотин.

Вертикальные дрены диаметром 20 см находятся на расстоянии 3 м друг от друга и имеют выход в продольную галерею, расположенную на отметке 78,5 м. Продольная галерея размером $3\ \text{м} \times 2{,}5\ \text{м}$ предназначена для производства ремонтных работ, сбора воды, выполнения визуального осмотра в эксплуатационный период и размещения КИА.

В качестве противофильтрационного устройства используется анкерный понур 21 м. Предназначенный, в том числе и для восприятия сдвигающих сил действующих на плотину, а также зубья расположенные в фундаментной плите с верховой и низовой стороны.

Предусмотрено дренирование анкерного понура, подошвы плотины и устройство вертикального дренажа.

В соответствии с рекомендациями нормативных документов (СНиП 02.06.06-85), при проектировании плотин до 40 м в широких створах сопряжение бьефов производится с помощью донного гидравлического прыжка. В целях затопленного гидравлического прыжка гашения энергии потока устраивается водобойный колодец глубиной 3 м. Водобой имеет длину 43 м, а плиты крепления выполняются толщиной 2,7 м и соответствуют устойчивости против всплытия. На рисберме крепление по направлению потока облегчается, уменьшаясь до 1,4 м. Концевой участок рисбермы выполнен в виде ковша длиной 12м.

Правильность назначения параметров гравитационной плотины и поземного контура доказано расчетами на общую прочность и устойчивость по 1 группе предельных состояний на сокращенный состав нагрузок для основного и особого сочетаний нагрузок.

В результате расчетов установлено, что все условия прочности гравитационной плотины при действии эксплуатационных нагрузок соблюдается; коэффициент устойчивости плотины против сдвига составляет 1,26 при нормативном коэффициенте надежности по ответственности 1,25.

При выполнении статических расчетов использована программа AutoCAD.

Для возведения тела неоднородной грунтовой плотины и противофильтрационного устройства в ней использовались грунты строительных материалов имеющиеся вблизи створа: песок средней крупности для упорных призм, суглинок для ядра.

Заложение откосов грунтовой плотины: верховой 3,0, низовой 2,5.

Для защиты верхового откоса грунтовой плотины от волнового воздействия и льда выполнены крепления из монолитных плит.

Крепления низового откоса образует посев трав растительного слоя 0,3м.

По высоте грунтовой плотины располагаются бермы. На верховом откосе для создания упора крепления. А на низовом для визуальных наблюдений.

Противофильтрационным элементом грунтовой плотины является ядро из суглинка. Толщина ядра возрастает сверху вниз: поверху она составляет 3м, понизу достигает 6 м. Это делается для того, чтобы градиенты напора удовлетворял фильтрационной прочности.

Для исключения фильтрационных деформаций тела основания и повышения устойчивости откосов предусмотрено устройство дренажного банкета в русле. Дренаж с телом плотины сопрягается с помощью обратного фильтра в 2 слоя.

Расчет низового откоса против оползания, выполненный по методу кругло-цилиндрических поверхностей, подтвердил верность предварительного назначения основных параметров поперечного сечения грунтовой плотины. Минимальный коэффициент устойчивости составил 1,26 при нормативном коэффициенте 1,25.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Затеева, Е. Ю. Выбор параметров ГЭС : учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию гидротехнических объектов / А. Ю. Александровский, Е. Ю. Затеева, Б. И. Силаев. – Саяногорск : СШФ КГТУ, 2008. – 114 с.

2. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы серия 1.424.3 – 7. Строительные колонны одноэтажных производственных зданий, оборудованных мостовыми опорными кранами [Электронный ресурс] :введ: 01.05.1985 // Справочная проектировщика «DWG». – Режим доступа: http://www.dwg.ru.

3. Васильев, Ю. С. Проектирование зданий гидроэлектростанций (строительная часть) : учебное пособие / Ю. С. Васильев, Г. А. Претро. – Ленинград : ЛГТУ, 1991. – 80 с.

4. Щавелев, Д. С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций : справочное пособие : в 2 т. / Под ред. Ю. С. Васильева, Д. С. Щавелева. – Т. 2. Вспомогательное оборудование гидроэлектростанций. / М. И. Гальперин, И. Н. Лукин [и др.] – Москва :Энергоатомиздат, 1990. – 336 с.

5. ГОСТ 8339-84 Установки маслонапорные для гидравлических турбин. Технические условия. – Введ. 01.07.1985 – Москва :Стандартинформ, 2008. – 8 с

6. Каталог «Продукция компании» [Электронный ресурс] // «SynergyAstana» – инновационная инжиниринговая компания в области энергетики. – Режим доступа: http://www.synergy.kz.

7. СТО 01.01.78-2012 Гидроэлектростанции. Нормы технологического проектирования. – Введ. 30.07.2012 – Москва : Федеральная гидрогенерирующая компания – РусГидро, 2012. – 307 с.

8. ГОСТ Р 53866-2010 Рельсы крановые. Технические условия. – Введ. 13.09.2010 – Москва :Стандартинформ, 2011. – 12с.

9. ГОСТ 534-78 Краны мостовые опорные. Пролеты. – Взамен ГОСТ 534-69 ;введ. 01.07.1979 – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 4 с.

10. Прошин, А. С. Монтажные краны электростанций : учебное пособие для вузов / А. С. Прошин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1973. – 248 с.

11. СТО 17330282.27.140.020-2008 Системы питания собственных нужд ГЭС Условия создания нормы и требования. – Введ. 30.07.2008. – Москва : ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. – 24 с.

12. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*. – Введ. 01.01.2013 – Москва : ОАО ЦПП, 2011. – 112 с.

13. Большаков, В. А. Справочник по гидравлике : учебное пособие для вузов / В. А. Большаков, Ю. М. Константинов, В. Н. Попов, В. Ю. Даденков. – Киев : Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 1977. – 280 с.

14. СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85. – Введ. 20.05.2011 – Москва : ОАО ЦПП, 2011. – 111 с.

15. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. – Введ. 01.01.2013 – Москва : ОАО ЦПП, 2012. – 40 с.

16. СП 41.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87. – Введ. 01.01.2013 – Москва : ОАО ЦПП, 2012. – 69 с.

17. Гидротехнические сооружения. Часть 2 : учебник для вузов / Л. Н. Рассказов [и др.]. – Москва : Издательство Ассоциаций строительных вузов, 2008. – 528 с.

18. ГОСТ 23119-78 Фермы стропильные стальные сварные с элементами из парных уголков для производственных зданий – Введ. 28.04.1978 – Москва :Стандартинформ, 2011. – 12с.

19. Об утверждении Положения о СУОТ [Электронный ресурс] : распоряжение РАО ЕЭС России от 14.01.98 № 5р // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

20. ПОТР М-016-2013 РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс] : от 24.07.2013 N 328н // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

21. РД153.-34.0-03.301-00. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий [Электронный ресурс] : от 21.12.99 N 20/2-3/3806 // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

22. Конституция Российской Федерации : офиц. текст. – Москва : Маркетинг, 2001. – 39 с.

23. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] :федер. закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

24.Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс] :федер. закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

25. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс] :федер. закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

26. О животном мире [Электронный ресурс] :федер. закон от 13.12.1996 N 52-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

27. Об особо охраняемых природных территориях [Электронный ресурс] :федер. закон от 14.03.1995 N 33-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

28.О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [Электронный ресурс] :федер. закон от 30.03.1999 N 52-ФЗ // Справочная

правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

29. О безопасности гидротехнических сооружений[Электронный ресурс] :федер. закон от 23.12.2003 N 186-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

30. Об экологической экспертизе[Электронный ресурс] :федер. закон от 16.05.2008 N 75-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

31. О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов[Электронный ресурс] :федер. закон от 06.12.2007 N 333-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

32. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации[Электронный ресурс] :федер. закон от 08.11.2007 N 258-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

33. Земельный кодекс Российской Федерации : офиц. текст. – Москва : Маркетинг, 2008. – 55 с.

34. Водный кодекс Российской Федерации : офиц. текст. – Москва : Маркетинг, 2008. – 42 с.

35. Лесной кодекс Российской Федерации : офиц. текст. – Москва : Маркетинг, 2008. – 45 с.

36. Единые сценарные условиями ОАО «РусГидро» на 2012-2037*гг.*. – Введ. 31.03.2008 – Москва : «РусГидро», 2008 – 14 с.

37. Методические рекомендациями по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике. – Введ. 07.02.2000 – Москва :ОАО РАО «ЕЭС России», 2010 – 58 с.

