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

Саяно-Шушенский филиал

Кафедра «Гидротехнических сооружений и гидромашины»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.В. Масленникова
«_9_» _марта_ 2016г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Мутовиной Евгении Андреевны
Группа СБ12 - 01. Направление (специальность) 08.03.01 Строительство.
Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование Вяткинской ГЭС на реке Вятка. Расчет стабилизированной осадки грунтовой плотины
Утверждена приказом по университету № от
Руководитель ВКР Л.С. Пермякова, доцент, кандидат технических наук, Саяно Шушенский филиал СФУ.
Исходные данные для ВКР: Топографическая основа в створе гидроузла; среднемесячные расходы реки Вятка за период с 1948 по 2013г; координаты кривой объемов водохранилища от уровня воды в нем $V = f(Zвб)$; кривая связи расходов и уровней в нижнем бьефе $Q=f(Zнб)$; число часов установленной мощности T = 6800 ч; коэффициент мощности k_N = 8,6; потери напора в водоподводящих сооружениях Δh = 0,2 м; отметка НПУ 54 м;
Перечень разделов ВКР: 1. Общая часть; 2. Водно - энергетические расчеты; 3. Основное и вспомогательное оборудование; 4. Компоновка и сооружения гидроузла; 5. Организация и производство гидротехнических работ; 6. Охрана труда и противопожарная безопасность; 7. Технико-экономические показатели; 8. Расчет стабилизированной осадки грунтовой плотины.
Перечень графического материала: Генеральный план Вяткинской ГЭС; Водохозяйственный и водно-энергетический расчеты; Поперечный разрез станционной части; Поперечный разрез бетонной водосливной плотины; Нагрузки, действующие при основном сочетании нагрузок и воздействий; Нагрузки, действующие при особом сочетании нагрузок и воздействий; Строительный генеральный план; Этапы возведения сооружений (1-2); Этапы возведения сооружений (3-4); Технологическая карта на выполнение работ по уплотнению грунтовой плотины; Сводный календарный план строительства; Технико-экономические показатели проекта Вяткинской ГЭС; Общая схема к расчету стабилизированной осадки грунтовой плотины.

Руководитель ВКР _____ Л.С. Пермякова
(подпись) (инициалы и фамилия руководителя)

Задание принял к исполнению 14.06.16 Е.А. Мутовина
(подпись) (инициалы и фамилия студента)

«14» 06 2016г.

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
Саяно-Шушенский филиал СФУ

ОТЗЫВ

Руководителя выпускной бакалаврской работы
Студентки группы СБ12-01 Мутовиной Е.А.

Выпускная работа выполнена по теме «Проектирование Вяткинской ГЭС на р. Вятка». В работе определен состав гидротурбинного и электрического оборудования, рассчитаны параметры гидротехнических сооружений с учетом сооружений-аналогов, разработаны схемы пропуска строительных расходов и производства строительных работ по возведению грунтовой плотины, приведены технико-экономические показатели проекта.

В бакалаврской работе подробно и грамотно освещен вопрос по теме «Расчет стабилизированной осадки грунтовой плотины». Его актуальность связана с необходимостью дополнительного увеличения объема грунта, укладываемого в упорные призмы плотины, с учетом расчетной конечной осадки основания и ее тела.

Работа по теме проекта и специального вопроса потребовала от Мутовиной Е.А. расширения знаний в области проектирования гидротехнических сооружений и самостоятельной теоретической подготовки в области механики грунтов. Проявленные настойчивость, пытливость, высокая ответственность в решении стоящих перед нею задач и желание их качественного выполнения явились показателем готовности Мутовиной Е.А. к самостоятельной работе.

Выпускная квалификационная работа заслуживает оценки «отлично», а студентка Мутовина Е.А. – присвоения квалификации бакалавр техники и технологии.

Руководитель Л.С. Пермякова

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

Кафедра «Гидротехнических сооружений и гидромашин»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

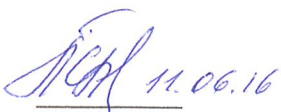
А.В. Масленникова
подпись инициалы, фамилия

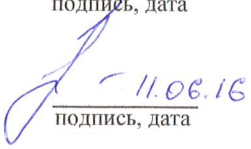
«20» июня 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

08.03.01- Строительство

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЯТКИНСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ВЯТКА. РАСЧЕТ СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ОСАДКИ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

Руководитель доцент,к.т.н — должность, ученая степень

подпись, дата
Л.С.Пермякова — инициалы, фамилия

Выпускник СБ12-01 — группа

подпись, дата
Е.А.Мутовина — инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2016

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Вяткинской ГЭС на реке Вятка. Расчет стабилизированной осадки грунтовой плотины».

Консультанты по разделам:

Общая часть	подпись, дата	А.В. Масленникова инициалы, фамилия
Водно-энергетические расчёты	01.06.16 подпись, дата	Е.Ю. Затеева инициалы, фамилия
Основное и вспомогательное оборудование	14.06.16 подпись, дата	А.В. Масленникова инициалы, фамилия
Компоновка и сооружения гидроузла	10.06.16 подпись, дата	Л.С. Пермякова инициалы, фамилия
Организация и производство Гидротехнических работ	4.06.16 подпись, дата	Н.П. Ульянова инициалы, фамилия
Технико-экономические показатели	04.06.16 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	14.06.16. подпись, дата	А.А. Чабанова инициалы, фамилия

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЁННЫЙ ПАСПОРТ ВЯТКИНСКОЙ ГЭС 4
ВВЕДЕНИЕ 6
1 Общая часть 7
1.1 Природные условия 7
1.1.1 Климат в районе проектируемого гидроузла 7
1.1.2 Гидрологические данные 7
1.1.3 Инженерно-геологические условия 7
1.2 Энерго-экономическая характеристика района 7
2 Водно-энергетические расчеты 8
2.1 Исходные данные 8
2.2 Выбор расчетных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности стока 9
2.2.1 Выбор расчетного средневодного года (P=50%) 10
2.2.2 Выбор расчетного маловодного года (P=90%) 11
2.3 Построение суточных графиков нагрузки 12
2.4 Построение годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы 13
2.5 Покрытие графиков нагрузки энергосистемы существующими электростанциями 15
2.6 Расчет режима работы ГЭС без регулирования с учетом требований водохозяйственного комплекса 16
2.7 Водно-энергетический расчёт режима работы ГЭС в маловодном и средневодном годах 17
2.8 Определение установленной мощности проектируемой станции 20
2.9 Планирование капитальных ремонтов оборудования энергосистемы 21
2.10 Определение максимального расчетного расхода 23
3 Основное и вспомогательное оборудование 25
3.1 Выбор типа и числа агрегатов 25
3.1.1 Построение режимного поля 25
3.1.2 Выбор гидротурбин по главным универсальным характеристикам 27
3.2 Определение отметки установки рабочего колеса гидротурбины 31
3.2.1 Выбор отметки расположения рабочего колеса 33
3.3 Расчет и построение бетонной спиральной камеры 34
3.4 Выбор гидрогенератора 34
3.5 Выбор маслонапорной установки 35
3.6 Выбор электрогидравлического регулятора 36
3.7 Определение геометрических размеров проточной части и машинного зала 36
3.8 Выбор кранов 37
4 Компоновка и сооружения гидроузла 38

4.1 Определение ширины водосливного фронта 38
4.1.1 Определение отметки гребня водослива 39
4.1.2 Проверка на пропуск поверочного расхода при поверочном расчетном случае 41
4.1.3 Расчет сопряжения потока в нижнем бьефе 42
4.1.4 Построение профиля водосливной плотины 43
4.2 Назначение размеров основных элементов плотины 45
4.2.1 Понур 45
4.2.2 Зубья 45
4.2.3 Дренажные устройства в основании 46
4.3 Определение отметки гребня бетонной плотины 46
4.4 Конструирование плотины 46
4.4.1Определение ширины подошвы плотины 46
4.4.2 Разрезка бетонных плотин швами 48
4.4.3 Быки 48
4.4.4 Устои 49
4.4.5 Галереи в теле плотины 49
4.4.6 Дренаж тела плотины 49
4.5 Назначение элементов подземного контура 49
4.5.1 Водобой 49
4.5.2 Рисберма и ковш 52
4.6 Фильтрационные расчеты подземного контура 55
4.6.1 Расчет фильтрации под плотиной методом удлиненной контурной линии 55
4.7 Обоснование надежности и безопасности бетонной плотины 56
4.7.1 Определение основных нагрузок на плотину 57
4.7.2 Оценка прочности плотины 65
4.7.3 Критерии прочности плотины 67
4.7.4 Расчёт устойчивости плотины 69
4.8 Проектирование грунтовой плотины 70
4.8.1 Определение отметки гребня грунтовой плотины 71
4.8.2 Расчет кривой депрессии для плотины с ядром и дренажным банкетом на водонепроницаемом основании 74
4.8.3 Оценка фильтрационной прочности 76
4.8.4 Расчет устойчивости низового откоса методом кругло- цилиндричекой поверхности скольжения 77
5 Организация и производство гидротехнических работ 80
5.1 Этапы возведения сооружений и схемы пропуска строительных расходов на различных этапах 80
5.2 Организация и технология работ по возведению перемычек 85
5.2.1 Выбор типа перемычки 85
5.2.2 Осушение котлована 85
5.3 Определение объемов работ 86
5.3.1 Объем земляных работ 86

5.4 Объем бетонных работ 87
5.5 Технология уплотнения грунтовой плотины из песка с противофильтрационным устройством в виде центрального ядра из суглинка. 88
5.6 Определение способов производства основных видов работ 90
5.6.1 Выбор транспортной схемы бетонных работ 90
5.6.2 Выбор транспортной схемы земляных работ 91
5.7 Строительный генеральный план гидроузла 91
5.8 Календарное планирование 92
5.8.1 Продолжительность и время выполнения работ 92
6 Охрана труда и противопожарная безопасность. Мероприятия по охране окружающей среды 94
6.1 Требования по охране труда и техники безопасности для работников Вяткинской ГЭС 94
6.2 Противопожарная безопасность 95
6.3 Мероприятия по охране окружающей среды 96
7 Технико – экономические показатели 101
7.1 Объёмы продаж электроэнергии 101
7.2 Текущие расходы 101
7.3 Налоговые расходы 103
7.4 Оценка суммы прибыли 104
7.5 Показатели эффективности проекта 104
7.6 Анализ чувствительности 104
8 Расчет стабилизированной осадки грунтовой плотины 107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 113
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 118
ПРИЛОЖЕНИЕ А 121
ПРИЛОЖЕНИЕ Б 127
ПРИЛОЖЕНИЕ В 132
ПРИЛОЖЕНИЕ Г 138

СОКРАЩЁННЫЙ ПАСПОРТ ВЯТКИНСКОЙ ГЭС

1. Наименование реки ..... Вятка;
2. Местонахождение ГЭС ..... Кировская область;
3. Тип проектируемой установки ..... ГЭС;
4. Характерные расходы воды:

а) среднемноголетний ..... 1344 м³/с;
б) всех турбин ..... 3061 м³/с;
в) максимальный с обеспеченностью: 5% ..... 3557м^3/с;
0,1% ..... 4561м^3/с;
0,01% ..... 5061 м^3/с;
г) минимальный ..... 300 м³/с;

5. Параметры водохранилища:

а) характер регулирования стока ..... годовой;
б) отметка: НПУ .....54 м;
ФПУ .....55 м;
УМО .....47,8 м
в) объемы:
полный ..... 25,7 м^3;
полезный ..... 8,37 км^3;

6. Напоры ГЭС:

а) максимальный.....30,0 м;
б) расчетный.....19,6 м;
в) минимальный.....17,7 м;

7. Энергетические характеристики:

а) мощность:
установленная ..... 432 МВт;
гарантированная ..... 255 МВт;
резерв ..... 36 МВт;
б) среднемноголетняя выработка энергии ..... 2,88 млн. МВт·ч;

8. Бетонная плотина (общая длина / максимальная высота):

а) водосливная .....80 м / 39,0 м;
б) станционная ..... 255 / 39,0 м;

9. Водосбросные сооружения

а) тип.....поверхностный водослив;
б) число и размер пролетов ..... 4 отверстий 16м;
в) общая длина.....64 м;
г) высота .....39 м;

10. Грунтовая плотина (общая длина / максимальная высота)

а) правобережная 115,3/39м;
б) левобережная..... 55,2/39м;

11. Здание ГЭС:

а) тип здания .....русловое;
б) число агрегатов 6;

в) тип спиральной камеры ..... бетонная спиральная с плоским потолком;
г) тип отсасывающей трубы ..... изогнутая;
д) расстояние между осями агрегатов .....24 м;

12.Основное оборудование:

а) тип турбины ПЛ30а-В-750;
б) тип генератора СВ-1105/80-76,05;
в) мощность генератора ..... 80 МВт;
г) единичная мощность ГА ..... 70 МВт;
д) частота вращения ..... 78,9 об/мин;

13.Технико-экономические показатели:

а) удельный показатель мощности .....10016 руб./кВт;
б) себестоимость энергии ..... 0,16 руб/кВт·ч;
в) показатели эффективности: ЧДД ..... 37,3 млрд. руб.;
ВНР 179,3%;
Срок окупаемости ..... 70 месяца.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассмотрен проект Вяткинской ГЭС на реке Вятка, протекающей в Европейской части России и являющейся самым правым притоком реки Кама, протяженность реки составляет 1314 км, площадь водосборного бассейна — 129000 км². Для нормального развития экономики региона необходим опережающий рост энергетики.

Влияние Вяткинского гидроузла на социально- экономические условия Кировской области заключается в максимальном использовании гидроэнергетических ресурсов реки Вятка, что позволит существенно сократить дефицит электроэнергии.

При этом снижаются расходы на передачу за счет снижения передаваемой мощности потребителям, повышается качество электроэнергии, повышается электроснабжение.

При возведении средненапорной русловой ГЭС решаются народно-хозяйственные задачи:

- появление новых рабочих мест;
- конкурентно способная продукция.

ГЭС такого типа не нарушают экологического равновесия в регионе и позволяют получать дешевую, "экологически чистую" электроэнергию.

Вдобавок Вятка станет чище, шуга и мусор не будут забивать водозабор, исчезнут перебои с водой весной и засушливым летом.

1 Общая часть

Вяткинская ГЭС расположена в Кировской области на реке Вятка в 30 км от устья, в 10 км выше города Мамадыш.

1.1 Природные условия

1.1.1 Климат в районе проектируемого гидроузла

Климат в районе строительства Вяткинской ГЭС относится к умеренно-континентальному. Средняя годовая температура воздуха составляет +3,1 °С, абсолютный минимум -44°С , абсолютный максимум +37°С. Годовая сумма осадков 460 -540 мм. Осадки распределены равномерно в течение года с незначительным увеличением в теплый период.

1.1.2 Гидрологические данные

Река Вятка - самый крупный правый приток реки Камы (бассейн Волги). Длина реки - 1314км. В створе планируемой Вяткинской ГЭС площадь водосбора 129 тыс. км^2 , средний уклон –0,14м/км , ширина реки - 500 м, глубина - 3-5 м. Тип питания реки снеговой. Ледостав устанавливается в первой половине ноября и продолжается до средины апреля.

1.1.3 Инженерно-геологические условия

По геологической карте определено, что в районе створа Вяткинской ГЭС нет существенных зон тектонических разломов. Основание реки Вятка в районе створа сложено хорошо водоупорной породой– глиной.

1.2 Энерго-экономическая характеристика района

Водохранилище создано с целью хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения промышленных районов городов Мамадыщ, Киров; выработки электроэнергии. С этой целью водохранилище аккумулирует сток реки Вятка в период весеннего половодья.

2 Водно-энергетические расчеты

2.1 Исходные данные

1.Данные по энергосистеме :

1.1 Энергосистема : Средней Волги

1.2 Число часов использования установленной мощности :6800 ч.

1.3 Резервы: нагрузочный резерв системы 2 %, аварийный резерв системы 7%

2.Схема использования реки : одиночная ГЭС

3.Координаты кривых объёмов Вяткинского водохранилища представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Координаты кривой объемов Вяткинского водохранилища

$Z_{ВБ}$	V	$Z_{ВБ}$	V
22	0	46,9	14,2
27,8	1,42	48,2	15,62
31,7	2,84	49,3	17,04
34,6	4,26	50,4	18,46
37,1	5,68	51,4	19,88
39,2	7,1	51,9	20,59
41,1	8,52	53,1	22,25
42,7	9,94	54,1	23,57
44,2	11,36	55,0	24,88
45,6	12,78	56,0	26,20

4. Координаты кривых связи расходов и уровней в нижнем бьефе гидроузла представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Координаты кривых связи расходов и уровней в нижнем бьефе гидроузла

$Q_{лето}$	$Q_{зима}$	$Z_{лето}$	$Z_{зима}$
0	0	22,0	22,0
568	454,4	24,8	24,4
1136	908,8	26,9	26,1
1704	1363,2	28,6	27,6
2272	1817,6	30,3	29,0
2840	2272	31,9	30,3
3408	2726,4	33,7	31,6
3976	3180,8	35,6	33,0
4544	3635,2	37,5	34,4
5112	4089,6	39,4	36,0
5680	4544	41,4	37,5
6248	4998,4	43,3	39,0
6816	5452,8	45,5	40,6
7384	5907,2	48,1	42,1
7952	6361,6	51,5	43,8

5. Зимний коэффициент кривой связи расходов и уровней в нижнем бьефе 0,8.

6. Требования участников ВХК и потери воды представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3- Требования участников ВХК и потери воды

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ВХК	300	600	600	950	950	950	800	800	800	800	600	300
Потребление	3	3	3	5	5	5	5	5	3	3	3	3
Фильтрация	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Испарение	0	0	0	2	3	4	7	4	2	0	0	0
Льдообразование	-5	-7	0	2	5	4	4	0	0	0	0	-3

7. Коэффициент мощности k_N= 8,6.

8.Потери напора в водоподводящих сооружениях Δh=0,2 м.

9.НПУВяткинской ГЭС 54 м.

10. Гидрологический ряд наблюдений среднемесячных расходов р. Вятка в створе Вяткинской ГЭС за период с 1948 по 2013гг, $м^3/с$ представлен в приложении А, таблица А.1.

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

Целесообразно разделить год на два основных периода: многоводный (половодье) и маловодный (межень). Считается, что к периоду половодья относятся месяцы, в которые расходы больше или равны среднегодовому расходу. Остальные месяцы составят маловодный период. Для всех лет заданного ряда принимается одинаковые месяцы, относящиеся к периоду межени и половодья (к периоду половодья IV -VI месяцы; к периоду межени I, II, III, VII, VIII, IX, X, XI, XII месяцы).