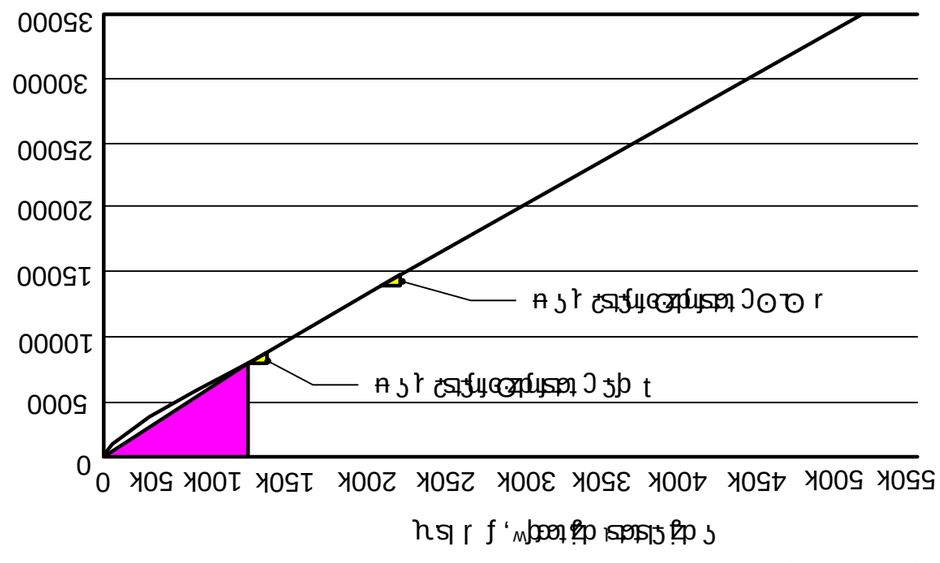
38. Методические рекомендациями по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО. – Введ. 31.03.2008 – Москва :ОАО РАО «ЕЭС России», 2008 – 58 с.

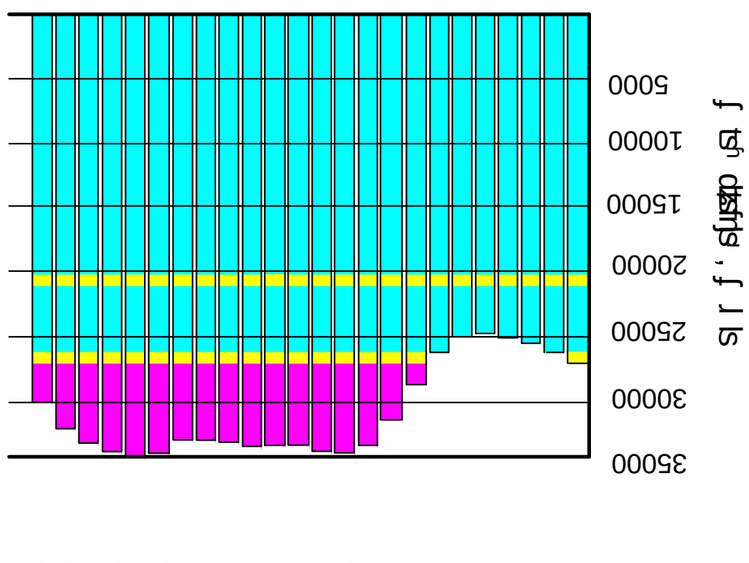
39. ГОСТ 27.002-89 Надёжность в технике основные понятия. Термины и определения – Введ. 01.07.1990 – Москва :Энергоатомиздат, 1990. – 38 с.

Wtłaczanie energii cieplnej do budynku w ciągu doby 291 J/s, co odpowiada około 226 J/s w przeliczeniu na 1 m² powierzchni ogrzewanej.

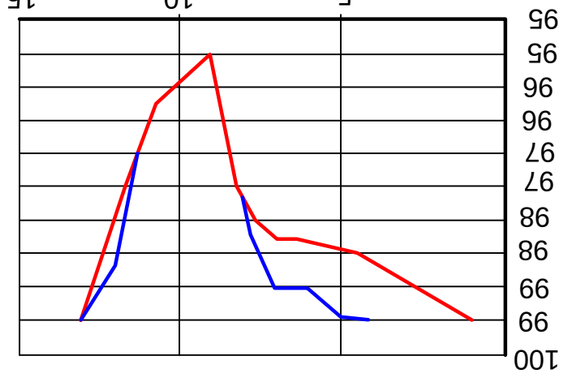
Wtłaczanie energii cieplnej do budynku w ciągu roku 1,18 GJ/m².rok, co stanowi 99,00 % jej zużycia. Pozostałe 95,00% energii pochodzi z instalacji fotowoltaicznej o 4,0 kWp.

Wykresy ilustrują dane w postaci graficznej.

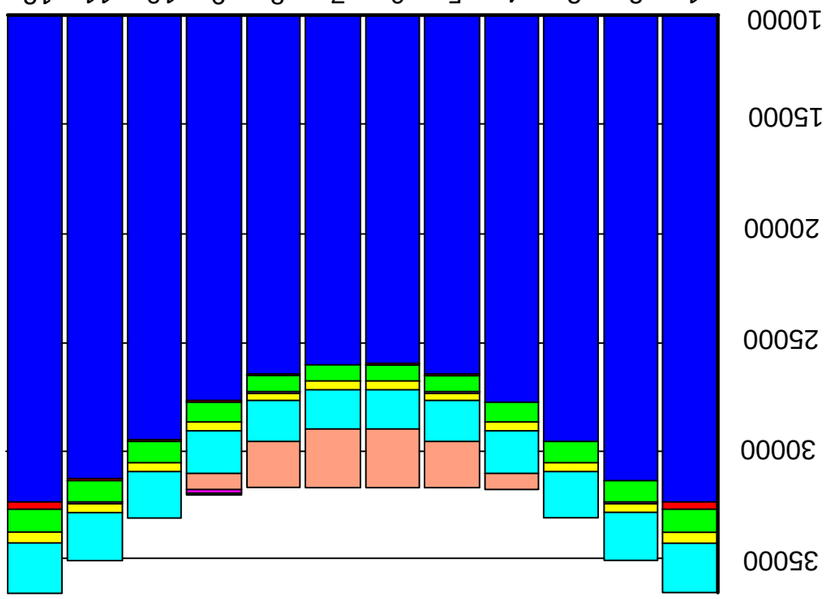




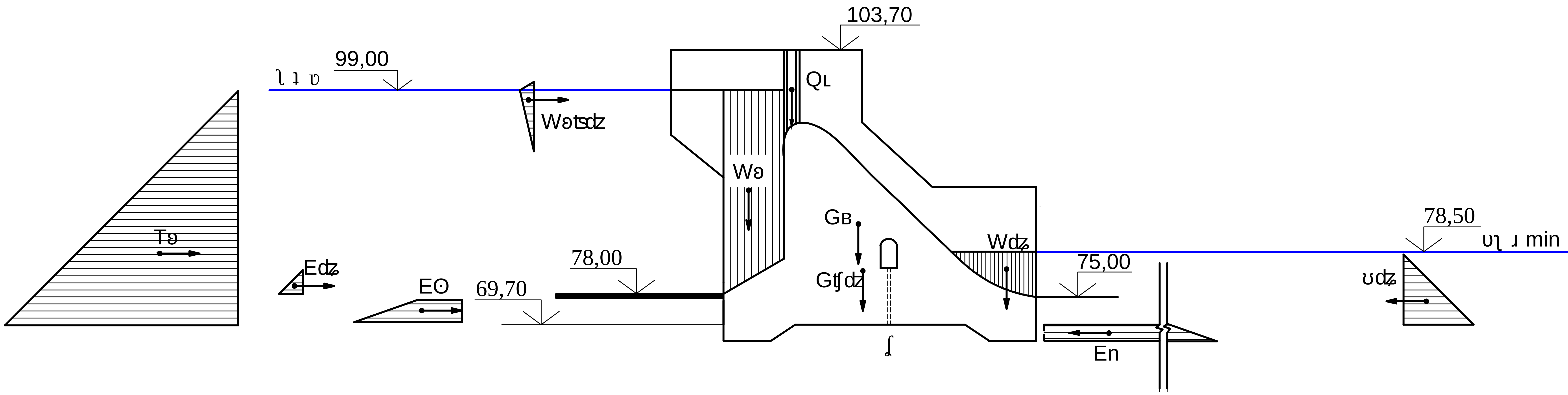
Moc cieplna - dobowy bilans energetyczny budynku



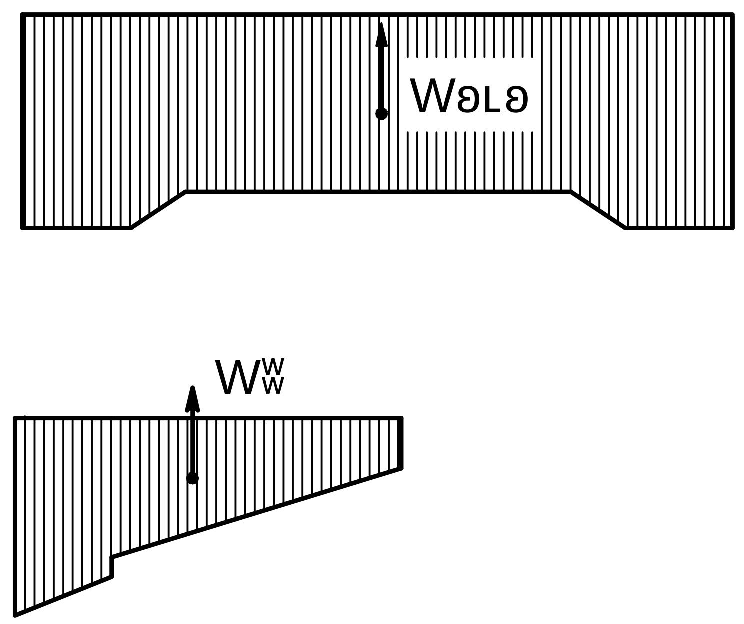
Moc cieplna, J/s



[illegible]



[illegible]	[illegible]	[illegible] (м), [illegible]
G[illegible]	10876,07	3,01
Gв	4924,42	3,63
QL	43,84	10,30
[illegible]	4210,80	8,99
[illegible]	379,80	2,93
W[illegible]	157,21	16,32
W[illegible]	111,03	15,06
W[illegible]	1236,06	0,00
W[illegible]	1799,90	12,50
[illegible]	22,08	9,25
[illegible]	101,52	3,63
[illegible]	208,36	0,25
W[illegible]	15,52	28,16



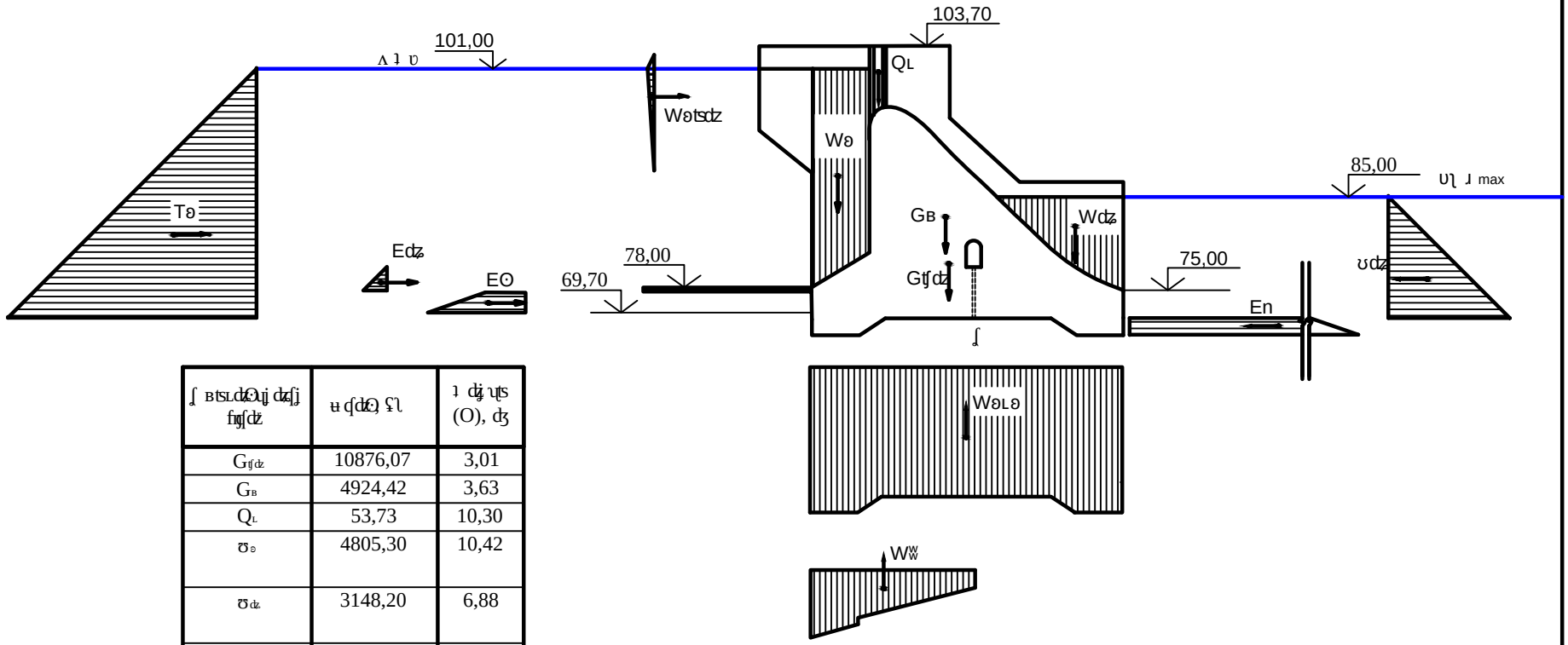
1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]

[illegible] -08.03.01-1207052 - [illegible]

[illegible] 1 3

[illegible] 2016

[illegible]



[illegible]	[illegible]	[illegible] (O), dʒ
Gtʃdz	10876,07	3,01
GB	4924,42	3,63
QL	53,73	10,30
ʊə	4805,30	10,42
ʊdz	3148,20	6,88
Wə	1895,10	15,20
Wdz	3825,20	13,50
Wələ	1895,10	0,00
Wʷ	1619,44	10,00
[illegible]	22,08	9,25
[illegible]	101,52	3,63
[illegible]	208,36	0,25
Wətsdz	12,64	27,80

1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1207052. [illegible]

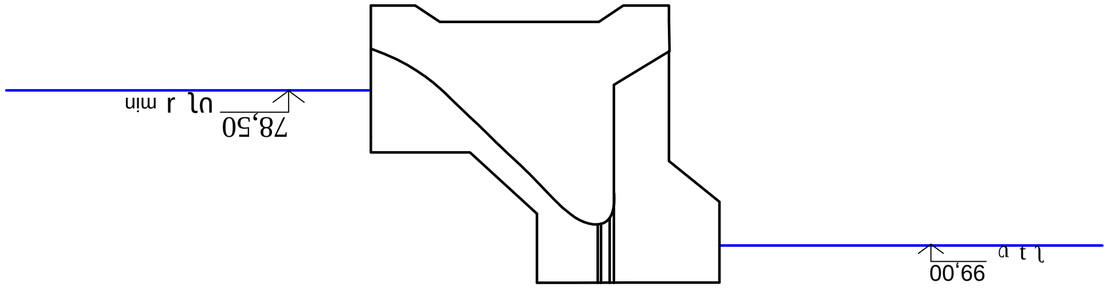
[illegible] -08.03.01-1207052 - [illegible]

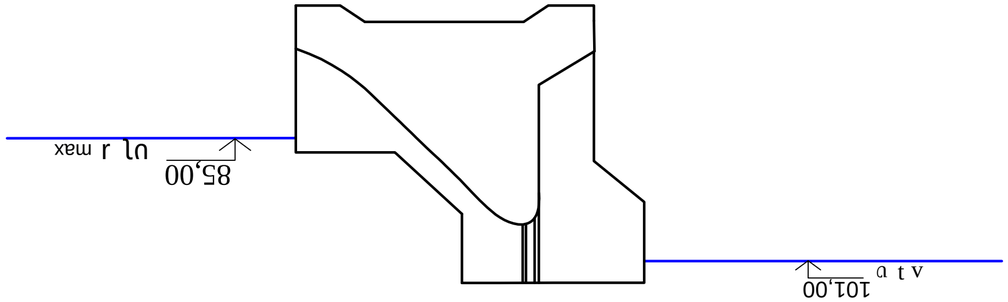
[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]
	2	

[illegible] 2016





[illegible]
[illegible] (СНиП)

[illegible]

99,00
78,50
min

[illegible]

101,00
85,00
max

[illegible]

[illegible]

[illegible]