Определив границы сезонов, вычислены средние расходы за год, лимитирующий сезон и период половодья. Проранжирована каждая последовательность в порядке убывания. По полученным результатам построены эмпирические кривые обеспеченности по формуле:

$$P = \frac{m}{n+1}, \qquad (2.1)$$

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 приняты равными 90% и 50% соответственно. Результаты сведены в приложение А, таблица А.2. Эмпирические кривые обеспеченности среднегодовых, среднеполоводных и среднемеженных расходов представлены на рисунке 2.1.

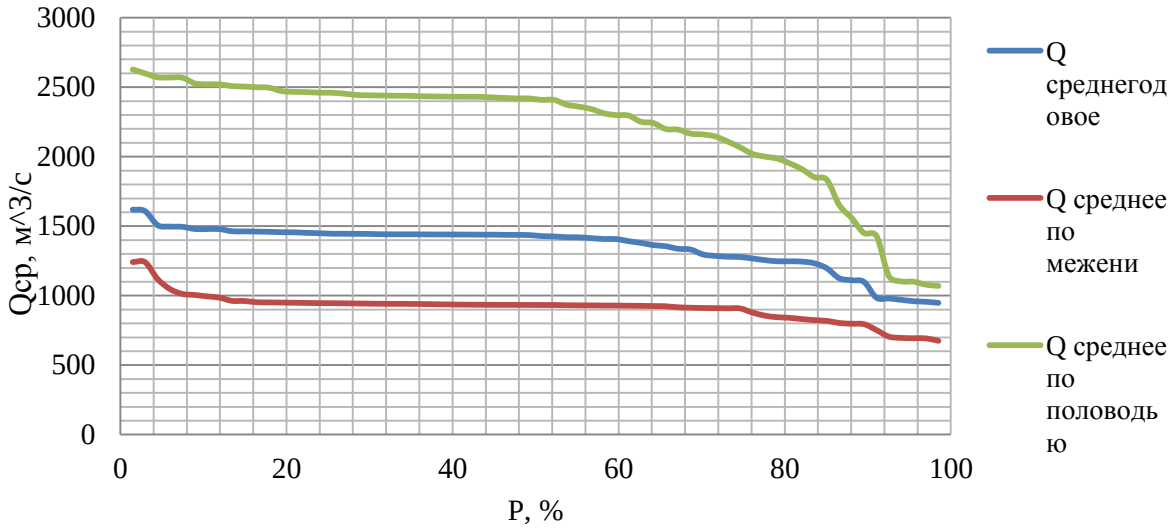


Рисунок 2.1 – Эмпирические кривые обеспеченности

2.2.1 Выбор расчетного средневодного года (P=50%)

Для заданной расчетной обеспеченности на кривых обеспеченности отсутствует конкретный год. По кривой обеспеченности годовых расходов определены ближайшие годы справа и слева от расчетной обеспеченности 50%: 1998 и 2010 годы. Вычислены коэффициенты приведения по межени и половодью. В итоге принят тот год, который будет иметь коэффициент приведения ближе к единице, т.е. тот год, который требует меньшую корректировку расходов.

Коэффициенты приведения по межени и половодью:

$$К_м = \frac{Q_{м1948}}{Q_{м1998}} = \frac{933}{943} = 0{,}99, \quad (2.2)$$

$$К_п = \frac{Q_{п1971}}{Q_{п1998}} = \frac{2419}{2423} = 1{,}00, \quad (2.3)$$

$$К_м = \frac{Q_{м1986}}{Q_{м2010}} = \frac{933}{928} = 1{,}0, \quad (2.4)$$

$$К_п = \frac{Q_{п2012}}{Q_{п2010}} = \frac{2409}{2431} = 0{,}99. \quad (2.5)$$

В качестве расчетного средневодного года принимается 1998 г.

2.2.2 Выбор расчетного маловодного года (Р=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%: 1948 и 1968 годы. 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.

$$К_м = \frac{Q_{м1962}}{Q_{м1948}} = \frac{735}{933} = 0{,}85, \quad (2.6)$$

$$К_п = \frac{Q_{п1971}}{Q_{п1948}} = \frac{1419}{1431} = 1{,}01, \quad (2.7)$$

$$К_м = \frac{Q_{м1968}}{Q_{м1968}} = \frac{752}{752} = 1{,}0, \quad (2.8)$$

$$К_п = \frac{Q_{п1948}}{Q_{м1968}} = \frac{1431}{1450} = 0{,}99. \quad (2.9)$$

В качестве расчётного маловодного года принят 1968 год.

Выбрав окончательно расчётные гидрографы, необходимо уточнить годовой сток, умножив среднемесячные расходы на вычисленные коэффициенты приведения (таблица 2.4, таблица 2.5) .

Таблица 2.4 – Расчетный средневодный год (Р=50%) без приведения, с приведением и корректировкой

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Без прив.	696	866	1026	2202	2680	2526	2282	1595	1173	1059	732	394
С прив.	452	563	667	3713	4519	4259	3848	1036	762	688	476	256
С коррект.	520	576	650	3500	4300	4400	4000	1068	762	730	476	256

Таблица 2.5 – Расчетный маловодный год (Р=90%) без приведения, с приведением и корректировкой

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Без прив.	680	814	900	1600	1500	1400	1300	1200	900	720	450	356
С прив.	519	622	688	2324	2179	2034	1888	917	688	550	344	272
С коррект.	400	500	600	2000	2500	2365	1888	917	688	550	344	272

Гидрографы маловодного, средневодного и многоводного годов представлены на рисунке 2.2

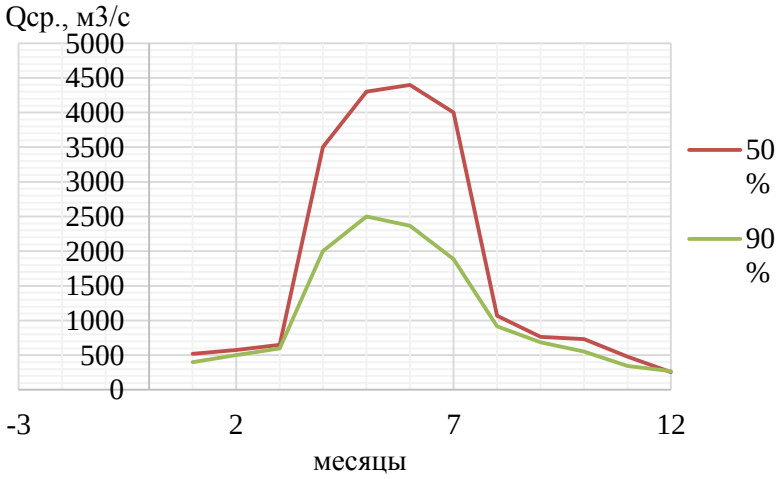


Рисунок 2.2 - Гидрографы мало - и средневодного годов

2.3 Построение суточных графиков нагрузки

Расчёт интегральных кривых нагрузки для зимнего и летнего периода сведены в таблицы 2.6 и 2.7 соответственно.

Таблица 2.6 – Координаты интегральной кривой нагрузки для зимнего периода

$P_{ранж}$, МВт	ΔP, МВт	Δt, ч	ΔЭ, МВт.ч	∑P, МВт	∑Э, МВт.ч
15485	0	0	0	0	0
15470	15	1	15	15	15
15418	52	2	104	67	119
15388	30	3	90	97	209
15373	15	4	60	112	269
15306	67	5	335	179	604
15275	31	6	186	210	790
14895	380	7	2660	590	3450
14659	236	8	1888	826	5338
14587	72	9	648	898	5986
14533	54	10	540	952	6526
14410	123	11	1353	1075	7879
14404	6	12	72	1081	7951
13893	511	13	6643	1592	14594
13527	366	14	5124	1958	19718
13433	94	15	1410	2052	21128
13272	161	16	2576	2213	23704
13228	44	17	748	2257	24452
12852	376	18	6768	2633	31220
12689	163	19	3097	2796	34317
12470	219	20	4380	3015	38697
12462	8	21	168	3023	38865
12429	33	22	726	3056	39591
12089	340	23	7820	3396	47411

Таблица 2.7 – Координаты интегральной кривой нагрузки для летнего периода

$P_{ранж}$, МВт	ΔP, МВт	Δt, ч	ΔЭ, МВт.ч	∑P, МВт	∑Э, МВт.ч
12570	0	0	0	0	0
12164	406	1	406	406	406
12036	128	2	256	534	662
12034	2	3	6	536	668
11847	187	4	748	723	1416
11655	192	5	960	915	2376
11638	17	6	102	932	2478
11495	143	7	1001	1075	3479
11412	83	8	664	1158	4143
11282	130	9	1170	1288	5313
11274	8	10	80	1296	5393
11196	78	11	858	1374	6251
11119	77	12	924	1451	7175
10996	123	13	1599	1574	8774
10903	93	14	1302	1667	10076
9983	920	15	13800	2587	23876
9631	352	16	5632	2939	29508
8930	701	17	11917	3640	41425
8749	181	18	3258	3821	44683
8740	9	19	171	3830	44854
8494	246	20	4920	4076	49774
8383	111	21	2331	4187	52105
8284	99	22	2178	4286	54283
8218	66	23	1518	4352	55801

2.4 Построение годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы

Для построения максимального графика необходимо из летнего и зимнего суточных графиков энергосистемы выделить максимум потребления: $P_{л}^{max} = 12570$ Мвт, $P_{з}^{max} = 15485$ Мвт.

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

$$P_t^{max} = a + b \cdot cos\,|30° \cdot t - 15°| \cdot \frac{\pi}{180}, \quad (2.10)$$

где t – порядковый номер месяца.

a и b - коэффициенты, определяемые по формулам:

$$a = \frac{P_{з}^{max} + P_{л}^{max}}{2} = \frac{15485 + 12570}{2} = 14027{,}5, \quad (2.11)$$

$$b = \frac{P_з^{max} - P_л^{max}}{2} = \frac{15485 - 12570}{2} = 1457{,}5. \quad (2.12)$$

Среднемесячный график построен аналогично, только по данным среднего потребления за зимний и летний месяц:

$P_л^{ср} = 10543$ Мвт, $P_з^{ср} = 14064$ Мвт.

Коэффициенты для средней нагрузки системы:

$$a = \frac{P_з^{max} + P_л^{max}}{2} = \frac{14064 + 10543}{2} = 12304,$$
$$b = \frac{P_з^{max} - P_л^{max}}{2} = \frac{14064 + 10543}{2} = 1761.$$

Результаты расчета максимальной и средней нагрузки энергосистемы сведены в таблицах 2.8 и 2.9 , рисунке 2.3.

Таблица 2.8 Максимальная нагрузка энергосистемы

t	(30˚t-15)*3.14/180	cos	a	b	$P_{max}(t)$
1	0,26	0,97	14027,5	1457,5	15435
2	0,79	0,71			15059
3	1,31	0,26			14406
4	1,83	-0,26			13652
5	2,36	-0,71			12998
6	2,88	-0,97			12620
7	3,40	-0,97			12619
8	3,93	-0,71			12995
9	4,45	-0,26			13647
10	4,97	0,26			14401
11	5,50	0,71			15055
12	6,02	0,97			15434

Таблица 2.9 Средняя нагрузка энергосистемы

t	(30˚t-15)*3.14/180	cos	a	b	$P_{ср}(t)$
1	0,26	0,97	12304	1761	14005
2	0,79	0,71			13549
3	1,31	0,26			12761
4	1,83	-0,26			11850
5	2,36	-0,71			11060
6	2,88	-0,97			10604
7	3,40	-0,97			10602
8	3,93	-0,71			11056
9	4,45	-0,26			11844
10	4,97	0,26			12755
11	5,50	0,71			13545
12	6,02	0,97			14003

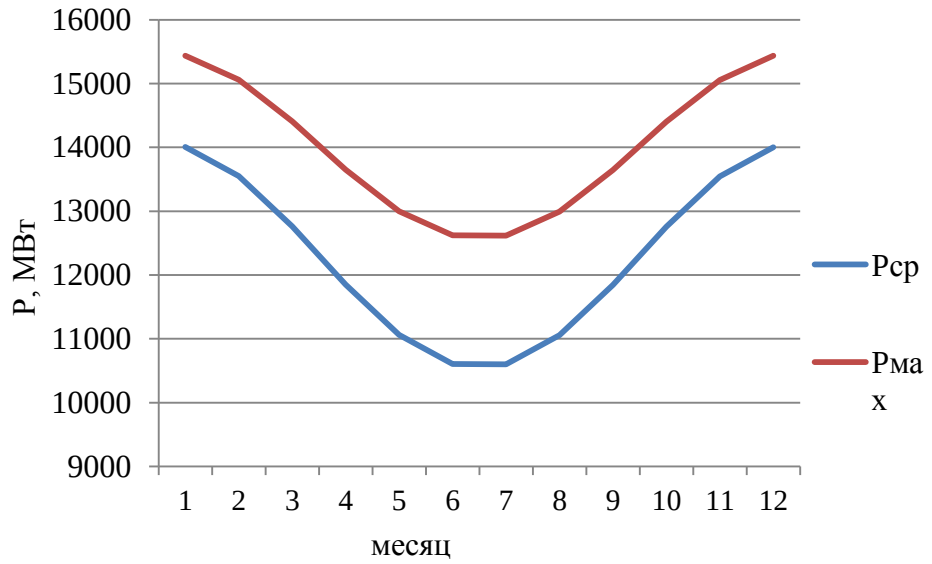


Рисунок 2.3 - Годовой график максимальной и средней нагрузки энергосистемы

2.5 Покрытие графиков нагрузки энергосистемы существующими электростанциями

В состав ОДУ Средней Волги входят гидроэлектростанции, представленные в таблице 2.10:

Таблица 2.10 - Состав ОДУ Средней Волги

Жигулевская ГЭС							
$N_{уст}$(МВт)	$Э_{год}$(млн кВт•ч)	$Э_{лсут}$(МВт*ч)	$Э_{зсут}$(МВт*ч)	$Э_{сут}$(МВт*ч)	$N_{л}$(МВт)	$N_{з}$(МВт)	N(МВт)
2320,00	10317,00	22612,60	33918,90	28266	942	1413	2355
Саратовская ГЭС							
$N_{уст}$(МВт)	$Э_{год}$(млн кВт•ч)	$Э_{лсут}$(МВт*ч)	$Э_{зсут}$(МВт*ч)	$Э_{сут}$(МВт*ч)	$N_{л}$(МВт)	$N_{з}$(МВт)	N(МВт)
1360	5352	11730,41	17595,61644	14663	489	733	1222
Нижнекамская ГЭС							
$N_{уст}$(МВт)	$Э_{год}$(млн кВт•ч)	$Э_{лсут}$(МВт*ч)	$Э_{зсут}$(МВт*ч)	$Э_{сут}$(МВт*ч)	$N_{л}$(МВт)	$N_{з}$(МВт)	N(МВт)
1205	2 670	5852,055	8778,082192	7315	244	366	610
Нижегородская ГЭС							
$N_{уст}$(МВт)	$Э_{год}$(млн кВт•ч)	$Э_{лсут}$(МВт*ч)	$Э_{зсут}$(МВт*ч)	$Э_{сут}$(МВт*ч)	$N_{л}$(МВт)	$N_{з}$(МВт)	N(МВт)
520	1510	3309,589	4964,383562	4137	138	207	345
Чебоксарская Гэс							
$N_{уст}$(МВт)	$Э_{год}$(млн кВт•ч)	$Э_{лсут}$(МВт*ч)	$Э_{зсут}$(МВт*ч)	$Э_{сут}$(МВт*ч)	$N_{л}$(МВт)	$N_{з}$(МВт)	N(МВт)
1370	3500	7671,2	11506,8	9589,0	319,6	479,5	799,1
	Эср.	51175,89	76763,84	-	-	-	
	Рсут.	2132,329	3198,493151	Σ	2132,3	3198,5	

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:

$$N_{\text{ГЭС}} = k_{\text{N}} \cdot Q_{\text{пр}} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв.}}, \tag{2.13}$$

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

$$N_{\text{ВХК}} = k_{\text{N}} \cdot Q_{\text{ВХК}} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв.}}, \tag{2.14}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.11 и 2.12 соответственно:

Таблица 2.11 – Режим работы ГЭС по водотоку

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q 90% бытовой сток	400	500	600	2000	2500	2365	1888	917	688	550	344	272
Потребление	3	3	3	5	5	5	5	5	3	3	3	3
Фильтрация	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Испарение	0	0	0	2	3	4	7	4	2	0	0	0
Льдообразование	-5	-7	0	2	5	4	4	0	0	0	0	-3
Q полезный	390	488	595	1993	2495	2358	1878	906	681	545	339	264
z вб, м	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
z нб, м	24,1	24,5	24,2	25,4	24,9	25,1	25,4	24,9	25,3	24,7	23,8	23,5
H, м	30	29	30	28	29	29	28	29	29	29	30	30
N быт МВт	103	127	157	504	642	603	474	233	173	141	90	71

Таблица 2.12 – Режим работы ГЭС по ВХК

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q ВХК	300	600	600	950	950	950	800	800	800	800	600	300
Z вб	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Z нб	23,64	24,97	24,20	24,93	24,93	24,93	24,66	24,66	25,75	25,75	24,97	23,6
H, м	30	29	29	29	29	29	29	29	28	28	29	30
N гэс ВХК МВт	80	153	157	242	242	242	206	206	198	198	153	80

Сравнение режимов работы проектируемой ГЭС по бытовому стоку обеспеченностью 90% и работы ГЭС по ВХК представлено в таблице 2.13 .

Таблица 2.13 – Сравнение режимов

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
N разницы	23	-26	0	262	399	360	268	27	-26	-57	-62	-9

Годовой график среднемесячных нагрузок с мощность проектируемой ГЭС на бытовом стоке представлен на рисунке 2.4.