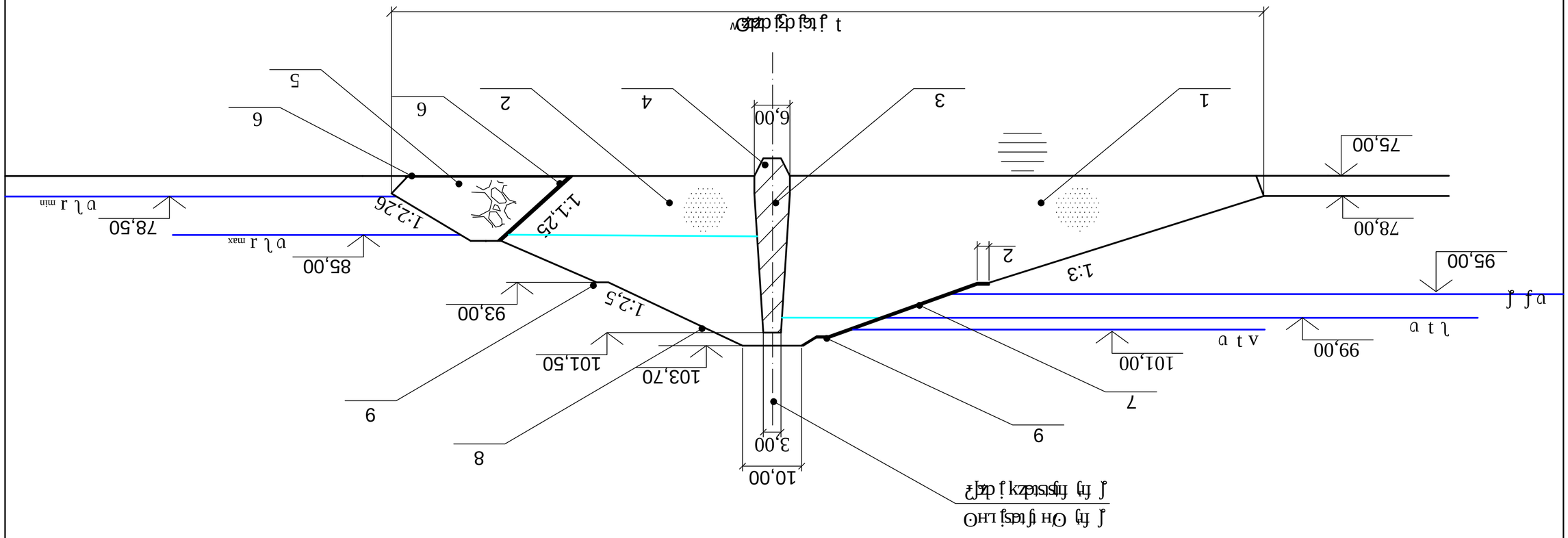
[illegible]

1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]

[illegible]

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = 0$$

[illegible] -08.03.01-1207052 - [illegible]			
[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
		3	3
[illegible]	[illegible], 2016		



[illegible]

10,00
3,00
8
9
7
9
101,00
99,00
103,70
101,50
93,00
1:2,5
1:3
2
95,00
78,00
75,00
85,00
max
78,50
min
1:1,25
1:2,26
6,00
1
3
4
2
6
5
6

[illegible]

	[illegible]
1	[illegible]
2	Призма низовая упорная из песка
3	Ядро из суглинка
4	Замок
5	[illegible]
6	[illegible] 0,60 [illegible]
7	[illegible] 10 [illegible] 10 [illegible] 0,35 [illegible]
8	Залужение с растительным слоем земли толщиной 0,15 м
9	Бермы

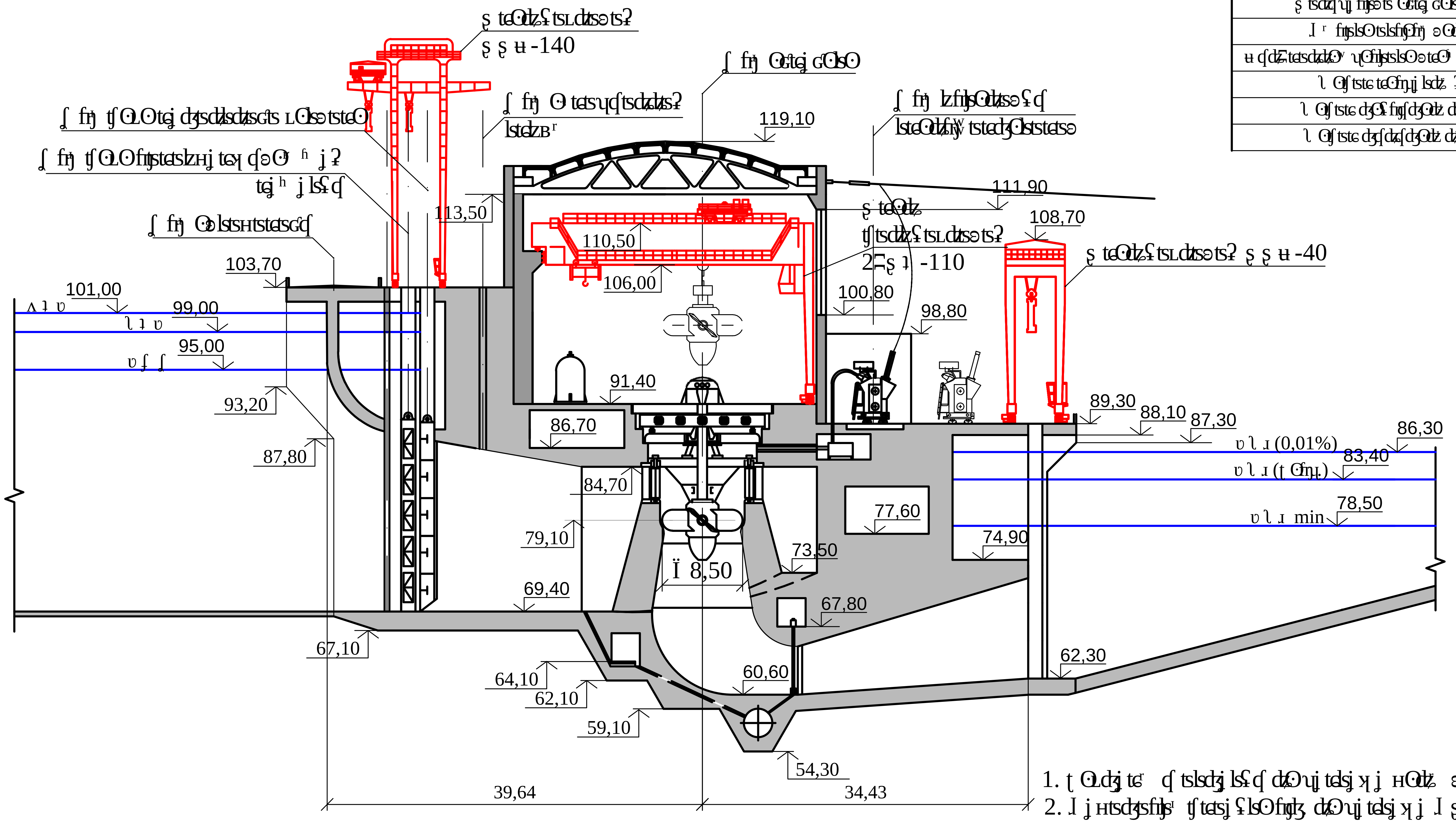
1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]

[illegible] -08.03.01-1207052 - [illegible] 3

[illegible]	1	1

[illegible] 2016

1:500



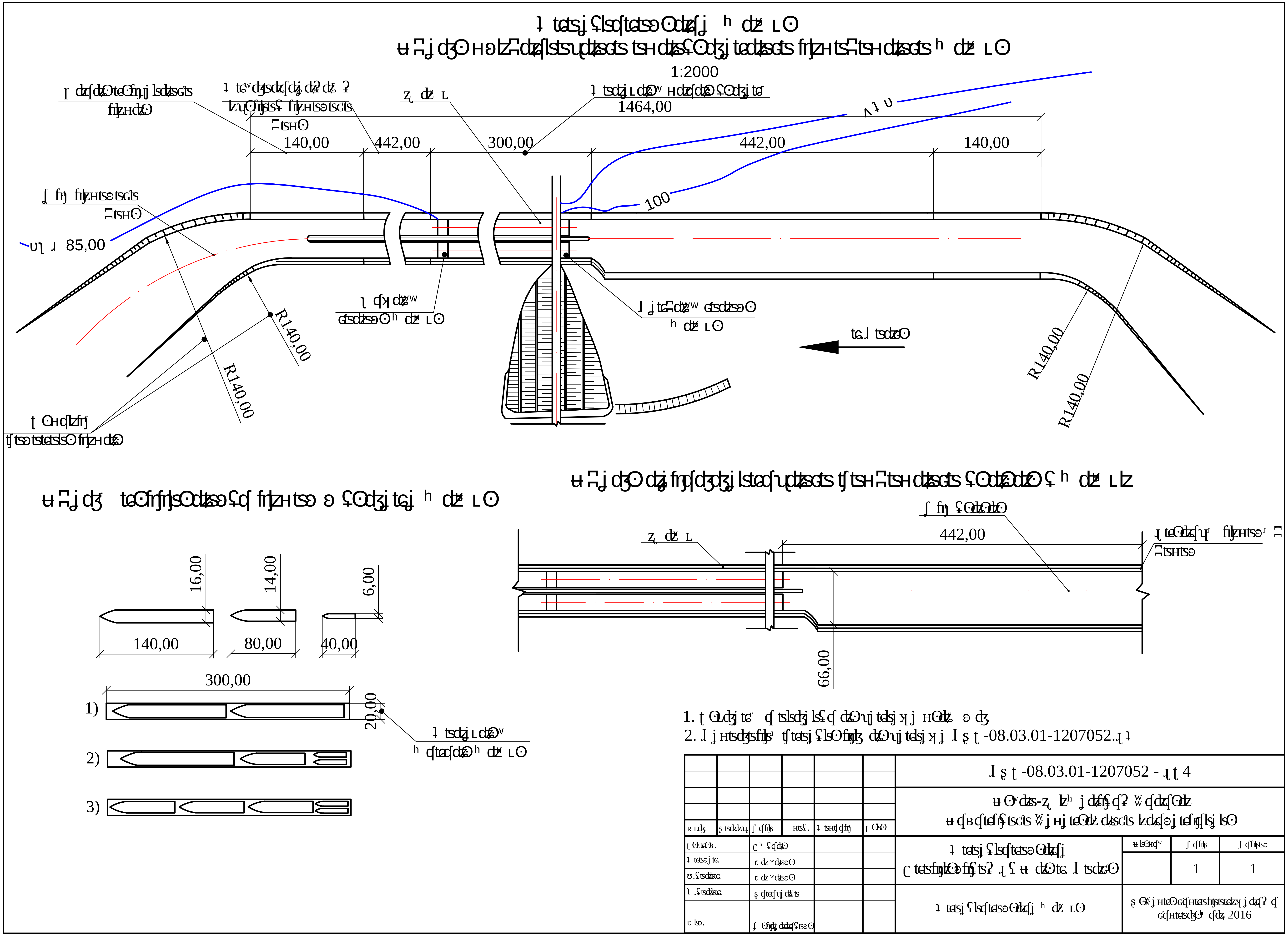
[illegible]	[illegible]
[illegible]	20-[illegible]-850
[illegible]	48000
[illegible]	1100/40-84
[illegible]	6
[illegible]	-0,3
[illegible]	71,4
[illegible]	12,9
[illegible]	19,5
[illegible]	11,9