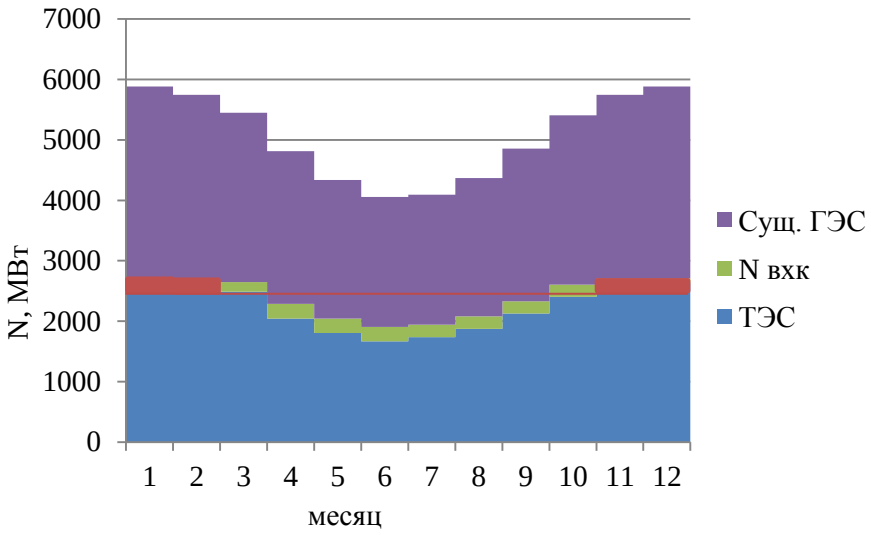


Рисунок 2.4 - Годовой график среднемесячных нагрузок с мощность проектируемой ГЭС на бытовом стоке

2.7 Водно-энергетический расчёт режима работы ГЭС в маловодном и средневодном годах

Расчёт начат с момента, когда водохранилище наполнено и, следовательно, уровень воды в нём равен НПУ = 54 м.

Расход через турбины ГЭС :

$$Q_t^{\text{ГЭС}} = Q_t^{\text{пол.быт.}} + Q_t^{\text{вдх}}, \quad (2.15)$$

где $Q_t^{\text{пол.быт.}}$ – среднемесячный расход рассматриваемого месяца;

$Q_t^{\text{вдх}}$ – расход воды из водохранилища.

Величина $Q_t^{\text{вдх}}$ варьирована для достижения нужной мощности. Причём если вода берётся из водохранилища – $Q_t^{\text{вдх}}$ имеет знак «плюс».

Расход воды в НБ определен суммой расхода воды через ГЭС и потерь воды из водохранилища на фильтрацию:

$$Q_t^{\text{НБ}} = Q_t^{\text{ГЭС}} + Q_t^{\text{ф}}, \quad (2.16)$$

где $Q_t^{\text{ГЭС}}$ – как в формуле (2.15);

$Q_t^{\text{ф}}$ – потери воды на фильтрацию.

Расход в нижний бьеф не может быть меньше расхода, заданного ВХК.

Изменения объёма водохранилища:

$$\Delta V_t = Q_t^{\text{вдх}} \cdot t, \tag{2.17}$$

где t – число секунд в месяце.

Конечный объем:

$$V_{\text{к}\,t} = V_{\text{н}\,t} - \Delta V_t, \tag{2.18}$$

где $V_{\text{н}\,t}$ - начальный объем водохранилища за соответствующий период.

Конечный объем водохранилища текущего интервала времени (месяца) является начальным для расчета режима следующего за ним месяца.

Далее методом последовательных итераций определена отметка верхнего бьефа в конце месячного интервала. Отметка должна быть такова, чтобы использованной из водохранилища воды было достаточно для выработки заданной мощности в зимние месяца, и пропуска необходимого расхода в НБ в летние месяцы. Конечная отметка верхнего бьефа текущего интервала времени (месяца) является начальной для расчета режима следующего месяца.

Приняты следующее допущение – расход в течении месяца постоянен и при переходе от месяца к месяцу изменяется мгновенно, следовательно, отметка НБ в течении месяца постоянна и так же изменяется мгновенно при переходе от месяца к месяцу. Отметка уровня воды в НБ определена по полиномиальным формулам для кривой расходов зимнего и летнего периодов.

Напор на турбине:

$$H_t = z_t^{\text{ВБ.ср}} - z_t^{\text{НБ}} - \Delta h, \tag{2.19}$$

где $z_t^{\text{ВБ.ср}}$ – среднее значение отметки ВБ;

$z_t^{\text{НБ}}$ – отметка НБ;

$\Delta h = 0{,}2$ - потери напора в подводящих сооружениях.

Мощность станции:

$$N_t = k_N \cdot Q_t^{\text{ГЭС}} \cdot H_t, \tag{2.20}$$

где $k_N = 8{,}6$ – коэффициент мощности.

После расчета полного годового цикла сработки-наполнения водохранилища отметка водохранилища должна соответствовать НПУ.

Результатом сработки-наполнения маловодного года являются:

-гарантированная мощность января, декабря – $\text{N}_{\text{гар}} = 255$ (МВт), февраля, ноября - $\text{N}_{\text{гар}} = 117$ (МВт);

-уровень мёртвого объёма – $\text{УМО} = 47{,}8$ (м).

Для средневодного года также проведен расчет режима сработки-наполнения водохранилища.

Цель расчета сработки-наполнения по условиям средневодного года – определение среднемноголетней выработки. Поскольку сработать сработать водохранилище можно разными способами, то проведены не менее двух расчетов.

Первый вариант: по графику сработки маловодного года с увеличением выдаваемой мощности за счет увеличения притоков в средневодном году относительно маловодного. Второй вариант: в начале сработки выдача мощности маловодного года, а далее работа при более высоких напорах, чем в маловодном году теми мощностями, которые позволяют использовать всю емкость водохранилища. Здесь увеличение выработки происходит не только вследствие повышенных расходов, но и за счет более высоких отметок водохранилища и дальнейшей работы при повышенных напорах. Наибольшая выработка из двух вариантов объявляется среднемноголетней выработкой.

Результаты расчета в средневодном году сведены в Приложение А таблицы А.3 и А.4.

Из таблиц А.3 и А.4 находим сумму среднемноголетней выработки.

Наибольшее значение среднемноголетней выработкой выносим в качестве одного из основных показателей проектируемой ГЭС.

Среднемноголетняя выработка по расходам средневодного года при режиме сработки-наполнения по отметкам маловодного года : $\sum Э_t$ =2875199,3 МВт*ч.

Среднемноголетняя выработка по расходам средневодного года при режиме сработки-наполнения по мощностям маловодного года : $\sum Э_t$ =2526012,0 МВт*ч.

Среднемноголетняя выработка 2875 млн. кВт*ч.

По данным таблиц с наилучшим вариантом способа сработки-наполнения водохранилища построен график изменения уровня ВБ в течение года (рисунок 2.5).

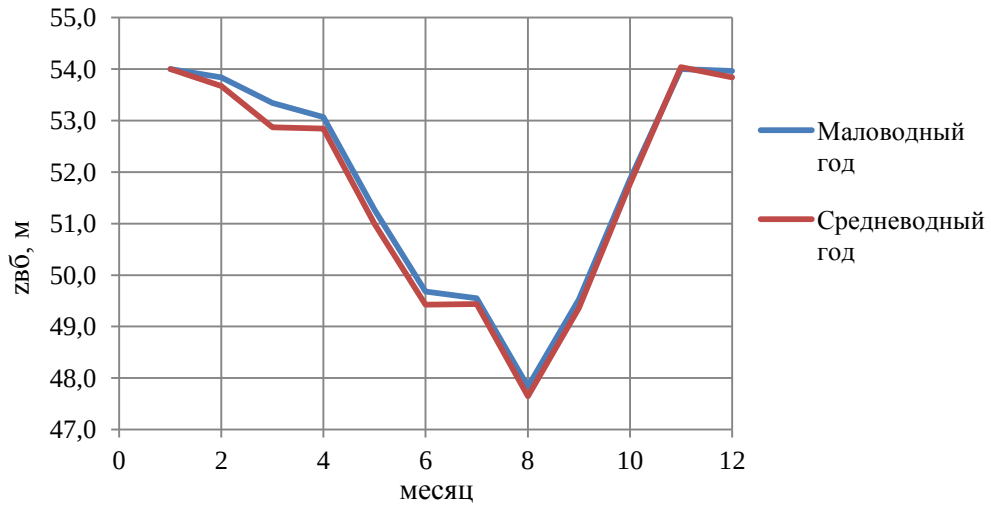


Рисунок 2.5 - График сработки и наполнения водохранилища

Результаты проведения расчетов сработки и наполнения водохранилища представлены в Приложении А таблица А.4, таблица А.5 и таблица А.6 .

По кривой связи объемов водохранилища (таблица 2.1) определен полезный объем водохранилища:

$$\nabla\text{ПОЛЕЗН} = \nabla\text{НПУ.} - \nabla\text{УМО} = 8{,}37\text{км}^3. \quad (2.21)$$

Емкость водохранилища:

$$\beta = \frac{V_{\text{пол}}}{W_0}, \quad (2.22)$$

где W_0 – среднемноголетний объем стока:

$$W_0 = \frac{\sum_1^n Q_{\text{ср.год.}}}{n} \cdot t = \frac{1344}{66} = 25{,}7, \quad (2.23)$$

где $\sum_1^n Q_{\text{ср.год.}}$–годовой сток,

n – количество лет гидрологического ряда.

$$\beta = \frac{V_{\text{пол}}}{W_0} = \frac{8{,}37}{25{,}7} = 0{,}3. \quad (2.21)$$

2.8 Определение установленной мощности проектируемой станции

Исходя из известной гарантированной мощности проектируемой станции, используя интегральную кривую суточного зимнего графика нагрузки энергосистемы, определена установленная мощность проектируемой станции.

Определено расположение мощностей существующих станций на графике нагрузки, а также место проектируемой станции. Вписывание проектируемой ГЭС необходимо в не занятую существующими ГЭС пиковую и полупиковую зону графика нагрузки.

Проектируемая ГЭС расположена в двух зонах графика нагрузки - пиковой и базовой. Для этого выполнен расчет по следующим формулам:

$N_{гар}$=255 МВт

$$Э^{сут}_{гар} = N_{гар}*24=255*24=6120\ МВт*ч. \quad (2.22)$$

Минимальная мощность необходимая для работы в базовой части определяется по формуле:

$$N_{баз}=Q_{вхк}*k_n*H_{min}=600*8.6*17.1=88\ МВт\ , \quad (2.23)$$

где $Q_{вхк}$- минимальное ВХК,

H_{min}- минимальный напор, соответствующий минимальному вхк.

$$Э_{баз}= N_{баз}*24=2118\ МВт. \quad (2.24)$$

Тогда :

$$Э_{полупик}= Э^{сут}_{гар}- Э_{баз}=4002\ МВт*ч, \quad (2.25)$$
$$N_{полупик}= Э_{полупик}/n=308\ МВт, \quad (2.26)$$

где n- количество часов, которыми работает ГЭС в полупиковой части графика нагрузки.

Рабочая мощность проектируемой ГЭС:

$$N_{раб}= N_{полупик}+ N_{баз}=308+88=396\ МВт. \quad (2.27)$$

Максимальная вытесняющая рабочая мощность проектируемой ГЭС(январь, декабрь) не должна превышать гарантированную мощность более чем в два раза, чтобы обеспечить экономичный коэффициент использования мощности.

$N_{раб}< 2N_{гар}$
$396< 510$

Установленная мощность станции – это вытесняющая рабочая мощность с учётом резервов .

$$N_{уст}^{пр.ГЭС} = N_{выт.раб.}^{пр.ГЭС} + N_{рез}^{ГЭС}, \quad (2.28)$$

где $N_{выт.раб.}^{пр.ГЭС}$ – вытесняющая рабочая мощность;

Резерв для станции принимаем 9 % от рабочей мощности станции.

$$N_{рез}^{ГЭС} = 0{,}09 * N_{выт.раб.}^{пр.ГЭС} = 0{,}1 * 396 = 36\ МВт, \quad (2.29)$$
$$N_{уст}^{пр.ГЭС} = N_{выт.раб.}^{пр.ГЭС} + N_{рез}^{ГЭС} = 396 + 36 = 432\ МВт. \quad (2.30)$$

Установленная мощность ГЭС $N_{уст}^{пр.ГЭС} = 432$ МВ

2.9 Планирование капитальных ремонтов оборудования энергосистемы

Планирование капитальных ремонтов оборудования энергосистемы производится с учетом технико-экономических особенностей. Ремонт оборудования ГЭС осуществляется в те месяцы, когда оно не полностью

используется в энергосистеме, т.е. на ГЭС имеется свободная мощность. При этом продолжительность ремонта гидроагрегатов ГЭС принимается равной 30 дней, а частота их проведения – 1 раз в 6 года.

Ремонтная площадь существующих ГЭС:

$$F_{\text{рем}}^{\text{сущ.ГЭС}} = \frac{1 \cdot N_{\text{уст}}^{\text{сущ.ГЭС}}}{6} \cdot 1\text{мес} = \frac{5921}{6} = 987 \text{ МВт} \cdot \frac{\text{мес}}{\text{год}}. \quad (2.31)$$

Ремонтная площадь проектируемой ГЭС:

$$F_{\text{рем}}^{\text{пр.ГЭС}} = \frac{1 \cdot N_{\text{уст}}^{\text{пр.ГЭС}}}{6} \cdot 1\text{мес} = \frac{432}{6} = 72 \text{ МВт} \cdot \frac{\text{мес}}{\text{год}}. \quad (2.32)$$

Капитальный ремонт оборудования ТЭС можно планировать, исходя из расчета остановки каждого агрегата на период ремонта в среднем 1 раз в 2 года.

Предусмотрены следующие нормы простоя оборудования: ТЭС с поперечными связями – 15 дней; блочные ТЭС – 30 дней.

$$F_{\text{рем}}^{\text{ТЭС}} = \left(\frac{N_{\text{уст}}^{\text{ТЭС}}}{2} \cdot \frac{1}{2}\text{мес} + \frac{N_{\text{уст}}^{\text{ТЭС}}}{2} \cdot 1\text{мес}\right) \cdot \frac{1}{2} \ , \quad (2.33)$$

где $N_{\text{уст}}^{\text{ТЭС}}$ -определяется по 1 или 12 месяцу (Приложение А таблица А.5).

$$N_{\text{уст}}^{\text{ТЭС}} = N_{\text{раб}}^{\text{ТЭС}} + N_{\text{ав.рез}}^{\text{ТЭС}} + N_{\text{нагр.рез}}^{\text{ТЭС}} =$$
$$= 9234 + 646 + 185 = 10065 \text{ МВт}. \quad (2.34)$$

Тогда :

$$F_{\text{рем}}^{\text{ТЭС}} = \left(\frac{10065}{4} + \frac{10065}{2}\right) \cdot \frac{1}{2} = 3774{,}6 \text{ МВт} \cdot \frac{\text{мес}}{\text{год}}. \quad (2.35)$$

Расчёты представлены в Приложение А таблица А.5.

Баланс мощности в маловодном году представлен на рисунке 2.6

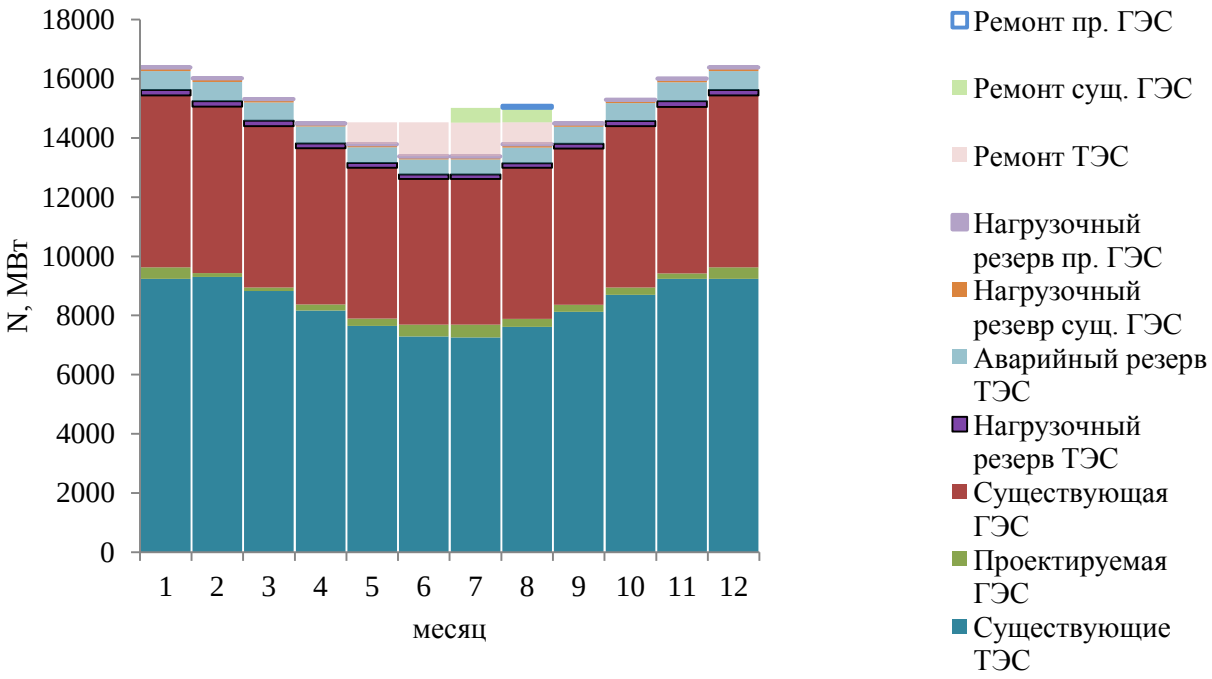


Рисунок 2.6 - Баланс мощностей энергосистемы в маловодном году

2.10 Определение максимального расчетного расхода

Согласно СНиП 33-01-2003, проектируемая бетонная водосливная плотина имеет II класс гидротехнического сооружения . Сооружение данного класса должно быть рассчитано на пропуск половодья с расходом, ежегодная вероятность превышения которого составляет 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 0,1 %).

Расход воды заданной обеспеченностью:

$$Q_{P\%} = (\varphi_{P\%} \cdot C_V + 1) \cdot Q_{ср.год}, \quad (2.36)$$

где $\varphi_{P1\%}$ - коэффициент отклонения ординат кривой обеспеченности среднеполоводных расходов от середины, определяемый в зависимости от коэффициента асимметрии C_S по [ ] .

C_V- коэффициент вариации;

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

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n}}, \quad (2.37)$$

где K_i - модульный коэффициент, который определен по формуле:

$$K_i = \frac{Q_{cp.i}}{Q_{cp.max}}. \quad (2.38)$$

Коэффициент асимметрии:

$$C_S = \frac{\sum (K_i - 1)^3}{n \cdot C_V^{\ 3}}; \quad (2.39)$$

Среднеквадратическая ошибка коэффициента вариации :c_v = 0,199;

$$\delta_{c_v} = \pm \frac{\sqrt{1+3 \cdot C_v^2}}{\sqrt{2\,(n-1)}} \cdot 100\ \%, \quad \delta_{c_v} = 9{,}28\ \%. \quad (2.40)$$

δ_{c_s} = - 22,5 % - недопустимая ошибка, поэтому для построения кривой обеспеченности принят C_s=2C_v=0,4.

Зная величины $Q_{ср}$=2637 м^3/с, C_V=0,199, C_S=0,4 вычислена теоретическая кривая обеспеченности средних годовых расходов воды.

Результаты расчета представлены в таблице 2.14. Кривая обеспеченности представлена на рисунке 2.7.

Расход для 0,01 обеспеченности вычислен с учетом гарантийной поправки $\Delta Q = 420{,}4$ м^3/с.

Таблица 2.14 – Вычисление теоретической кривой обеспеченности средних годовых расходов воды

P, %	0,01	0,1	1	3	5	10
Ф	4,610	3,660	2,610	2,040	1,750	1,320
Ms=ФCv	0,919	0,730	0,520	0,407	0,349	0,263
Ks=Ms+1	1,919	1,730	1,520	1,407	1,349	1,263
Q=KsQcp	5061	4561	4009	3709	3557	3331

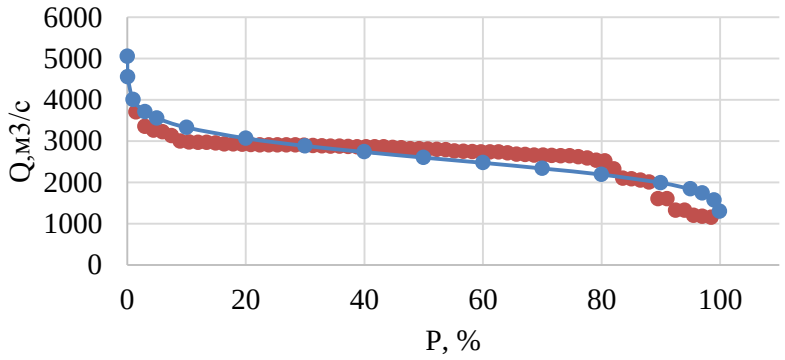


Рисунок 2.7 – Теоретическая кривая обеспеченности

3 Основное и вспомогательное оборудование

3.1 Выбор типа и числа агрегатов

3.1.1 Построение режимного поля

Режимное поле – область допустимых режимов работы проектируемой ГЭС. Верхней границей режимного поля является напорная характеристика при работе ГЭС с водохранилищем, наполненным до отметки НПУ, нижней - при работе ГЭС с водохранилищем, сработанным до отметки УМО. Построение этих характеристик выполнено по следующему уравнению (таблица 3.1):

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

где ∇ВБ – отметка уровня воды в верхнем бьефе, для верхней границы $\nabla\text{ВБ} = \nabla\text{НПУ} = 54$ м, для линии расчётного напора $\nabla\text{ВБ} = \nabla\text{ВБ}_{\text{р}} = 50{,}5$ м, для нижней границы $\nabla\text{ВБ} = \nabla\text{УМО} = 47{,}8$ м;

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

Δh –потери напора в водоподводящих сооружениях.

Ограничением слева на режимном поле является минимальный расход воды, определяемый заданным ограничением по условиям санитарного попуска:

$$Q_{min} = 300\ {}^{\text{м}^3}/_{\text{с}}. \quad (3.2)$$

Уравнение линии ограничения по расчетной установленной мощности имеет следующий вид:

$$Q_{\text{ГЭС}} = \frac{N_{\text{уст}}}{k_N \cdot H_{\text{ГЭС}}}, \quad (3.3)$$

где $N_{\text{уст}}$ – установленная мощность Вяткинской ГЭС;

k_N – коэффициент мощности;

$H_{\text{ГЭС}}$ – напор на ГЭС.

Уравнение линии ограничения по пропускной способности ГЭС:

$$Q_{\text{ГЭС}} = Q_{\text{ГЭС}}^{max} \cdot \sqrt{\frac{H_{\text{ГЭС}}}{H_{\text{р}}}}, \quad (3.4)$$

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

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

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

Таблица 3.1 – Результаты расчёта режимного поля проектируемой станции

Кривые связи НБ для летних и зимних условий			Напорные характеристики			Линия ограничения по расчетной установленной мощности		Линия ограничения по пропускной способности ГЭС	
Qнб	Zнб, лето	Zнб, зима	НПУ	УМО	ZВБ	Н	Q	Н	Q
0	22,0	22,0	31,5	25,6	28,0	29,0	1732,2	19,6	2560,3
568	24,8	24,4	28,9	23,0	25,4	28,3	1773,1	19,1	2527,4
1136	26,9	26,1	27,0	21,1	23,5	27,7	1816,1	18,6	2494,2
1704	28,6	27,6	25,4	19,5	21,9	27,0	1861,2	18,1	2460,5
2272	30,3	29,0	23,9	18,0	20,4	26,3	1908,5	17,6	2426,3
2840	31,9	30,3	22,4	16,5	18,9	25,7	1958,4	17,1	2391,6
3408	33,7	31,6	20,8	14,9	17,3	25,0	2010,9	16,6	2356,4
3976	35,6	33,0	19,2	13,3	15,7	24,3	2066,3	16,1	2320,7
4544	37,5	34,4	17,5	11,6	14,0	23,6	2124,9	15,6	2284,4
5112	39,4	36,0	15,8	9,9	12,3	23,0	2186,9	15,1	2247,6
5680	41,4	37,5	14,1	8,2	10,6	22,3	2252,6	14,6	2210,1
6248	43,3	39,0	12,3	6,4	8,8	21,6	2322,4	14,1	2172,0
6816	45,5	40,6	10,5	4,6	7,0	21,0	2396,6	13,6	2133,2
7384	48,1	42,1	8,4	2,5	4,9	20,3	2475,7	13,1	2093,6
7952	51,5	43,8	5,9	0,0	2,4	19,6	2560,3	12,6	2053,4

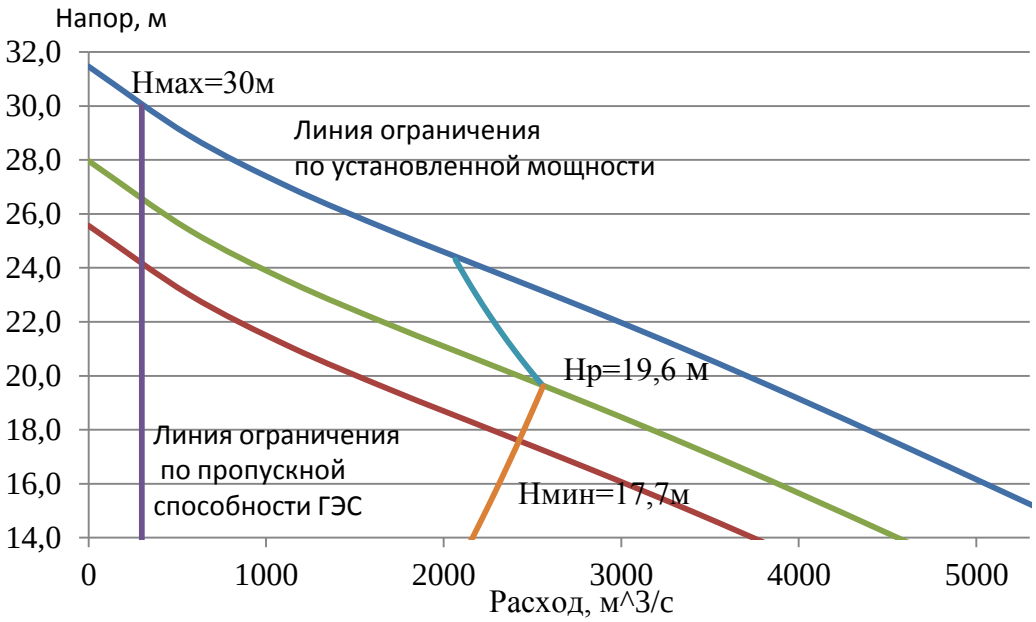


Рисунок 3.1 – Режимное поле Вяткинской ГЭС

Из построенного режимного поля определены:

– максимальный напор. Определен в точке пересечения напорной характеристики при НПУ и линии ограничения по минимальному расходу:

$$H_{max} = 30 \text{ м}; \quad (3.5)$$

– максимальный расход. Определен в точке пересечения линии ограничения по расчетной установленной мощности с линией расчётного напора:

$$Q^{max} = 2580 \, {}^{\text{м}^3}/_{\text{с}}; \quad (3.6)$$

– расчётный напор. Определен в точке пересечения линии ограничения по расчетной установленной мощности с линией расчётного напора:

$$H_{\text{р}} = 19{,}6 \text{ м}; \quad (3.7)$$

– минимальный напор. Определен в точке пересечения напорной характеристики при УМО и линии ограничения по пропускной способности ГЭС:

$$H_{min} = 17{,}7 \text{ м}. \quad (3.8)$$

3.1.2 Выбор гидротурбин по главным универсальным характеристикам

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

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

Таблица 3.2 –Параметры турбинного оборудования

Параметр		ПЛ30а-В	ПЛ30б-В
Максимальный напор гидротурбин	$H_{пред}$, *м*	30	30
Диапазон регулирования	$H_{\min} / H_{\max}$	0,5	0,5
Оптимальная приведенная частота вращения	n'_{1O}, $мин^{-1}$	126	130
Оптимальный приведенный расход	Q'_{1O}, $л/с$	890	1270
Оптимальный КПД модели	$\eta_{мо}$	0,912	0,911

Окончание таблицы 3.2

Параметр		ПЛ30а-В	ПЛ30б-В
Приведенный максимальный расход	$Q'_{1\max}$, $л/с$	1950	1900
Коэффициент кавитации	σ $при$ $Q'_{1\max}$	1,0	1,0
Приведенный диаметр рабочего колеса	$D'_{1м}$, $м$	0,460	0,460
Напор модельной турбины	$H_м$, $м$	4	8
$t_м$, ^oC		5	21

Для более обоснованного выбора параметров гидротурбины выполнены расчеты для ряда стандартных диаметров (начиная с максимально возможного для каждого типа турбин), результаты которых представлены в приложении Б, таблица Б.1 для ПЛ30а-В, в таблице Б.2 для ПЛ30б-В.

Коэффициент полезного действия натурной гидротурбины:

$$\eta_{\text{Т}} = 1 - (1 - \eta_{\text{М О}}) \cdot ((1 - \varepsilon) + \varepsilon \cdot \sqrt[10]{\left(\frac{D_{1\,\text{М}}}{D_1}\right)^2 \cdot \frac{H_{\text{М}}}{H_{\text{р}}} \cdot \left(\frac{\nu_{\text{Н}}}{\nu_{\text{М}}}\right)^2}), \tag{3.9}$$

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

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

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

D_1 – диаметр натурной гидротурбины, по справочным данным [3];

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

$H_{\text{р}}$ – расчётный напор натурной гидротурбины, формула (3.7);

$\nu_{\text{Н}} = 1{,}51$ – кинематический коэффициент вязкости воды натурной гидротурбины;

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

Для поворотно - лопастных гидротурбин коэффициент, выражающий отношение потерь трения ко всем гидравлическим потерям, определен из следующего условия:

$$\varepsilon = 0{,}75. \tag{3.10}$$

Мощность агрегата в расчётной точке:

$$N'_{\text{а}} = 9{,}81 \cdot Q'_{I\,\text{р}} \cdot D_1^2 \cdot H_{\text{р}}^{1{,}5} \cdot \eta_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{г ср}}, \tag{3.11}$$

где $Q'_{I\,р} = 1768 м^3/с$ для ПЛ30а-В, $Q'_{I\,р} = 890 м^3/с$ для ПЛ30б-В - приведенный расход в расчетной точке;

$\eta_{г\,ср}$ – средний коэффициент полезного действия генератора из выражения (принимается $\eta_{г\,ср} = 0{,}97$).

Число устанавливаемых на ГЭС агрегатов:

$$z'_а = \frac{N_{уст}}{N'_а}, \quad (3.12)$$

где $N'_а$ – мощность агрегата из выражения (3.10);

Nуст = 432 МВт – расчетная установленная мощность.

Рассчитанное число агрегатов z'_a округлено в большую сторону (z_a).

После чего уточнена мощность агрегата:

$$N_a = \frac{N_{уст}}{z_a}. \quad (3.13)$$

Синхронная частота вращения:

$$n'_c = \frac{n'_р \cdot \sqrt{\Delta р \cdot H_р}}{D_1}, \quad (3.14)$$

где $n'_р$ – приведённая частота вращения модельной гидротурбины в расчётной точке (таблица 3.2);

$\Delta р = \frac{\eta_Т}{\eta_м}$ – поправка на приведённую частоту вращения при переходе от модели к натуре.

По полученной синхронной частоте вращения принято ближайшее большее стандартное значение синхронной частоты вращения по известному стандартному ряду.

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

$$n'_I = \frac{n_с \cdot D_1}{\sqrt{H \cdot \Delta}}, \quad (3.15)$$

где $n_с$ – стандартное значение синхронной частоты вращения;

H – напор на станции, соответствует H_{max}, $H_р$ и H_{min}.

Окончательное положение расчетной точки на линии $n'_{I\,р}$ с учетом ранее округленного числа агрегатов и уточненной мощности агрегата $N_а$:

$$Q'_I \cdot \eta_Т = \frac{N_а}{9{,}81 \cdot D_1^2 \cdot H_р^{1{,}5} \cdot \eta_{г\,ср}}. \quad (3.16)$$

Правая часть уравнения (3.16) является константой при всех известных его параметрах, а левая часть определена подбором такой точки на линии $n'_{I\,р}$, чтобы произведение $Q'_I \cdot \eta_Т$ в этой точке обеспечивало выполнение указанного равенства.

Сделан перерасчёт режимного поля на координаты универсальной характеристики.

Верхняя и нижняя граница режимного поля есть горизонтальные линии, соответствующие максимальному и минимальному напору, посчитанные по формуле (3.15).

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

$$Q'_I = \frac{Q_{min}}{D_1^2 \cdot \sqrt{H \cdot \Delta}}, \quad (3.17)$$

где Q_{min} – минимальный расход через станцию.

Правая граница пересчитанного режимного поля состоит из двух линий. Верхняя линия проведена параллельно линиям открытия направляющего аппарата. Нижняя линия построена по двум точкам, одна из которой – расчётная точка, а другая – точка, определённая по формуле (3.17), подстановкой в формулу не расчётного напора, а максимального.

Выбор подходящего типа гидротурбин основывался на следующем анализе.

Отсеивались типы турбины, левая граница режимного поля которых выходила за пределы универсальной характеристики или находилась в непосредственной близости к оптимуму или за ним. Определялось положение расчётной точки, и отсеивались гидротурбины, в которых она левее или очень близко к оптимуму. Так же отсеивались 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).

Так же, не рассматривались турбины, мощность которых была меньше 50 МВт и числом агрегатов больше 10 в виду не целесообразности данного выбора гидротурбин.

Анализируя полученные варианты параметров турбин по таблицам 3.3 и 3.4, для дальнейшего анализа выбраны турбины ПЛ30а-В и ПЛ30б-В со следующими параметрами:

ПЛ30а-В-670: Za=8, n_c=88,2 об/мин;
ПЛ30а-В-750: Za=6, n_c=78,9 об/мин;
ПЛ30б-В-630: Za=8, n_c=100 об/мин.

Для выбора лучшего варианта, необходимо рассчитать высоту отсасывания.

Главные универсальные характеристики выбранных турбин с построенным режимным полем представлены в приложении А, рисунки А1-А3.

3.2 Определение отметки установки рабочего колеса гидротурбины

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

Глубина отсасывания рассчитана для трех наиболее опасных с точки зрения кавитации случаев, то есть требующими наибольшего заглубления рабочего колеса:

– работа одного агрегата при расчетном напоре и номинальной мощности;

– работа одного агрегата при максимальном напоре и номинальной мощности;

– работа одного агрегата при минимальном напоре и соответствующей мощности на линии ограничения.

Высота отсасывания определена по формуле:

$$\mathrm{H}_S = B - \frac{Z_{\mathrm{НБ}}(Q_{\mathrm{НБ}})}{900} - \sigma \cdot H - 1{,}5 + \Delta Z_{x,\mathrm{пл}}, \qquad (3.18)$$

где В = 10м вод. ст. – барометрическое давление;

$\mathrm{Z_{НБ}(Q_{НБ})}$ – отметка НБ при данном расходе, определяется по кривой связи;

σ–коэффициент кавитации, определенный по универсальной характеристике для расчетных условий;

$\Delta Z_{x,\mathrm{пл}}$ − разность отметок характерных плоскостей модельной и натурной турбин:

для ПЛ – турбин: $\Delta Z_{x.\mathrm{пл}} = 0$;

Пример расчета гидротурбины ПЛ30а-В-750

1. Определение глубины отсасывания при работе одного агрегата ГЭС с расчетным напором $H_{\mathrm{р}} = 19{,}6$ м:

Определен коэффициент кавитации с ГУХ, равный $\sigma = 0{,}74$ и $\mathrm{Q}' = 1{,}72\mathrm{м}^3/\mathrm{с}$.

По формуле пересчитан расход :

$$Q = Q' \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{\Delta p \cdot H_\text{р}} = 1.72 \cdot 7.5^2 \cdot \sqrt{1.065 \cdot 19.6} = 442.03 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.19)$$

Высота отсасывания:

$$\text{H}_S = 10 - \frac{24,3}{900} - 0,74 \cdot 19,6 - 1,5 = -6,0 \text{ м},$$
$$Z_\text{НБ}(Q_\text{НБ} = 442,03) = 24,3 \text{ м}.$$

2. Определение глубины отсасывания при работе одного агрегата ГЭС с расчетным напором $H_\text{мах} = 30$ м:

Определен коэффициент кавитации с ГУХ, равный $\sigma = 0,32$ и $\text{Q}' = 0,905\text{м}^3/\text{с}$.

По формуле пересчитан расход :

$$Q = Q' \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{\Delta p \cdot H_\text{р}} = 0,905 \cdot 7.5^2 \cdot \sqrt{1.065 \cdot 30} = 287,74 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.20)$$

Высота отсасывания:

$$\text{H}_S = 10 - \frac{23,6}{900} - 0,32 \cdot 30 - 1,5 = -1,126 \text{ м},$$
$$Z_\text{НБ}(Q_\text{НБ} = 287,74) = 23,6 \text{ м}.$$

3. Определение глубины отсасывания при работе одного агрегата ГЭС с расчетным напором $H_\text{мин} = 17,7$ м:

Определен коэффициент кавитации с ГУХ, равный $\sigma = 0,73$ и $\text{Q}' = 1,7\text{м}^3/\text{с}$.