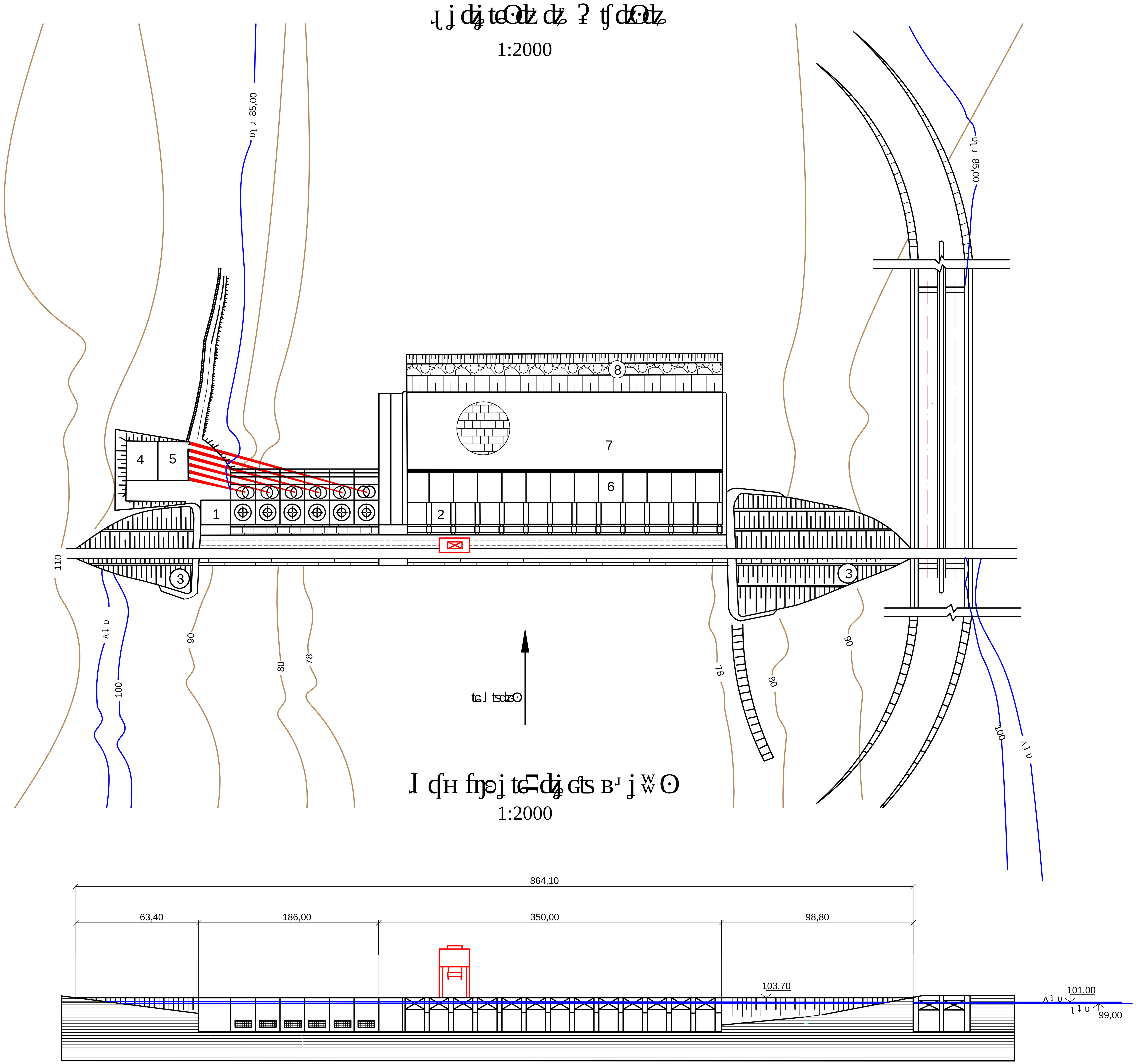
1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]

[illegible] -08.03.01-1207052-[illegible] 1

[illegible]	[illegible]	[illegible]
	1	1

[illegible] 2016


1:2000
1464,00
140,00
442,00
300,00
442,00
140,00
100
85,00
R140,00
R140,00
R140,00
R140,00
442,00
16,00
14,00
6,00
140,00
80,00
40,00
300,00
1)
2)
3)
20,00
66,00
-08.03.01-1207052
-08.03.01-1207052 -
1
1
2016



№ п.п	[illegible]	[illegible]
1	BKP-08.03.01-1207052 - ГП	[illegible]
2	BKP-08.03.01-1207052 - ГР1	[illegible]
3	BKP-08.03.01-1207052 - ГР2	[illegible]
4	[illegible]-08.03.01-1207052 - [illegible]	[illegible]
5	[illegible]-08.03.01-1207052 - [illegible]	[illegible]
6		[illegible]
7	BKP-08.03.01-1207052 - ПОС	[illegible]
8	BKP-08.03.01-1207052 - ПОС	[illegible] 1-2.
9	BKP-08.03.01-1207052 - ПОС	[illegible] 3-4.
10	BKP-08.03.01-1207052 - ТХ	[illegible]
11	BKP-08.03.01-1207052 - ПОС	[illegible]
12	BKP-08.03.01-1207052 - ГР4	[illegible]
13	[illegible]-08.03.01-1207052 - [illegible]	[illegible]

№	[illegible]
1	[illegible]
2	[illegible]
3	[illegible]
4	[illegible]
5	[illegible]
6	[illegible]
7	[illegible]
8	[illegible]

1. [illegible]

[illegible]-08.03.01-1207052 - [illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]
	1	1

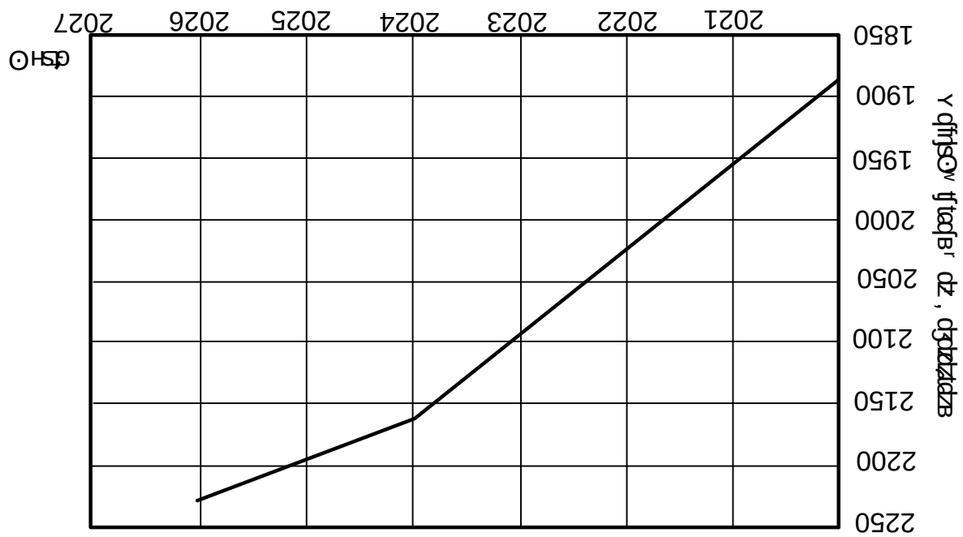
[illegible] 2016

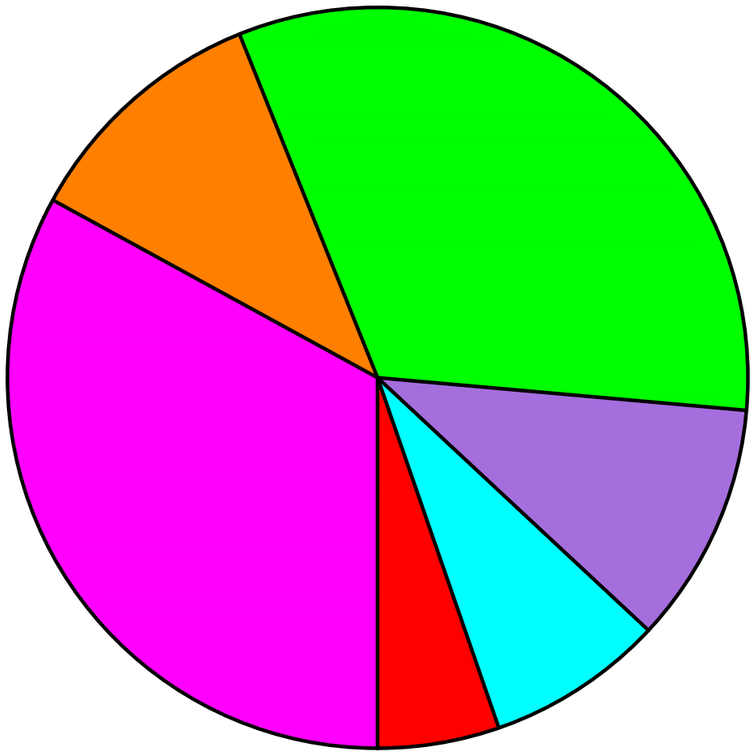
J hmkso dz j lsj Ñdqf£ts-ı £tsdksdyf-ui hf£d.j ifts£O.Osj dqf hfsdesflsj dz hfso⊙ C tesfmykso hf£ts? efHtesı dj £lsdesfhso dxqfef dk ic.l tsdzo⊙

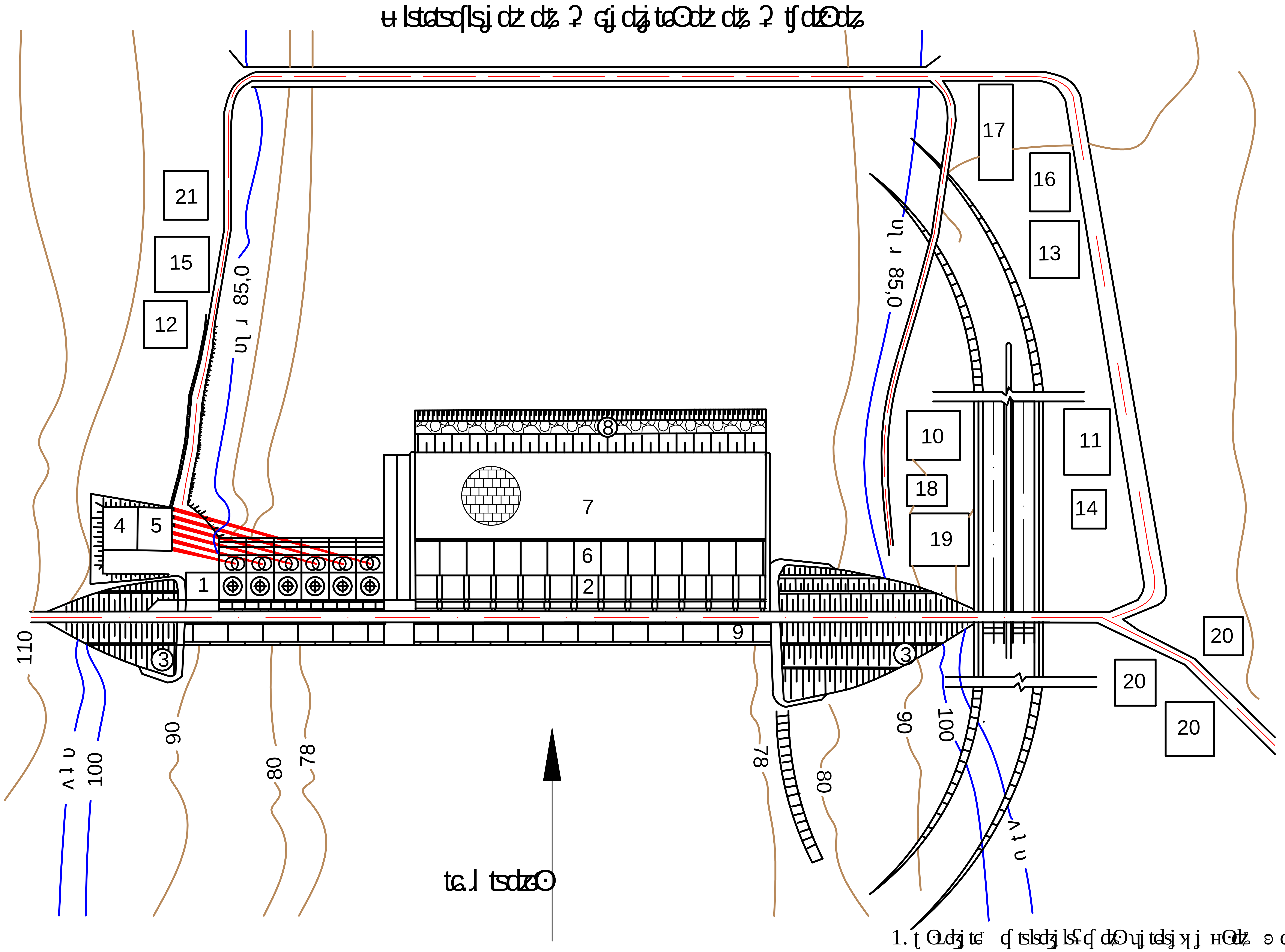
u lsdz£lsdzko lsj £tz^ qf£ L Osdcos ifts efHtesxL dz

1 tsH dk ycdzo tsj cdzL⊙ufef ifteslj £lso	2017
u lso £⊙ H qf hf£ts dkefteso cdqf^	14 %
u H j dz dz j £ofqflso dzso dzsy j dqf^	20921,4 tdza/£l ls
y qfhs 2 ifteqfsj H j dzk 2 H£ts tsH	4259 dyzk tdza
J dzlsej dzk^ dsedy⊙tej dkso.j dz dksfhsf	24,32 %
r qfhs kefteso cdzk 2 hfdsf £ts zf⊙j dysfhsf	6 dj ls 7 dj hy^ uj ə
u j ə j hfssf dysfhs 1 dj £lsdes dj teqf	18 £sf/£l ls u
R dzj £hy ifteqfB^ dz dksfhsf	1,69

y qfhs⊙^ ifteqfB^ dz ifts dsH⊙dz







№	[illegible]
1	[illegible]
2	[illegible]
3	[illegible]
4	[illegible]
5	[illegible]
6	[illegible]
7	[illegible]
8	[illegible]
9	[illegible]
10	[illegible]
11	[illegible]
12	[illegible]
13	[illegible]
14	[illegible]
15	[illegible]
16	[illegible]
17	[illegible]
18	[illegible]
19	[illegible]
20	[illegible]
21	[illegible]