По формуле пересчитан расход :

$$Q = Q' \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{\Delta p \cdot H_\text{р}} = 1.7 \cdot 7.5^2 \cdot \sqrt{1.065 \cdot 17,7} = 415,18 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.21)$$

Высота отсасывания:

$$\text{H}_S = 10 - \frac{24,2}{900} - 0,73 \cdot 17,7 - 1,5 = -4,45 \text{ м},$$
$$Z_\text{НБ}(Q_\text{НБ} = 415,18) = 24,2 \text{ м}.$$

Аналогичным образом произведены расчеты для всех подобранных гидротурбин и диметров.

Для удобства все результаты расчетов высоты отсасывания сведены в таблицу 3.2

Таблица 3.2 – Результаты расчетов высоты отсасывания

Тип турбины	D1	z	n	Кпд	Na	Hs 1	Hs 2	Hs 3
ПЛ30а	6,7	8	88,2	0,971	54	-5,07	-0,8	-2,67
ПЛ30а	**7,5**	**6**	**78,9**	**0,972**	**72**	**-6**	**-1,126**	**-4,45**
ПЛ30б	6,3	8	100	0,959	54	-6,23	1,87	-3,92

При анализе выбрана турбина ПЛ30а-В-750 исходя из следующего:

- при сравнении двух вариантов (ПЛ30а-В-670 и ПЛ30а-В-750),была выбрана данная турбина, так как при $H_s = -6$ и z=6, строительство будет более экономично, чем при первом варианте;

-выбранные параметры турбины обеспечивают эксплуатацию агрегатов во всех допустимых режимах работы с наибольшим КПД=0,972 ;

-турбина с минимальным количеством агрегатов, при большей мощности каждого из них Na=72 МВт, что приводит к снижению стоимости основного оборудования, сокращению сроков изготовления.

Турбина ПЛ30а-В-750 имеет следующие параметры:

$$D_1 = 7{,}5 \text{ м}, \quad (3.22)$$

$$D_0 = 1{,}232 \cdot D_1 = 1{,}232 \cdot 7{,}5 = 9{,}24 \text{ м}, \quad (3.23)$$

$$z_0 = 24. \quad (3.24)$$

3.2.1 Выбор отметки расположения рабочего колеса

Выбор отметки расположения рабочего колеса, т.е. отметки характерной плоскости турбины (середина высоты направляющего аппарата), произведен из условия обеспечения безкавитационной работы турбины во всех режимах.

Для выполнения условия безкавитационной работы определены отметки характерной плоскости для трех режимов работы:

а) для расчетного напора $H_\text{р}$ и номинальной мощности:

$$(\nabla \text{ Х.ПЛ})_{H_\text{р}} = \nabla \text{ НУ}_\text{р} + (H_s^{\text{доп}})_{H_\text{р}} = 24{,}3 + (-6) = 18{,}3\text{м}. \quad (3.25)$$

б) для максимального напора H_max и номинальной мощности:

$$(\nabla \text{ Х.ПЛ})_{H_{max}} = \nabla \text{ НУ}_{min} + (H_s^{\text{доп}})_{H_{max}} =$$
$$= 23{,}6 + (-1{,}126) = 22{,}47 \text{ м}. \quad (3.26)$$

в) для минимального напора H_min и соответствующей ему мощности N^* на линии ограничения:

$$(\nabla \text{ Х.ПЛ})_{H_{min}} = \nabla \text{ НУ}_{max} + (H_s^{\text{доп}})_{H_{min}} =$$
$$= 24{,}2 + (-4{,}45) = 19{,}75 \text{ м}. \quad (3.27)$$

где $\nabla \text{ НУ}_\text{р}$, $\nabla \text{ НУ}_\text{min}$, $\nabla \text{ НУ}_\text{max}$ – отметки нижнего уровня;

$(H_s^{\text{доп}})_{H_\text{р}}$ – минимальное значение допустимой высоты отсасывания при $H_\text{р}$;

$(H_s^{\text{доп}})_{H_{max}}$ – максимальное значение допустимой высоты отсасывания при H_{max};

$(H_s^{\text{доп}})_{H_{min}}$ – минимальное значение допустимой высоты отсасывания при H_{min}.

Все значения и отметки приняты из пункта 3.2.

За отметку расположения рабочего колеса принимается наименьшее из трех полученных значений: $(\nabla \text{Х.ПЛ})_{H_\text{р}} = 18{,}3$ м.

3.3 Расчет и построение бетонной спиральной камеры

Для турбины ПЛ30а-В-750 принимается бетонная спиральная камера, с плоским потолком и углом охвата спиральной камеры – $\varphi_{\text{сп}}$ = 210^0 – рекомендованный угол охвата спиральной камеры;

Эскиз спиральной камеры представлен в приложении Б, рисунок Б.5

3.4 Выбор гидрогенератора

Гидрогенератор подбирается по справочным данным серийных типов по расчетному значению его номинальной мощности и синхронной частоте вращения. Так как выбрать генератор не удалось, был проведен расчет. [6]

В результате расчета подобран гидрогенератор СВ-120/80-76,05.

Номинальная мощность гидрогенератора:

$$S_\text{н} = \frac{N_\text{ген}}{cos\,\varphi} = \frac{72}{0{,}9} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А},$$

где $\cos\varphi$ =0,81-0,9.

Расчетная мощность:

$$S_\text{р} = \kappa S_\text{н} = 1{,}06 \cdot 80 = 84{,}8 \text{ МВ} \cdot \text{А}, \quad (3.29)$$

где κ −коэффициент, зависящий в основном от $\cos\varphi$:

Число полюсов:

$$2p = \frac{2 \cdot f \cdot 60}{n_\text{с}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 60}{78{,}9} = 76{,}05, \quad (3.30)$$

где n_c − синхронная частота гидрогенератора

Диаметр ротора :

$$D_i = 11{,}056 \text{ м}. \quad (3.31)$$

Внешний диаметр вала приближенно:

$$d_{\text{в}} = (12 \div 14)\sqrt[3]{\frac{N_{\text{ген}}}{n_0}} = 12\sqrt[3]{\frac{72}{78{,}9}} = 1.16 \approx 120\text{см}. \quad (3.32)$$

Внутренний диаметр вала:

$$d`_{\text{в}} = \sqrt[4]{d_{\text{в}}\left({d_{\text{в}}}^3 - 113\frac{N_{\text{ген}}}{n_0}\right)} = \sqrt[4]{1{,}20\left(1{,}20^3 - 113\frac{72}{78{,}9}\right)} = 1{,}14 \text{ м}. \quad (3.33)$$

Общая масса генератора приближенно:

$$G_{\text{ген}} = \psi D_i l_a = 50 \cdot 11{,}056 \cdot 0{,}8 = 442{,}23 \text{ т}, \quad (3.34)$$

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

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

$$G_{\text{рот}} = 0{,}55 \cdot G_{\text{ген}} = 0{,}55 \cdot 442{,}23 = 243{,}22 \text{ т}. \quad (3.35)$$

Основные размеры вертикального гидрогенератора представлены в таблице 3.6

Таблица 3.6 - Основные размеры генератора СВ-120/80-76,05.

Элемент генератора	Параметр	Зависимость	Значение
Статор	Высота корпуса $h_{\text{ст}}$	$(1{,}7 \div 1{,}9)l_a$	1,44 м
	Диаметр корпуса $D_{\text{ст}}$	$(1{,}05 + 0{,}0017n_0)D_i$	13,09 м
	Диаметр активной стали D_a	$D_i + (0{,}5 \div 0{,}9)$	11,66 м
Верхняя крестовина	Высота $h_{\text{в.к.}}$	$(0{,}1 \div 0{,}12)D_i$	1,106 м
	Диаметр лучей $D_{\text{в.к.}}$	$D_{\text{ст}}$	13,09 м
Подпятник	Высота $h_{\text{п}}$	$(0{,}15 \div 0{,}2)D_i$	1,66м
	Диаметр кожуха $D_{\text{п}}$	$(0{,}4 \div 0{,}5)D_i$	4,42 м
Нижняя крестовина	Высота $h_{\text{н.к.}}$	$(0{,}25 \div 0{,}30)D_{\text{ш}}$	2.46 м
	Диаметр лучей $D_{\text{н.к.}}$	$D_{\text{ш}} + 0{,}4$	10.25 м
Надстройка	Высота h_0	$0{,}3 \div 0{,}5$	0,40 м
	Диаметр d_0	$(0{,}2 \div 0{,}25)D_i$	2,21 м
Кратер	Диаметр $D_{\text{кр}}$	$(1{,}4 \div 1{,}5)D_i$	15,48 м
	Минимальная ширина прохода b	$0{,}4 \div 0{,}5$	0,45 м

3.5 Выбор маслонапорной установки

Выбрано МНУ 1,6-1/40, объём котла 1,6 $м^3$,давление 40 кгс/см, исполнение однокотельное.

3.6 Выбор электрогидравлического регулятора

Выбор ЭГР осуществляется по диаметру главного золотника.

По таблице 9.7 [3] определен тип ЭГР. Для турбины ПЛ выбран ЭГРК-150-5 при давлении масла в системе МНУ, равного 4 МПа.

ЭГРК- для гидротурбин с двумя регулирующими органами.

3.7 Определение геометрических размеров проточной части и машинного зала

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

Высота отсасывающей трубы:

$$h = 1{,}29 \cdot D_1 = 1{,}29 \cdot 7{,}5 = 9{,}68 \text{ м.} \quad (3.36)$$

Диаметр спиральной камеры на входе:

$$D_{\text{с.к.вх}} = 1{,}789 \cdot D_1 = 1{,}789 \cdot 7{,}5 = 13{,}42 \text{ м.} \quad (3.37)$$

Ширина спиральной камеры:

$$B_{\text{сп}} = 2{,}885 \cdot D_1 = 2{,}885 \cdot 7{,}5 = 21{,}64 \text{ м.} \quad (3.38)$$

Длина отсасывающей трубы:

$$L = 4{,}548 \cdot D_1 = 4{,}548 \cdot 7{,}5 = 34{,}11 \text{ м.} \quad (3.39)$$

Ширина отсасывающей трубы на выходе:

$$B_1 = 2{,}5 \cdot D_1 = 2{,}5 \cdot 7{,}5 = 18{,}75 \text{ м.} \quad (3.40)$$

Ширина одного блока с запасом:

$$\text{В}_{\text{бл}} = 3D + l = 3 \cdot 7{,}5 + 1{,}5 = 24 \text{ м.} \quad (3.41)$$

Ширина монтажной площадки по рекомендации [-]:

$$B_{\text{мп}} = B_{\text{бл}} = 24 \text{ м} \quad (3.42)$$

Длина монтажной площадки:

$$L_{\text{мп}} = 1.25 \cdot \text{В}_{\text{бл}} = 1.25 \cdot 24 = 30. \quad (3.43)$$

Длина машинного зала:

$$L_{\text{мз}} = n \cdot B_{\text{бл}} + L_{\text{мп}} = 6 \cdot 24 + 30 = 174 \text{ м}. \quad (3.44)$$

Высота машинного зала:

$$H_{МЗ} = 19{,}1 \text{ м} \quad (3.45)$$

3.8 Выбор кранов

Выбор кранов произведен на основании рассчитанного веса затворов.[5]

Для подъема затвора на гребень плотины подобран кран с грузоподъемностью 100 т.

Для затвора в нижнем бьефе подобран кран с грузоподъемностью 50 т.

Так как число агрегатов равно 6, для машинного зала принято 2 полукозловых крана, грузоподъемностью, равной половине массы наиболее тяжелого монтажного узла, а именно ротора, его вес составляет 243,22 т. Подобрано 2 полукозловых крана КП-160 грузоподъемностью 160 т.

При применении двух кранов они устанавливаются зеркально. Для увеличения зоны обслуживания тележки кранов разворачиваются на 180°.

4 Компоновка и сооружения гидроузла

4.1 Определение ширины водосливного фронта

Первоначально определен расчетный расход воды для основного расчетного случая $Q_р$, который должен пропускаться при НПУ через все эксплуатационные водопропускные сооружения гидроузла при полном их открытии. [7]

Количество агрегатов, участвующих в пропуске расчетных расходов, должно быть не более

(n - 1) при числе гидроагрегатов ГЭС $n = 6$;

$$Q_р = Q_{макс\ осн} - Q_{ГЭС} = 4561 - 300 * (6 - 1) = 3061 м^3/с, \quad (4.1)$$

где $Q_{макс\ осн}$ - максимальный расчетный расход для основного расчетного случая обеспеченности 0,1 % (для сооружения I класса) с учетом трансформации его водохранилищем;

$Q_{ГЭС}$ - расход через агрегаты, участвующие при пропуске расчетного расхода.

Общая ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{Q_р}{q_в}, \quad (4.2)$$

где $q_в$ - удельный расход на водосливе:

$$q_в = 1{,}25 * q_р, \quad (4.3)$$

где $q_р$- удельный расход на рисберме:

$$q_р = [\upsilon_h] \cdot h_{НБ}, \quad (4.4)$$

где $h_{НБ}$ – глубина воды в нижнем бьефе, определена по кривой $\nabla НБ = f(Q_{НБ})$;

$[\upsilon_h]$ – допустимая неразмывающая скорость на рисберме, принята в зависимости от грунтов, слагающих дно реки (для глины $[\upsilon_h]$=3 м/с).

Отметка уровня НБ при $Q_{макс\ осн}$=4561 м/с : $\nabla УНБ = 37{,}5$ м;

$h_{нб}$= $\nabla УНБ$ - $\nabla дна$ =37,5 – 22=15,5 м , (4.5)

$q_р$ =3·15,5=46,5 $м^2/с$, (4.6)

$q_в$ =1,25·46,5=58,1$м^2/с$, (4.7)

$$B = \frac{Q_р}{q_в} = \frac{3061}{58{,}1} = 52{,}7 \ м. \quad (4.8)$$

Ширина водосливного фронта В должна быть целым числом поэтому полученное значение округлено в большую сторону, В=53 м.

Количество водосливных отверстий при стандартной длине пролета $b = b_{ст} = 16$ м :

$$n = \frac{B}{b} = \frac{53}{16} = 3{,}3\ . \qquad (4.9)$$

Принято число пролетов $n = 4$.

Ширина водосливного фронта равна :

$$B = n*b = 16 \cdot 4 = 64\ м. \qquad (4.10)$$

Расчетное количество пролетов менее 6, поэтому добавлять один пролет нет необходимости.

4.1.1 Определение отметки гребня водослива

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

$$H_{01} = \left(\frac{Qp}{m \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot B} \right)^{2/3} = \left(\frac{3061}{0{,}49 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81} \cdot 64} \right)^{2/3} = 7{,}86 м, \qquad (4.11)$$

где m – коэффициент расхода водослива , принимаемый в зависимости от формы водослива . Для водослива практического профиля типа А m=0,49.

Во втором приближении определен напор H_{02} с учетом бокового сжатия потока :

$$H_{02} = \left(\frac{Q_p}{m \varepsilon \sigma_n B \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \qquad (4.12)$$

где σ_n – коэффициент подтопления (считая, что водослив не подтоплен принят $\sigma_n = 1$);

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

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2 \frac{\xi + (n-1)\xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b} = 1 - 0{,}2 \cdot \frac{0{,}7 + (4-1)*0{,}45}{4} \cdot \frac{7{,}86}{16} = 0{,}97\ , \qquad (4.13)$$

где ξ – коэффициент формы боковых устоев, принят ξ=0,7 для круглой формы

ξ_0 – коэффициент, зависящий от расположения быка в плане и от формы верховой грани быка, принимаем ξ_0=0,45 для круглой формы:

Полный напор на водосливе с учетом бокового сжатия:

$$H_{02} = \left(\frac{3061}{0{,}49 \cdot 1 \cdot 0{,}97 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81} \cdot 64} \right)^{2/3} = 8{,}04 \text{ м.}$$

Геометрический напор на водосливе:

$$H = H_{02} - \frac{\alpha \cdot \upsilon_{0осн}^2}{2 \cdot g}, \quad (4.14)$$

где α – коэффициент кинетической энергии (коэффициент Кориолиса), принят $\alpha = 1{,}1$;

υ_0 – скорость подхода потока к водосливу.

$$\upsilon_{0осн} = \frac{Q_p}{\omega}, \quad (4.15)$$

где ω – площадь живого сечения потока (прямоугольное сечение).

Площадь живого сечения перед плотиной для прямоугольного сечения :

$$\omega = (\nabla \text{НПУ} - \nabla \text{дна})(\text{В} + (n-1)\delta_{\text{Б}}) = (54 - 22)(64 + (4-1) \cdot 4{,}0) =$$
$$= 2432 \ \ м, \quad (4.16)$$

где $\delta_б$=4 м- толщина быка.(раздел 4.3)

Скорость подхода потока к водосливу :

$$V_0 = \frac{3061}{2432} = 1{,}26 \ м/с \ ,$$

$$H = 8{,}04 - \frac{1{,}1 \cdot 1{,}26^2}{2 \cdot 9{,}81} = 7{,}96 \ м.$$

Определенный геометрический напор округлен до ближайшего стандартного значения Н= Нст=8 м в соответствии с техническим регламентом.