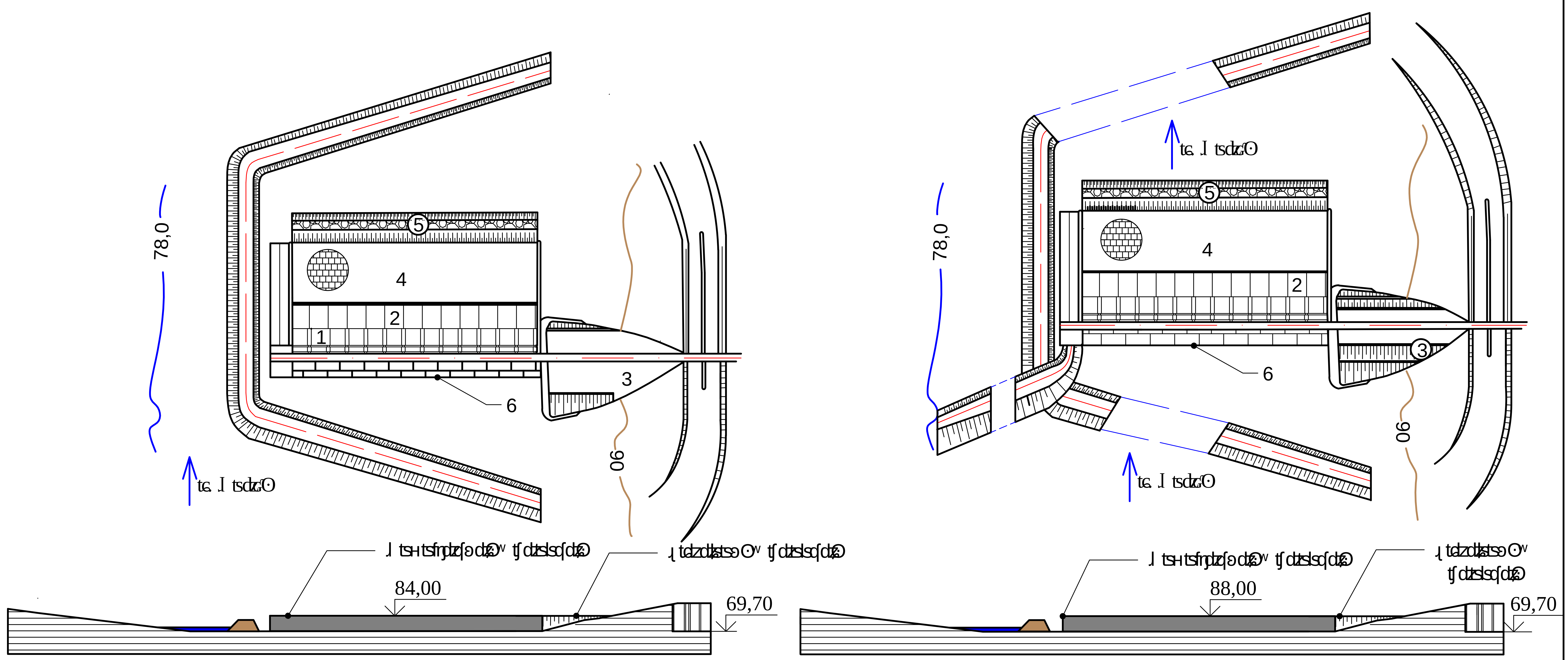
1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]

[illegible] -08.03.01-1207052 - [illegible]

[illegible]	1	4

[illegible] 2016

[illegible]

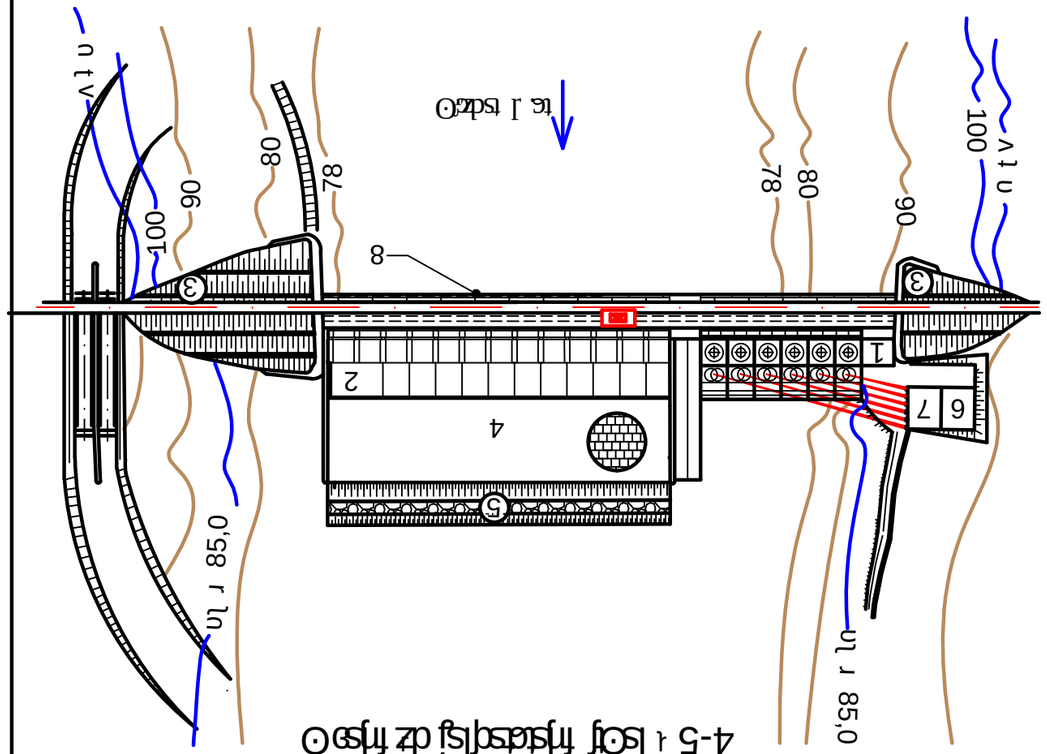


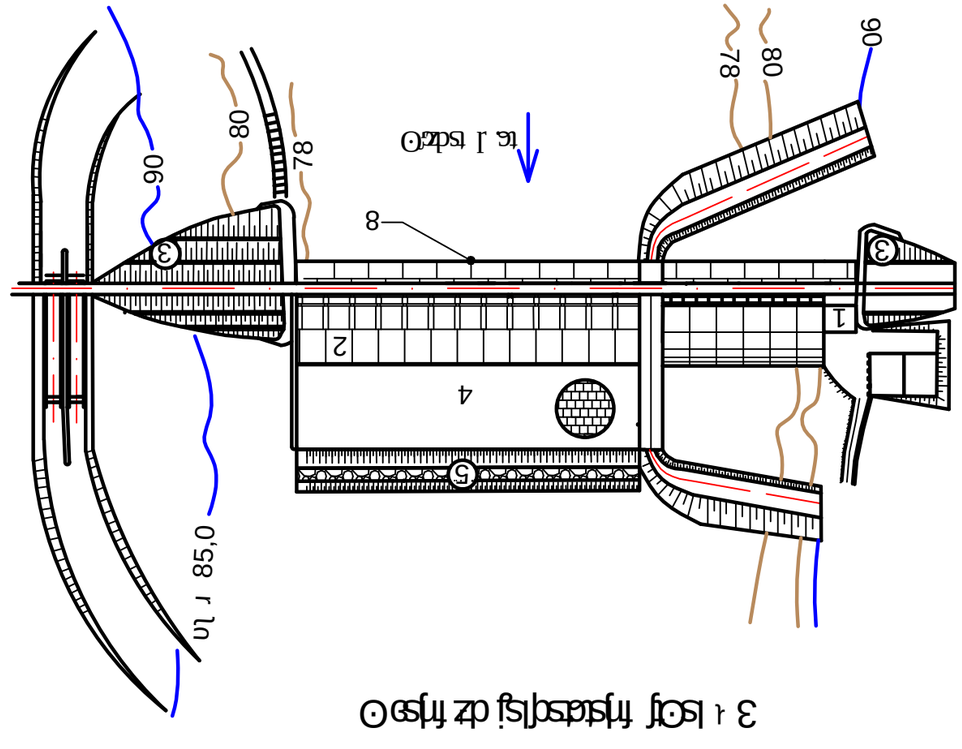
[illegible]

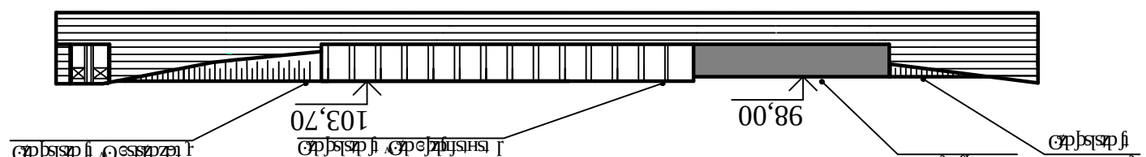
[illegible]
1. [illegible]
2. [illegible]
3. [illegible]
4. [illegible]
5. [illegible]
6. [illegible]

1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]

[illegible] -08.03.01-1207052 - [illegible]	
[illegible]	2
[illegible] 1-2. [illegible]	[illegible] 2016







[illegible]

3 [illegible]
4-5 [illegible]
1
2
3
4
5
6
7
8
85,0
90
80
78
100
98,00
103,70
864,10
186,00
350,00

[illegible]

[illegible]
1. [illegible]
2. [illegible]
3. [illegible]
4. [illegible]
5. [illegible]
6. [illegible]
7. [illegible]
8. [illegible]