Отметка гребня водослива

$$\nabla ГВ = \nabla НПУ - H_{СТ} = 54 - 8 = 46 \text{ м.} \quad (4.17)$$

4.1.2 Проверка на пропуск поверочного расхода при поверочном расчетном случае

Напор над гребнем водослива при пропуске расхода поверочного расчетного случая без учета сжатия и подтопления:

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

здесь

$$Q_{р.пов} = Q_{макс\ пов} - Q_{ГЭС} - Q_{С} = 5061 - (300 * (6-1)) = 3561 м^3/с, \quad (4.19)$$

где $Q_{макс\ пов}$ – максимальный расход для поверочного расчетного случая обеспеченности 0,01 % (для сооружения I класса);

$Q_{ГЭС}$ - расход воды, проходящий через агрегаты здания ГЭС, участвующие в пропуске воды;

$Q_{с}$ - расход, сбрасываемый через другие водопропускные сооружения гидроузла, а также через водозаборы, шлюзы, рыбопропускные сооружения принимаем $Q_{С}$=0.

$$H_{01пов} = \left(\frac{3561}{0,49 * 64\sqrt{2 * 9,81}} \right)^{2/3} = 8,69 м,$$

Во втором приближении определен напор H_{02} с учетом бокового сжатия потока, считая, что водослив не подтоплен, $\sigma_{п}$=1:

$$H_{02пов} = \left(\frac{Q_{рпов}}{m\varepsilon\sigma_{п} B\sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (4.20)$$

$$\varepsilon = 1 - 0,2\,\frac{0,7+(4-1)*0,45}{4} \cdot \frac{8,69}{16} = 0,96, \quad (4.21)$$

$$H_{02пов} = \left(\frac{3561}{0,49 * 0,96 * 1 * 64\sqrt{2 * 9,81}} \right)^{2/3} = 8,92 м,$$

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

$$H_{пов} = H_{02пов} - \frac{\alpha V_{0пов}^2}{2g}, \quad (4.22)$$

$$V_{0\text{пов}} = \frac{Q_{\text{р.пов}}}{(\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{дна})(B + (n-1)\delta_{\text{Б}})} = \frac{3561}{(55-22)(64+(4-1)4)} = 1{,}42 м\ /c, \quad (4.23)$$

$$H_{\text{пов}} = 8{,}92 - \frac{1{,}1*1{,}42^2}{2*9{,}81} = 8{,}81 м.$$

Расчетная отметка форсированного уровня :

$$\nabla\text{ФПУ}_{\text{р}} = \nabla\text{ГВ} + H_{\text{пов}} = 46 + 8{,}81 = 54{,}81 м. \quad (4.24)$$

Расчетная отметка ФПУ менее заданной отметки (ФПУ=55 м), значит, пропускная способность водослива при заданной отметки ФПУ является достаточной.

4.1.3 Расчет сопряжения потока в нижнем бьефе

Проверка условия возможности неучета скорости подхода воды к водосливу плотины:

$\omega > 4BH$, (4.25)

$4BH=4\cdot(64+(4-1)\cdot4))\cdot8=2432\ м^2$, (4.26)

$\omega=2432\ м^2$ *(раздел 4.1.1),* (4.27)

$\omega=2432= 4BH=2432.$

Условие не выполняется, поэтому учтена скорость подхода воды к водосливу ($\upsilon = 1.26$ м/с – раздел 4.1.1)

Полный напор на водосливе :

$$\text{Но} = \text{Н} + \frac{\alpha\cdot\upsilon^2}{2*g} = 8 + \frac{1.1\cdot1.26^2}{2*9.81} = 8.09\text{м}. \quad (4.28)$$

Полная удельная энергия :

$E_o=C_н+H_o$, (4.29)

где $C_н$ – высота плотины со стороны нижнего бьефа $C_н = \nabla ГВ - \nabla дно = 46-22=24$ м.

$E_o=C_н+H_0=24+8{,}09=32{,}09\ м.$

Критическая глубина :

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha\cdot Q_p^{\ 2}}{g\cdot(B+(n-1)\delta_{\text{Б}})^2}} = \sqrt[3]{\frac{1{,}1\cdot3061^2}{9{,}81\cdot(64+(4-1)\ \cdot4)^2}} = 5{,}67 м. \quad (4.30)$$

Относительная удельная энергия в верхнем бьефе:

$$\xi_0 = \frac{E_0}{h_k} = \frac{32,09}{5,67} = 5,66. \quad (4.31)$$

По графику [8] в зависимости от ξ_0, с учетом коэффициента скорости φ_c определена относительная глубина в сжатом сечении ξ_c и относительная вторая сопряженная глубина ξ_c''.

Коэффициент скорости φ_c для криволинейных водосливов практического профиля определен по данным Г.П. Скребкова в зависимости от $H_{ст}/C_н$ = 8/24=0,33 :

Таблица 4.1 - Коэффициенты скорости в сжатом сечении по данным Скребкова

$H_{ст}/C_н$	1,5	1,0	0,5	0,3	0,16	0,10
φ_c	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88

$\varphi_c = 0,93,$
$\xi_c = 0,325,$
$\xi_c'' = 2,33.$

Глубина в сжатом сечении :

$$h_c = \xi_c \cdot h_к. = 0,325 \cdot 5,67 = 1,84м \quad (4.32)$$

Глубина, сопряженная с глубиной в сжатом сечении :

$$h_c'' = \xi_c'' \cdot h_к = 2,33 \cdot 5,67 = 13,2м, \quad (4.33)$$

Сопоставляя глубину в нижнем бьефе со второй сопряженной глубиной, установлено что $h_c'' < h_{НБ}$ (13,2<15,5) . Таким образом, в нижнем бьефе затопленный прыжок, поэтому устройство гасителей на водобое не требуется.

4.1.4 Построение профиля водосливной плотины

Оголовок безвакуумного водослива практического профиля типа А (Рисунок 4.1) построен по координатам Кригера – Офицерова [9] .

Для получения координат Х,У оголовка проектируемой плотины приведенные координаты умножены на величину напора на водосливе $H_{ст}$=8 м . Координаты приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Координаты для построения оголовка водослива при $H_{ст}$=8 м

№ точки	X	Y	№ точки	X	Y
1	0,0	1,008	22	16,8	10,952
2	0,8	0,288	23	17,6	12,064
3	1,6	0,056	24	18,4	13,224
4	2,4	0,000	25	19,4	14,870
5	3,2	0,048	26	20,0	15,680
6	4,0	0,216	27	20,8	16,976
7	4,8	0,480	28	21,6	18,240
8	5,6	0,800	29	22,4	19,696
9	6,4	1,200	30	23,1	21,000
10	7,2	1,584	31	24,0	22,592
11	8,0	2,048	32	24,8	24,104
12	8,8	2,568	33	25,6	25,65
13	9,6	3,152	34	26,4	27,240
14	10,4	3,800	35	27,2	28,872
15	11,2	4,512	36	28,0	30,544
16	12,0	5,288	37	28,8	32,248
17	12,8	6,112	38	29,6	33,992
18	13,6	6,984	39	30,4	35,768
19	14,4	7,896	40	31,2	37,584
20	15,2	8,864	41	32,0	39,200
21	15,9	9,730			

На основании интерполяции значений R, приведенных в таблице 4.3, получен R= 14,3 м.

Таблица 4.3 - Значение сопрягающих радиусов R в зависимости от напора на водосливе H и высоты водосливной плотины $C_{н.}$

$C_н$,м	R, при H=8м
20	13,3
30	15,8

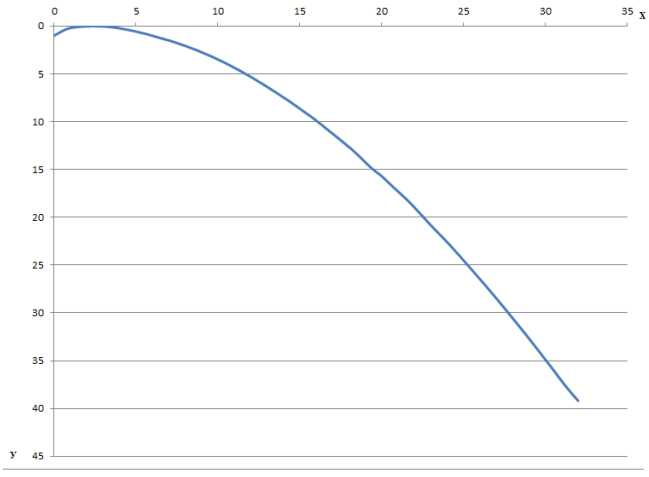


Рисунок 4.1 - Оголовок гребня водослива для плотины типа А

4.2 Назначение размеров основных элементов плотины

У бетонных водосливных плотин на нескальном основании следует различать следующие основные элементы: водослив, фундаментную плиту, зубья, быки и устои, деформационные швы и их уплотнения, водобой и рисберму, противофильтрационные элементы : понур, дренажи.[10]

4.2.1 Понур

На глинистых основаниях при напорах более 15 м устраивают анкерные понуры, предназначенные не только для снижения фильтрационного давления в основании, но и для восприятия части силы, сдвигающей плотину в сторону нижнего бьефа.

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

Длина анкерного понура:

$$l = (1 \div 2.5) H_{макс} = 1 \cdot 30,4 = 30,4 м, \quad (4.34)$$

где Н – максимальный напор на сооружение,

$$H_{макс} = \nabla НПУ - \nabla НБmin = 54 - 23,6 = 30,4 м, \quad (4.35)$$

где ∇НБmin соответствует пропуску санитарного попуска $Q_{сан}$ =300 $м^3/с$.

4.2.2 Зубья

Для надежного сопряжения плотины с основанием и предотвращения опасной контактной фильтрации предусматриваются верховой и низовой подплотинные зубья.

Зубья плотины - это элемент плотины в виде выступа, связанного с фундаментной плитой и заглубленного в основание под подошву плотины на 3м, служащий для удлинения пути фильтрации воды и увеличения устойчивости сооружения. Отметка подошвы зуба:

$$\nabla \text{под. зуб} = \nabla \text{подошва} - 3\text{м} = 15 - 3 = 12 \text{ м}. \quad (4.36)$$

4.2.3 Дренажные устройства в основании

Под всей площадью водобоя и рисбермы, а также под анкерным понуром для отвода профильтровавшейся воды, снятия фильтрационного давления на сооружение, предотвращения разрушения грунта основания под подошвой сооружения устраивается горизонтальный дренаж, выполненный из крупнозернистого материала (щебня,гравия,песка) и защищенного от заиления снизу обратным фильтром, состоящим из двух слоев сыпучего материала (песок-гравий-щебень) с увеличивающейся в направлении фильтрации крупностью зерен. Толщина каждого слоя составляет 0.5м .

В плотине устроен вертикальный дренаж, расположенный в галереи на отм.23,6 м для сбора и отвода профильтровавшейся воды.

4.3 Определение отметки гребня бетонной плотины

Для бетонной плотины с вертикальной напорной гранью отметка гребня:

$$\nabla\text{ГБП} = \nabla\text{НПУ} + h_{1\%} + \text{а} = 54 + 2{,}17 + 0{,}8 = 56{,}97 \text{ м}, \quad (4.37)$$

$$\nabla\text{ГБП} = \nabla\text{ФПУ} + h_{1\%} + \text{а} = 55 + 0{,}63 + 0{,}8 = 56{,}43 \text{ м}, \quad (4.38)$$

где а- величина запаса, зависит от класса сооружения, для 1 класса составляет 0,8 м.

После проведения гидравлических расчетов , определения отметки гребня быка ∇ГБ (раздел 4.3) и определения отметки грунтовой плотины ∇ГГП=58,32м (раздел 4.8.1), устанавливается проектная отметка гребня плотины, наибольшая из: $\nabla\text{ГГП} = 58{,}32, \nabla\text{ГБП} = 56{,}97, \nabla\text{ГБ} = 58{,}8$.

Отметка гребня из трех отметок плотины принята:

$$\nabla\text{ГП} = 58{,}8 \text{ м}. \quad (4.38)$$

4.4 Конструирование плотины

4.4.1Определение ширины подошвы плотины

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

- отсутствию растягивающих напряжений в бетоне, т.к. 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 :

$$Bn' = \frac{h}{\sqrt{\frac{\gamma_б}{\gamma_в}(1-n)+n(2-n)-\alpha_1}}, \quad (4.39)$$

где α_1 −коэффициент, учитывающий потерю фильтрационного давления за счет противофильтрационных устройств, принят равным 0.5;

n- коэффициент, определяющий заложение низовой грани;

h- высота плотины, равная:

$$h = \nabla НПУ - \nabla подошвы = 54 - 15 = 39\ м, \quad (4.40)$$

где ∇подошвы=∇дна-($\delta_в$+(2÷3)), (4.41)

$\delta_в$ – толщина водобойной плиты,

(2÷3) м – это толщина слоя грунта с низкой несущей способностью, удаляемого при подготовке основания, по результатам расчета $\delta_в$=5 (раздел 4.5.1.2) .

Отметка подошвы :

$$\nabla подошвы = 22 - (5+2) = 15\ м.$$

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

$$B''_n = \frac{\gamma_n h}{tg\varphi\ (\frac{\gamma_б}{\gamma_в}+n-\alpha_1)}, \quad (4.42)$$

где γ_n - коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый в зависимости от класса сооружения;

φ – угол внутреннего трения грунта основания, для глины φ=15°.

Задаваясь различными значениями n, произведен расчет $B_п'$ и $B_п''$ (таблица 4.4). Построятся графики $B_п'$ = f(n) и $B_п''$ = f(n) (рисунок 4.2). Точка пересечения кривых определила искомую ширину подошвы водосливной плотины.

Таблица 4.4 – Значения к определению ширины подошвы плотины

N	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
BBn'	29,23	30,00	31,03	32,39	34,21	36,69	40,23	45,65	55,15
BBn"	49,82	47,55	45,48	43,59	41,85	40,24	38,75	37,36	36,07

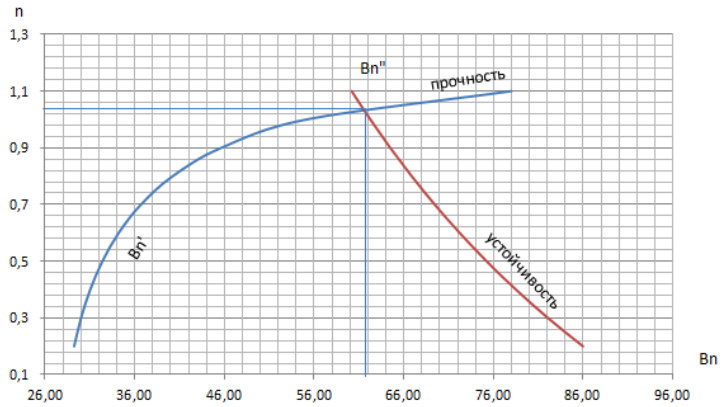


Рисунок 4.2 – График для определения ширины подошвы плотины и n

Координаты точки пересечения кривых : n = 1,04, B = 62 м.

Для плотин на нескальном основании ширина подошвы по условию устойчивости значительно больше, чем по условию прочности. Поэтому в случае глиняного основания соблюдено условие :

$$B/h = (1{,}2\text{-}1{,}7) = 62/39 = 1{,}59. \quad (4.43)$$

4.4.2 Разрезка бетонных плотин швами

При строительстве на глинистом основании в силу длительности деформации под нагрузкой и большой вероятности неравномерности осадок во времени разрезается каждый бык, т.е. каждый водосливной пролет имеет возможность независимых деформаций

Ширина секции равна:

$$B_{сек} = b + \delta_б = 16 + 4 = 20 \text{ м}. \quad (4.44)$$

4.4.3 Быки

Размеры быков водосбросных плотин назначаются в зависимости от типа и конструкции затвора, размера отверстий. Головная часть быка имеет обтекаемую в плане форму. Пазы рабочих затворов располагаются на линии гребня водослива, быки выдвигаются в верхний бьеф на расстояние 19 м.

При ширине пролёта b=16 м (раздел 4.1) принята ширина разрезного быка, равная 0,2b по рекомендации А.Р. Березинского, т. е ширина быка равна

$$\delta = 0{,}2 \cdot 16 = 3{,}2 м. \quad (4.45)$$

При наличии деформационного шва по оси быка его толщина увеличина на 0,8 м, тогда толщина разрезного быка :

$$\delta = 3{,}2 + 0{,}8 = 4{,}0 \ м. \quad (4.46)$$

Отметка верха быка определяется по формуле:

$$ГБ=ГВ+1,6\cdot H_{ст} = 46+1,6\cdot 8=58,8\ м. \quad (4.47)$$

4.4.4 Устои

Сопряжение бетонной плотины со зданием гидроэлектростанции осуществляется с помощью раздельной стенки, которая в сторону нижнего бьефа продлевается за водобой.

Сопряжение водосливной плотины с земляной, а так же с берегом осуществляется с помощью устоев, состоящих из крайнего быка плотины.

Устои и открылки одновременно регулируют обходную фильтрацию. Устои и открылки имеют форму подпорной стенки. В устое располагаются пазы для затворов.

Сопрягающие сооружения представляют собой подпорные стенки. Высота стен предварительно принята 15 м.

4.4.5 Галереи в теле плотины

В плотине располагается одна продольная галерея по высоте плотины на отметке ∇23,6 , отметке минимального уровня нижнего бьефа для обеспечения самотечного отвода воды из всей вышележащей части плотины. Размеры галереи 3×2м.

4.4.6 Дренаж тела плотины

Вдоль напорной грани плотины предусмотрен дренаж в виде вертикальных скважин (дрен), имеющих выходы в смотровые шахты.

Расстояние от напорной грани плотины до оси дренажа $а_{др}$ назначено не менее 2 м .

4.5 Назначение элементов подземного контура

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

4.5.1 Водобой

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

4.5.1.1 Определение толщины водобойной плиты

Толщина водобойной плиты определена по формуле В.Д. Домбровского:

$$\delta_в = 0{,}15 * V_c * \sqrt{h_c'}, \quad (4.48)$$

где V_c -скорость потока в жатом сечении:

$$V_c = \frac{Q_р}{B_в * h_c'} = \frac{3061}{(64+(4-1)4)\cdot 1{,}84} = 21{,}89 \text{ м/с}, \quad (4.49)$$

где h_c' - глубина в сжатом сечении для основного расчетного случая (h_c'=1.84-раздел4.2.1.3) .

$$\delta_в = 0{,}15 \cdot 21{,}89 \cdot \sqrt{1{,}84} = 4{,}5 \text{ м}.$$

Длина водобоя при отсутствии гасителей:

$$l_в = l_{пр} = 2{,}5(1{,}9\, h_c'' - h_c') = 2{,}5(1{,}9 \cdot 13{,}2 - 1{,}84) = 58{,}1 \text{ м}. \quad (4.50)$$

4.5.1.2 Расчет водобойной плиты на всплытие

Плита водобоя проверена на всплытие. Устойчивость на всплытие определено условием:

$$К_{вспл} = \frac{\Sigma V_{уд} \cdot \gamma_{cd}}{\Sigma V_{всп} \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n, \quad (4.51)$$

где $\Sigma V_{уд}$ – сумма сил, удерживающих плиту от всплытия;

$\Sigma V_{всп}$ – сумма сил, вызывающих всплытие плиты;

γ_{lc} - коэффициент сочетания нагрузок, γ_{lc}=1 при расчете по первой группе предельных состояний для основного сочетания нагрузок и воздействий [11];

γ_{cd} – коэффициент условий работы, γ_{cd}=1 при расчете по первой группе предельных состояний[11];

γ_n - коэффициент надежности по ответственности сооружения, γ_n= 1,25 при расчете по первой группе предельных состояний для сооружений 1 класса.

Удерживающие силы:

Вес плиты водобоя с учетом взвешивания:

$$G = (\rho_б - \rho_в) \cdot g \cdot l_в \cdot \delta_в \cdot k_н = (2{,}4-1{,}0) \cdot 9{,}81 \cdot 58{,}1 \cdot 4{,}5 \cdot 1 = 3590{,}8 \text{ кН}, \quad (4.52)$$

где $l_в$ =58,1 м– длина водобоя (раздел 4.5.1.1);

$k_н$- коэффициент надежности по нагрузке.

Силы, вызывающие всплытие плиты:
Дефицит давления:

$$W_{д} = \frac{1}{2} \cdot t_1 \cdot g \cdot \rho_{в} \cdot l \cdot \mathrm{k}_{н} = \frac{1}{2} \cdot 7{,}95 \cdot 9{,}81 \cdot 1 \cdot 58{,}1 \cdot 1 = 2266{,}2 кН\,, \qquad (4.53)$$

где

$$t_1 = 0{,}7 \cdot \left(h_c'' - h_c'\right) = 0{,}7 \cdot \left(13{,}2 - 1{,}84\right) = 7{,}95 м; \qquad (4.54)$$

l= $l_в$ – при отсутствии на водобое дренажных колодцев.
Фильтрационное давление на подошву плиты:

$$W_{ф} = 0{,}05 \cdot \left(T - h_c''\right) \cdot l \cdot \rho_{в} \cdot g \cdot \mathrm{k}_{н} \cdot 0{,}5,$$

где T - превышение уровня верхнего бьефа над поверхностью водобоя, $\nabla ПВ = \nabla дна = 22 м$:

$$\mathrm{T} = \nabla НПУ - \nabla ПВ = 54 - 22 = 32 \text{ м}, \qquad (4.55)$$
$$W_{ф} = 0{,}05 \cdot \left(32 - 13{,}2\right) \cdot 58{,}1 \cdot 1 \cdot 9{,}81 \cdot 1 \cdot 0{,}5 = 267{,}9 кН.$$

Пульсационная вертикальная составляющая (в долях от критической глубины):

$$W_{п} = p' \cdot l \cdot \mathrm{k}_{н} = 0{,}13 \cdot h_{кр} \cdot g \cdot \rho_{в} \cdot l \cdot \mathrm{k}_{н} = \\ = 0{,}13 \cdot 5{,}67 \cdot 9{,}81 \cdot 1 \cdot 58{,}1 \cdot 1 = 420{,}1 кН, \qquad (4.56)$$

$$\mathrm{К}_{\text{вспл}} = \frac{3590{,}8 \cdot 1}{(2266{,}2 + 267{,}9 + 420{,}1) \cdot 1} = 1{,}22.$$

$\mathrm{К}_{\text{вспл}}$=1,22< $\gamma_{п}$=1,25, условие устойчивости не соблюдается. Необходимо увеличить толщину плиты водобоя до значения $\delta_{в}$=5 м.
Вес плиты водобоя с учетом взвешивания при $\delta_{в}$=5м :

$G= (\rho_{б}- \rho_{в})\cdot g\cdot l_{в}\cdot \delta_{в}\cdot k_{н}=(2{,}4-1) \cdot 9{,}81\cdot 58{,}1\cdot 5\cdot 1=3989{,}73.$

Условие устойчивости при $\delta_{в}$=5 м :

$$\mathrm{К}_{\text{вспл}} = \frac{3989{,}73 \cdot 1}{(2266{,}2 + 267{,}9 + 420{,}1) \cdot 1} = 1{,}35,$$

$\mathrm{К}_{\text{вспл}}=1{,}35 > \gamma_{п}=1{,}25$.

Разница между коэффициентами не превышает 10%.

4.5.2 Рисберма и ковш

Рисберма — участок за водобоем, предназначенный для успокоения и рассеяния потока, выполненный в виде крепления из бетонных или железобетонных плит, расположенных в шахматном порядке.

Концевой участок рисбермы устроен 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 уложен слой отсыпки камня толщиной 1,5 м.

Глубина ковша в месте наибольшего размыва:

$$h_{max} = К_р\sqrt{\frac{q_p}{V_н}}, \quad (4.57)$$

где $q_{присб}$ – удельный расход на рисберме.

$$q_р = \frac{Q_р}{B_р} = \frac{Q_р}{В+(n-1)\delta_б} = \frac{3061}{76} = 40{,}3\ м^3/с\ , \quad (4.58)$$

$К_р$ – коэффициент, зависящий от условий размыва, 1,05-1,1, $К_р$=1,1;

$V_н$ =0,8– неразмывающая скорость течения для грунта дна реки при $h_{НБ}$=1 м, для глины м/с;

$$h_{max} = 1{,}1 \cdot \sqrt{\frac{40{,}3}{0{,}8}} = 7{,}8м.$$

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

$$l_{пп} = \frac{0{,}4}{n} \cdot h_c^{``} = \frac{0{,}4}{0{,}03} \cdot 13{,}2 = 176\ м, \quad (4.59)$$

где n – коэффициент шероховатости русла $n = 0.03$;

$h_c^{``}$ – вторая сопряженная глубина $h_c^{``} - 13{,}2м$;

Длина горизонтального участка рисбермы с плитами:

$$Lp = l_{пп} - l_к \quad (4.60)$$

Длина ковша по низу:

$$l_{кн} = (2 \div 5)h_{кр}, \quad (4.61)$$
$$l_{кн} = 3h_{кр} = 3 \cdot 5{,}67 = 17\ м.$$

Длина ковша:

$$l_к = l_{кн} + а + в = l_{кн} + 4 \cdot с + 2 \cdot с. \quad (4.62)$$

Отметка ковша :

$$∇К = ∇УНБ_{min} - h_{max} = 23.6 - 7.8 = 15.8 \text{ м}, \quad (4.63)$$
$$с = ∇дно - ∇К = 22 - 15.8 = 6{,}2 \text{ м}, \quad (4.64)$$
$$l_к = l_{кн} + а + в = 17 + 4 \cdot 6{,}2 + 2 \cdot 6{,}2 = 54{,}23 \text{ м}.$$

Длина рисбермы :

Lp=176-54,23=122 м. (4.65)

Тогда количество плит на рисберме при длине плиты 11 м:
N= Lp/11=122/11=11,1 , принято количество плит равным 11.

4.5.2.1 Определение толщины плит рисбермы

В курсовом проекте рассчитаны первые три плиты рисбермы, толщина остальных плит принята равной толщине третьей плиты.

Толщина плит рисбермы:

$$t_r = \frac{\rho_в \cdot h_р \cdot K_c}{(\rho_б - \rho_в)}, \quad (4.66)$$

где $h_р = 2h_v \left(\frac{h_{кр.р}}{x}\right)^{1,34}$, (4.67)

где x - расстояние от сжатого сечения до рассматриваемой плиты;

$$h_v = \frac{\alpha \cdot V_c^2}{2 \cdot g} = \frac{1.1 \cdot 21.89^2}{2 \cdot 9.81} = 26.86 \text{ м}, \quad (4.68)$$

где V_c=21,89 м/с -скорость в сжатом сечении (раздел 4.5.1.1);

$h_{кр.р}$ =5,67 м - критическая глубина на рисберме(раздел 4.1.3);

$К_с$ - коэффициент запаса, принят равным 1,25.

Первая плита расположена относительно сжатого сечения на расстоянии, $x^1=l_в$=58,1 м.

$$h_р = 2 \cdot 26{,}86 \left(\frac{5{,}67}{58{,}1}\right)^{1,34} = 2{,}37 \text{ м},$$
$$tp = \frac{1 \cdot 2{,}37 \cdot 1{,}25}{(2{,}4 - 1{,}0)} = 2.1 \text{ м}.$$

Толщина первой плиты рисбермы принята $t_р$=2,1 м

Произведена проверка первой плиты рисбермы на опрокидывание:
Средняя скорость течения воды над плитой рисбермы:

$$V_р = \frac{q_р}{h_{нб}} = \frac{40,3}{15,5} = 2,6 \text{ м}^2/\text{с}, \quad (4.69)$$

где $h_{нб}$ – глубина воды в НБ :

$$h_{нб} = \nabla НБ - \nabla дно = 37,5 - 22 = 15,5 \text{ м}. \quad (4.70)$$

Величина восстановления кинетической энергии:

$$\alpha = 0,5 \cdot \frac{V_р^2}{2 \cdot g} = 0,5 \cdot \frac{2,6^2}{2 \cdot 9,81} = 0,17 \text{ м}. \quad (4.71)$$

Разность отметок НПУ и поверхности воды в сжатом сечении:

$$Z = \nabla НПУ - (\nabla ПВ + h_c') = 54 - (22 + 1,84) = 30,16 м., \quad (4.72)$$

Высота полуволны:

$$\delta = \frac{1,13 \cdot Z \cdot h_{кр.р}^{4/3}}{x^{4/3}} = \frac{1,13 \cdot 30,16 \cdot 5,67^{4/3}}{58,1^{4/3}} = 1,53 \text{ м}. \quad (4.73)$$

Длина полуволны:

$$l = 2h_{кр.р} = 2 \cdot 5,7 = 11,33 \text{м}. \quad (4.74)$$

Сила мгновенного гидродинамического давления:

$$W_Д = 0,5(1,5 \cdot \delta + \alpha) \cdot l \cdot \rho_в \cdot g =$$
$$= 0,5(1,5 \cdot 1,53 + 0,17) \cdot 11,33 \cdot 1 \cdot 9,81 = 137,11 \text{кН}. \quad (4.75)$$

Сила лобового гидродинамического давления:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_в \cdot \sigma \cdot \frac{V_p^2}{2} \cdot t_p = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot \frac{2,6^2}{2} \cdot 2,1 = 0,709 \text{ кН}, \quad (4.76)$$

где σ – коэффициент пульсационного давления , принят равным 0.2
Вес плиты с учетом взвешивания:

$$G = (\rho_б - \rho_в) \cdot g \cdot L_р \cdot t_p = (2,4 - 1,0) \cdot 9,81 \cdot 11 \cdot 2,1 = 317,25 \text{ кН}. \quad (4.77)$$

Коэффициент устойчивости на опрокидывание:

$$К_{опр} = \frac{G\frac{L}{2}}{W_Д\left(L - \frac{l}{2}\right) + P\frac{t_p}{3}} = \frac{317{,}25 \cdot \frac{11}{2}}{137{,}11 \cdot \left(11 - \frac{11{,}33}{2}\right) + 0{,}709 \cdot \frac{2{,}1}{3}} =$$
$$= 2{,}38 > 1{,}25. \quad (4.78)$$

$К_{опр} > \gamma_n$, плита устойчива против опрокидывания.

Расчеты второй и третьей плиты произведены аналогичным образом Результаты расчета сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Толщина плит рисбермы и коэффициенты их устойчивости против опрокидывания

x, м	t_p, м	δ, м	$W_Д$, кН	P, кН	G, кН	$K_{опр}$
58,1	2,1	1,53	137,11	0,709	317,25	2,38
69,1	1,7	1,21	110,79	0,57	253,9	2,36
80,1	1,4	1,0	92,69	0,47	208,3	2,32

4.6 Фильтрационные расчеты подземного контура

Фильтрационные расчеты проведены с целью обоснования состава элементов подземного контура, их размеров и очертания с последующим определением величины фильтрационного давления на флютбет, градиентов фильтрационного потока. Расчеты произведены для двух расчетных случаев основного сочетания нагрузок и воздействий :

основного сочетания – отметка верхнего бьефа соответствует $\nabla НПУ = 54$ м , нижнего бьефа - $\nabla УНБ_{min} = 23{,}6$ м при пропуске санитарного расхода $Q_{сан}$=300 м^3/с.

особого сочетания - отметка верхнего бьефа соответствует $\nabla ФПУ = 55$ м , нижнего бьефа - $\nabla УНБ_{max} = 39{,}2$ м при пропуске поверочного расхода $Q_{макс\ пов}$=5061 м^3/с.

4.6.1 Расчет фильтрации под плотиной методом удлиненной контурной линии

Фильтрационный расчет произведен методом удлиненной контурной линии. Для определения параметров фильтрационного потока построены треугольники потерь напора (приложение В, рисунки В.1-В.4).

Цифрами обозначены все угловые точки подземного контура, начиная с места входа фильтрационного потока на дне ВБ – точка 1, и до места выхода потока – точка 8.

Для построения горизонтальной линии от точки 1 в одном масштабе последовательно отложены длины элементов (горизонтальных и вертикальных).

Основное сочетание нагрузок и воздействий:

Для построения эпюры фильтрационного давления отложена вертикальная линия от точки 1, равная напору на сооружение :

$$H = \nabla_{\text{НПУ}} - \text{УНБ}_{\min} = 54 - 23{,}6 = 30{,}4 м. \quad (4.79)$$

Соединяя точку $1'$ с точкой 8, получен треугольник.

Напоры в точках подземного контура:

$$H_i = l_i \cdot tg\alpha, \quad (4.80)$$

где l_i – расстояние от рассматриваемой точки до точки 8;

$$tg\alpha = \frac{H}{L} = \frac{30.4}{80} = 0.38. \quad (4.81)$$

Расчет для основного сочетания нагрузок и воздействий произведен аналогичным образом.

$$tg\alpha = \frac{H}{L} = \frac{15{,}8}{80} = 0{,}1975. \quad (4.82)$$

Все результаты сведены в таблицу 4.6

Таблица 4.6 – Расчет фильтрации под плотиной

Напоры	Основное сочетание	Особое сочетание
H_1	30,4	15,8
H_2	30,21	15,7
H_3	18,66	9,75
H_4	16,19	8,47
H_5	15,05	4,86
$H_{6'}$	12,77	3,68
H_6	11,63	3,1
H_7	3,27	1,69
H_8	0	0

4.7 Обоснование надежности и безопасности бетонной плотины

Произведен расчет на прочность и устойчивость по первой группе предельных состояний при основном и особом сочетаниях нагрузок и воздействий.

4.7.1 Определение основных нагрузок на плотину

4.7.1.1 Определение веса водосливной плотины и быка

Вес плотины на один погонный метр :

$$G_{\text{пл}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot b \cdot \gamma_{\text{б}}}{b + \delta_{\text{б}}} \cdot \gamma_f = \frac{995{,}89 \cdot 16 \cdot 24}{16 + 4} \cdot 0.95 = 18165 \text{ кН}, \quad (4.82)$$

где $\gamma_{\text{б}}$ – удельный вес бетона плотины, $\gamma_{\text{б}}$ = 24 кН/м^3;

γ_f -

$S_{\text{П}}$ =995,89 м^2– площадь поперечного сечения плотины;

b – ширина водосливного отверстия;

$\delta_{\text{б}}$- ширина быка.

Y_n= *2,04 м.*

Вес быка на один погонный метр:

$$G_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}} \cdot \delta_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}}}{b + \delta_{\text{б}}} \cdot \gamma_f = \frac{1520{,}11 \cdot 4 \cdot 24}{16 + 4} \cdot 0.95 = 7296{,}53 \text{ кН}, \quad (4.83)$$

где $S_{\text{Б}}$ =1520,1 м^2– площадь поперечного сечения плотины;

$Y_{\text{Б}}$= 2,71 м

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

$$Q_{\text{з}} = 0{,}055 \cdot f \cdot \sqrt{f} \cdot g \cdot \gamma_f = 0{,}055 \cdot 152 \cdot \sqrt{152} \cdot 9{,}81 \cdot 0.9 = 910\text{к}H, \quad (4.84)$$

где f – площадь плоского затвора :

$$f = (\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{ГВ} + 0{,}5)b = (55 - 46 + 0{,}5)16 = 152 \text{ кН}. \quad (4.85)$$

Вес плоского затвора на один погонный метр:

$$Q'_{\text{з}} = \frac{Q_{\text{з}}}{b + \delta_{\text{б}}} = \frac{1011{,}11}{16 + 4} = 50{,}55 \text{ кН/м}. \quad (4.86)$$

Площади и плечи силы собственного веса относительно точки 0 (середина подошвы плотины) определены с помощью программы AutoCAD.

4.7.1.2 Сила гидростатического давления воды

Сила гидростатического давления разложена на две составляющие: горизонтальная и вертикальная.

Основное сочетание нагрузок и воздействий:

Горизонтальная составляющая со стороны верхнего бьефа:

$$W_{\text{в}}^{\text{г}} = \gamma_0 \cdot h_1^2 \cdot 0{,}5 = 10 \cdot 39^2 \cdot 0{,}5 = 7605 \text{ кН}, \quad (4.87)$$

где $h_1 = \nabla\text{НПУ} - \nabla\text{под} = 54 - 15 = 39$ м.

Плечо силы : $Y_{\text{гв}}$=13 м

Горизонтальная составляющая со стороны нижнего бьефа :

$$W_{\text{н}}^{\text{г}} = \gamma_0 \cdot h_2^2 \cdot 0{,}5 = 10 \cdot 8{,}6^2 \cdot 0{,}5 = 369{,}8\text{кН}, \quad (4.88)$$

где $h_2 = \nabla\text{УНБ}_{min} - \nabla\text{под} = 23{,}6 - 15 = 8{,}6$м.

Плечо силы : $Y_{\text{гн}}$=2,87 м

Вертикальная составляющая силы гидростатического давления воды определена площадью поперечного сечения тела давления.

Вертикальная составляющая со стороны верхнего бьефа:

$$W_{\text{в}}^{\text{в}} = \gamma_0 \cdot S_1^{\text{в}} = 10 \cdot 546{,}63 = 5466{,}3\text{кН}, \quad (4.89)$$

где $S_1^{\text{в}}$ – площадь тела давления со стороны верхнего бьефа, $S_1^{\text{в}} = 5466{,}3\text{м}^2$.

Плечо силы : $Y_{\text{вв}}$=20,02 м

Вертикальная составляющая со стороны нижнего бьефа:

$$W_{\text{н}}^{\text{в}} = \gamma_0 \cdot S_1^{\text{в}} = 10 \cdot 20{,}5 = 205\text{кН}, \quad (4.90)$$

где $S_1^{\text{в}}$ – площадь тела давления со стороны нижнего бьефа, $S_1^{\text{в}} = 20{,}5\text{м}^2$.