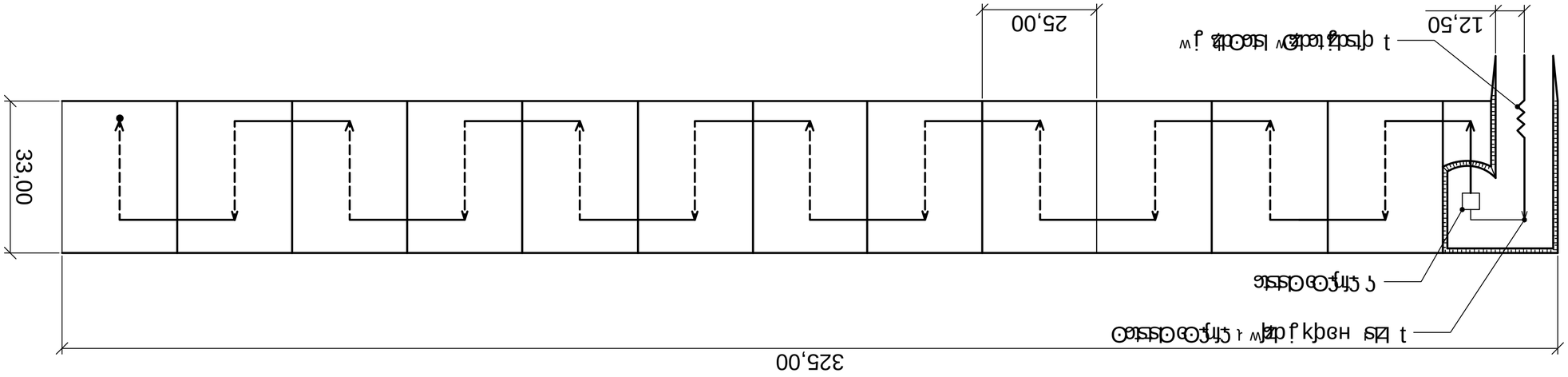
1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]

[illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]	
[illegible]	
[illegible]	3
[illegible] 3-4. [illegible]	[illegible] 2016

Схема расстановки технологического оборудования - грануляционный участок

Экспликация технологического оборудования

Позиция по схеме	Наименование оборудования	Тип, марка, ГОСТ	Кол.	Примечание
1	Грануляционная машина	ГМ-320	2	Производительность 1,5 т/ч каждая
2	Бункер-накопитель сырья	Емкость 5 м³	4	Из нержавеющей стали
3	Ленточный транспортер	ТЛ-400, L = 12 м	1	Подача сырья к грануляторам
4	Ковшовый элеватор	ЭК-10	1	Высота подъема 18 м
5	Сушильный барабан	СБ-2,5	1	Производительность 2,5 т/ч
6	Вентилятор	ВР-86-77 №6,3	2	Расход воздуха 6000 м³/ч
7	Циклон	ЦН-15	2	Для очистки отходящих газов
8	Рукавный фильтр	РФ-12	1	Площадь фильтрования 12 м²
9	Дробилка	ДР-5	1	Для измельчения крупной фракции
10	Грохот	ГИТ-51	1	Разделение на фракции 1–4 мм
11	Весы дозирующие	ВД-500	2	Точность ±0,5 %
12	Пульт управления	ПУ-12	1	Щитовое исполнение, IP54



Ведомость технологических трубопроводов

Позиция по схеме	Наименование трубопровода	Диаметр, мм	Длина, м	Материал	Примечание
Т-1	Подача сырья к грануляторам	108	18	Сталь 20	Винтовая подача
Т-2	Отвод пыли от грануляторов	57	24	Сталь 20	Под разрежением
Т-3	Подача воздуха к сушильному барабану	219	6	Сталь 3	Горячий воздух, 180 °С
Т-4	Отвод отходящих газов	219	9	Сталь 3	После циклонов
Т-5	Подача гранулированного продукта	76	30	Сталь 20	Самотек
Т-6	Сжатый воздух к пневмоприводам	25	40	Сталь 3	Давление 0,6 МПа

Спецификация оборудования

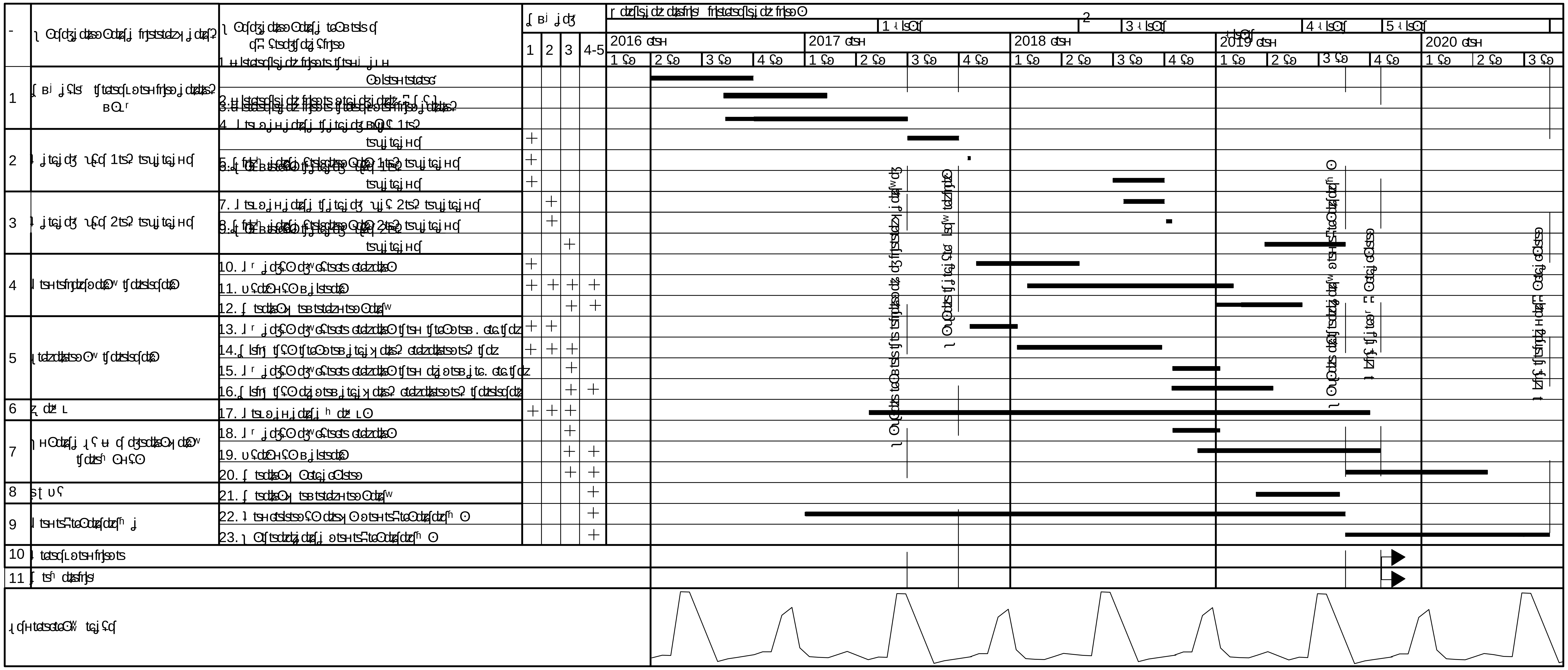
Позиция по схеме	Наименование оборудования	Тип, марка, ГОСТ	Кол.	Масса, кг
1	Грануляционная машина	ГМ-320	2	1 340
2	Бункер-накопитель сырья	Емкость 5 м³	4	620
3	Ленточный транспортер	ТЛ-400, L = 12 м	1	1 180
4	Ковшовый элеватор	ЭК-10	1	410
5	Сушильный барабан	СБ-2,5	1	2 150
6	Вентилятор	ВР-86-77 №6,3	2	185
7	Циклон	ЦН-15	2	95
8	Рукавный фильтр	РФ-12	1	760
9	Дробилка	ДР-5	1	1 250
10	Грохот	ГИТ-51	1	640
11	Весы дозирующие	ВД-500	2	357
				10

Примечания

1. Отдельно стоящие фундаменты под оборудование см. в ТКР 2.1.1.5-08.03.01-120705 2.1.1.5-08.03.01-120705.ТР

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	1-08.03.01-120705 - ПЗ	
Разраб.						Технологическая схема производства гранулированного продукта	Лит.
Пров.							Лист 6
Н.контр.							Листов 10
Утв.							

[illegible]



1. [illegible] -08.03.01-1207052.[illegible]

[illegible] -08.03.01-1203258 - [illegible]

[illegible] 4

[illegible] 2016

Przejście przez zbiornik wyrównawczy

1:1000

1. Dane techniczne przekroju zbiornika i rzeki w obszarze budowli
2. Linia ciśnienia przy zwierciadle wodnym dla zbiornika i rzeki - 08.03.01-120705 - ŁT2