Плечо силы : $Y_{\text{вн}}$=26,25 м

Расчет для особого сочетания нагрузок и воздействий произведен аналогичным образом:

Горизонтальная составляющая со стороны верхнего бьефа:

$$W_{\text{в}}^{\text{г}} = 8000 \text{ кН}, \quad (4.91)$$

Плечо силы : $Y_{\text{гв}}$=13,33 м

$$W_{\text{н}}^{\text{г}} = 2928{,}2\text{кН}, \quad (4.92)$$

Плечо силы : $Y_{\text{гн}}$=7,67 м

$$W_{\text{в}}^{\text{в}} = 6349{,}1\text{кН}, \quad (4.93)$$

Плечо силы : $Y_{\text{вв}}$=20,03 м

$$W_{\text{в}}^{\text{в}} = 3404{,}1\text{кН}, \quad (4.94)$$

Плечо силы : $Y_{вн}$=20,24 м

Площади и плечи силы гидростатического давления вычислены при помощи программы AutoCAD.

4.7.1.3 Равнодействующая взвешивающего давления

Взвешивающая сила, направленная снизу вверх, определена по эпюре с ординатами, равными глубине погружения рассматриваемой точки подошвы под уровень НБ.

Сила взвешивающего давления для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$W_{\text{взв,осн}} = S_{\text{эп}}^{\text{взв}} \cdot \gamma_0 = 569{,}2 \cdot 10 = 5692 \text{ кН}. \quad (4.95)$$

где - $S_{\text{эп}}^{\text{взв}} = 569{,}2\text{м}^2$ – площадь эпюры взвешивающего давления для основного сочетания нагрузок и воздействий.

Плечо силы взвешивающего давления: $Y_{вз}$=0 м

Сила взвешивающего давления для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$W_{\text{взв,особ}} = \text{P}_{2\text{взв}} \cdot \gamma_0 = 1536{,}4 \cdot 10 = 15365{,}4 \text{ кН}, \quad (4.96)$$

где - $S_{\text{эп}}^{\text{взв}} = 15346{,}4$ м^2– площадь эпюры взвешивающего давления для особого сочетания нагрузок и воздействий.

Плечо силы взвешивающего давления: $Y_{вз}$=0 м

Площади $S_{\text{эп}}^{\text{в}}$ и плечи силы взвешивающего давления вычислены при помощи программы AutoCAD.

4.7.1.4 Сила фильтрационного давления

Учитываем часть эпюры фильтрационного давления, действующую только на подошву плотины (без учета понура). Эпюра построена методом удлиненной контурной линии (раздел 4.6.1)

Сила фильтрационного давления при основном сочетании нагрузок и воздействий:

$$W_{\text{ф}} = \gamma_0 \cdot S_{\text{эп.ф}} = 10 \cdot 355{,}46 = 3554{,}6\text{кН}, \quad (4.97)$$

где $S_{\text{эп.ф}}$= 355,46кН – площадь эпюры фильтрационного давления под подошвой плотины .

Плечо силы фильтрационного давления: $Y_{ф}$=19,03 м

Сила фильтрационного давления при особом сочетании нагрузок и воздействий:

$$W_{\text{ф}} = \gamma_0 \cdot S_{\text{эп.ф}} = 10 \cdot 232{,}68 = 2326{,}8\text{кН}, \quad (4.98)$$

где $S_{\text{эп.ф}}$=232,68кН - площадь эпюры фильтрационного давления под подошвой плотины .

Плечо силы фильтрационного давления: $Y_{\text{ф}}$=19,04 м

Площади $S_{\text{эп.ф}}$ и плечи силы фильтрационного давления под подошвой плотины вычислены при помощи программы AutoCAD.

4.7.1.5 Определение давления наносов

Толщина слоя наносов:

$$h_{\text{н}} = \nabla\text{ЗН} - \nabla\text{дна} = 25 - 22 = 3\text{м}, \quad (4.99)$$

где ∇ЗН - отметка заиления наносами.

Удельный вес наносов во взвешенном состоянии:

$$\gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} = \gamma_{\text{гр}} - (1-n)\gamma_0 = 19(1-0{,}35)10 = 12{,}5\text{кН/м}^3, \quad (4.100)$$

где $\gamma_{\text{гр}} = 19\text{кН/м}^3$– удельный вес глины в сухом состоянии;

n – пористость грунта, для глины n=0,35.

Давление наносов на вертикальную грань определяется по формуле:

$$\text{Р}_{\text{н}} = \gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{н}} \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{\text{н}}}{2}\right) = 12{,}5 \cdot 3 \cdot tg^2\left(45 - \frac{20}{2}\right) =$$
$$= 18.38 \text{ кПа}, \quad (4.101)$$

где $\varphi_{\text{н}}$ – угол внутреннего трения наносов во взвешенном состоянии, $\varphi_{\text{н}} = 20^{\circ}$.

Равнодействующая давления наносов на один погонный метр будет равна:

$$\text{Е}_{\text{н}} = 0{,}5 \cdot \text{Р}_{\text{н}} \cdot h_{\text{н}} \cdot \gamma_f = 0{,}5 \cdot 18.38 \cdot 3 \cdot 1.2 = 33.08 \text{ кН}. \quad (4.102)$$

Плечо силы давления наносов: $Y_{\text{н}}$ = 1 м.

4.7.1.6 Определение активного давления грунта

В точке на границе слоя наносов и верхнего слоя грунта , боковое давление грунта определяется дважды, так как считается, что эта точка принадлежит слою наносов и слою грунта, пригруженного весом наносов:

$$p'_{гр} = \gamma_{гр}^{взв} \cdot h_н \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) = 12{,}5 \cdot 3 \cdot tg^2\left(45 - \frac{15}{2}\right) =$$
$$= 22{,}06 кН/м^2, \quad (4.103)$$

где $\varphi_{гр} = 15^\circ$ – угол внутреннего трения глины.

Так как глина обладает сцеплением с=50 кПа, то оно уменьшает боковое давление грунта на сооружение на постоянную величину p_c :

$$p_c = 2 \cdot c \cdot tg\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) = 2 \cdot 50 \cdot tg\left(45 - \frac{15}{2}\right) = 76{,}7 кН/м^2. \quad (4.104)$$

В этом случае $p'_{гр}$ равняется:

$$p'_{гр} = \gamma_{гр}^{взв} \cdot h_н \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot tg\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) =$$
$$= 22{,}06 - 76{,}7 = -54{,}64 кН/м^2 \quad (4.105)$$

В точке на отметке анкерного понура (слой грунта толщиной $h_{гр1}$=3м) , где действует и вес наносов, и вес грунта, давление равняется:

$$p''_{гр} = \left(\gamma_{гр}^{взв} \cdot h_н + \gamma_{гр}^{взв} \cdot h_{гр1}\right) \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot tg\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) =$$
$$= (12{,}5 \cdot 3 + 12{,}5 \cdot 3) \cdot tg^2\left(45 - \frac{15}{2}\right) - 2 \cdot 50 \cdot tg\left(45 - \frac{15}{2}\right) =$$
$$= -32{,}58 кН/м^2 \quad (4.106)$$

Далее расчет проведен с учетом анкерного понура:

В точке на границе анкерного понура и слоя грунта, где действуют верхние слои грунта и анкерный понур, давление равняется:

$$p''_{гр} = \left(\gamma_{гр}^{взв} \cdot h_н + \gamma_{гр}^{взв} \cdot h_{гр1} + \gamma_б^{взв} \cdot h_{пл}\right) \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) - p_c =$$
$$= (12{,}5 \cdot 3 + 12{,}5 \cdot 3 + (24 - 10) \cdot 0{,}5) \cdot tg^2\left(45 - \frac{15}{2}\right) - 76{,}7 =$$
$$= -28{,}46 кН/м^2 \quad (4.107)$$

В точке на нижней границе слоя грунта толщиной $h_{гр2}$=6,5м давление равняется:

$$p''_{гр} = \left(\gamma_{гр}^{взв} \cdot h_н + \gamma_{гр}^{взв} \cdot h_{гр1} + \gamma_б^{взв} \cdot h_{пл} + \gamma_{гр}^{взв} \cdot h_{гр2}\right) \cdot tg^2\left(45 - \frac{\varphi_{гр}}{2}\right) -$$
$$p_c == (12{,}5 \cdot 3 + 12{,}5 \cdot 3 + (24 - 10) \cdot 0{,}5 + 6{,}5 \cdot 12{,}5) \cdot tg^2\left(45 - \frac{15}{2}\right) -$$
$$76{,}7 = 19{,}34 кН/м^2. \quad (4.108)$$

Численное значение равнодействующей активного давления грунта на один погонный метр длины плотины соответствует площади эпюры активного давления грунта:

$$E_{\text{акт}} = S_{\text{эп}} \cdot \gamma_f \ = 33.32 \text{ кН/м}^2. \quad (4.109)$$

Y_a=2.41м

Площадь эпюры и плечо силы активного давления грунта вычислены при помощи программы AutoCAD.

4.7.1.7 Определение пассивного давления грунта

Пассивное давление грунта со стороны нижнего бьефа под водобойной плитой:

$$\text{p}'_{\text{пн}} = \gamma_{\text{б}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{пл}} \cdot tg^2\left(45 + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2}\right) = (24 - 10) \cdot 5 \cdot tg^2\left(45 + \frac{15}{2}\right) = \\ = 118{,}3\text{кН/м}^2, \quad (4.110)$$

где $h_{пл}$=5 м – толщина водобойной плиты (раздел 4.5.1.2);

$\gamma_{\text{б}}^{\text{взв}}$- удельный вес взвешенного бетона плиты.

Пассивное давление грунта со стороны нижнего бьефа на уровне подошвы зуба:

$$\text{p}'_{\text{пн}} = (\gamma_{\text{б}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{пл}} + \gamma_{\text{гр}}^{\text{взв}} \cdot h_{\text{гр}}) tg^2\left(45 + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2}\right) = \\ = ((24 - 10) \cdot 5 + 12{,}5 \cdot 5) tg^2\left(45 + \frac{15}{2}\right) = 223{,}93\text{кН/м}^2, \quad (4.111)$$

где $h_{гр}$ – толщина слоя грунта от низа водобойной плиты до подошвы зуба.

Так как грунт обладает сцеплением, интенсивность пассивного давления грунта увеличивается на постоянную величину p_c :

$$\text{p}_{\text{c}} = 2 \cdot \text{c} \cdot \text{tg}\ \left(45 + \frac{\varphi_{\text{гр}}}{2}\right) = 2 \cdot 50 \cdot \text{tg}\ \left(45 + \frac{15}{2}\right) = \\ = 130 \text{ кН/м}^2. \quad (4.112)$$

В этом случае $\text{p}'_{\text{пн}}$ и $\text{p}''_{\text{пн}}$ равняется:

$$\text{p}'_{\text{пн}} = 118{,}3 + 130 = 248{,}3 \text{ кН/м}^2, \quad (4.113)$$
$$\text{p}''_{\text{пн}} = 223{,}93 + 130 = 353{,}93 \text{ кН/м}^2. \quad (4.114)$$

Равнодействующая пассивного давления грунта:

$$E_{пас} = \frac{p'_{пн}+p''_{пн}}{2} h_{гр} \cdot \gamma_f = \frac{248,3+353,93}{2} 2 \cdot 0.8 = 1204.5кН. \quad (4.115)$$

Плечо силы пассивного давления грунта:
$Y_п$=1,33м

4.7.1.8 Определение нагрузки от волнового давления

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

Исходные данные для ее определения рассчитаны в разделе 4.8.1

Основное сочетание нагрузок и воздействий:

$$W_{волн} = 0.5 \cdot \gamma_0 \cdot h_{1\%} \left(\frac{\bar{\lambda}}{\pi} + \frac{h_0}{2}\right) = 0,5 \cdot 10 \cdot 2,17 \left(\frac{27,02}{3.14} + \frac{0,54}{2}\right) =$$
$$= 96,11 \text{ кН}, \quad (4.116)$$

где $h_0 = \frac{\pi \cdot h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}} = \frac{3.14 \cdot 2,17^2}{27,02} = 0,54$м.

Плечо силы $W_{волн}$ относительно НПУ:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} h_{1\%} = \frac{27,02}{6,28} - \frac{3}{8} \cdot 2,17 = 3,49 \text{ м}. \quad (4.117)$$

Плечо силы $W_{волн}$ относительно подошвы плотины:
$Y_в$=35,51 м

Расчет для особого сочетания нагрузок и воздействий произведен а:

$$W_{волн} = 7,9м. \quad (4.118)$$

Плечо силы $W_{волн}$относительно уровня покоя ФПУ:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}}{2\pi} - \frac{3}{8} h_{1\%} = \frac{7,57}{6,28} - \frac{3}{8} \cdot 0,63 = 0,97м. \quad (4.119)$$

Плечо силы $W_{волн}$ относительно подошвы плотины:
$Y_в$=39,03 м

4.7.1.9 Усилие в анкерном понуре

Усилие в анкерном понуре определено из условия распределения полной сдвигающей силы между понуром и плотиной с учетом упругих деформаций грунта основания и арматуры понура.

Сила сдвига, воспринимаемая анкерным понуром определена для основного и особого сочетания нагрузок по формуле:

$$Q = \frac{(G_п + W_п - W_ф) \cdot tg\varphi + cl}{\gamma_n} \cdot \gamma_f, \quad (4.120)$$

где $G_п$ - вес плиты анкерного понура с учетом взвешивания;

$W_п$ - вертикальная составляющая гидростатического давления воды на понур в объеме тела давления;

$W_ф$ – фильтрационное давление воды на понур снизу;

φ- угол внутреннего трения водонасыщенного грунта, для твердой глины φ=15°;

с – удельное сцепление грунта основания понура, для твердой глины принято с=50 кПа;

l – длина понура;

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, для первого класса сооружения γ_n=1,25.

Вес плиты анкерного понура при основном и особом сочетании нагрузок и воздействий:

$$G_n=(\gamma_б-\gamma_в)\cdot S_n = (24-10)0,5\cdot 30,4=212,8\ кН. \quad (4.121)$$

Гидростатическое давление воды на понур сверху при :

- при основном сочетании нагрузок и воздействий:

$$W_n= \gamma_в \cdot H \cdot l=10\cdot 29\cdot 30.4=8816\ кН, \quad (4.122)$$

где $H = ∇НПУ - ∇дна - а = 54 - 22 - 3 = 29$ м. (4.123)

- особом сочетании нагрузок и воздействий:

$$W_n= \rho_в \cdot H \cdot l=10\cdot 30\cdot 30.4=9120\ кН, \quad (4.124)$$

где $H = ∇ФПУ - ∇дна - а = 55 - 22 - 3 = 30$ м. (4.125)

Фильтрационное давление воды на понур снизу, определено по эпюре давления, построенной методом удлиненной контурной линии (раздел 4.6.1):

- при основном сочетании нагрузок и воздействий:

$$W_ф= \gamma_в \cdot S_ф =10\cdot 744,344=7443,44\ кН, \quad (4.126)$$

где $S_ф$ – площадь эпюры:

$$S_ф = \frac{30,21+18,76}{2} \cdot 30,4 = 744,344\ м^2. \quad (4.127)$$

- при особом сочетании нагрузок и воздействий:

$$W_ф= \gamma_в \cdot S_ф =10\cdot 386,84=3868,4\ кН, \quad (4.128)$$

где $S_ф$ – площадь эпюры:

$$S_ф = \frac{15,7+9,75}{2} \cdot 30,4 = 386,84 \text{ м}^2. \quad (4.129)$$

Сила сдвига, воспринимаемая анкерным понуром при основном сочетании нагрузок и воздействий:

$$Q = \frac{(212,8+8816-7443,44)\cdot tg15°+50\cdot 30,4}{1,25} \cdot 0.9 = 1402.6 \text{ кН}. \quad (4.130)$$

Сила сдвига, воспринимаемая анкерным понуром при особом сочетании нагрузок и воздействий:

$$Q = \frac{(212,8+9120-3868,4)\cdot tg15°+50\cdot 30,4}{1,25} \cdot 0.9 = 2156.68 \text{ кН}. \quad (4.131)$$

4.7.2 Оценка прочности плотины

Расчёт прочности бетонной плотины произведен по методу предельных состояний первой группы (по непригодности к эксплуатации). Расчёт плотины произведен на сокращенный состав нагрузок без учёта температурных воздействий. В расчёте плотины приняты сжимающие силы и напряжения со знаком «–», растягивающие – со знаком «+» . Моменты сил по часовой стрелке- положительные, против часовой стрелке- отрицательные.

Составлена таблица В.1 в приложении В , в которую внесены все нагрузки, умноженные на коэффициент надежности по нагрузке. Точки приложения равнодействующих всех сил рассчитаны с помощью программы AutoCad.

Основное сочетание нагрузок и воздействий

Расчёт краевых напряжений для основного и особого случаев в горизонтальных сечениях плотины (при расчете на 1 погонный метр длины) выполнен по формулам:

Для верховой грани.

Нормальное напряжение по горизонтальным площадкам:

$$\sigma^u{}_y = -\frac{N}{b} + \frac{6\cdot\sum M}{b^2} = -\frac{22431,43}{62} + \frac{6\cdot 5114,79}{62^2} = -353,81 \text{ кПа}, \quad (4.132)$$

где N – сумма вертикальных сил, действующих на плотину;

M – сумма моментов всех сил, действующих на плотину;

b – ширина подошвы плотины.

Нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u \cdot m_u^2 - \gamma_0 \cdot H_d^u \cdot (1 - m_u^2) = -10 \cdot 39 = -390 \text{ кН/м}^2, \quad (4.133)$$

где $\gamma_0 = 10$ кН/м^3 – удельный вес воды;

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

$$H_d^u = \nabla НПУ - \nabla ПОД = 54 - 15 = 39 \text{ м}. \quad (4.134)$$

$m_u = \tan \alpha_1$ - заложение верховой грани на уровне расчетного сечения,

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

Касательное напряжение по горизонтальным и вертикальным площадкам:

$$\tau_{xy}^u = \left(\gamma_0 \cdot H_d^u + \sigma_y^u\right) \cdot m_u = 0. \quad (4.135)$$

Главное максимальное растягивающее напряжение:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u \cdot (1 + m_u^2) + \gamma_0 \cdot H_d^u \cdot m_u^2 = -353{,}81 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 39 \cdot 0 =$$
$$= -353{,}81 \text{ кН/м}^2. \quad (4.136)$$

Главное максимальное сжимающее напряжение:

$$\sigma_3^u = -\gamma_0 \cdot H_d^u = -10 \cdot 39 = -390 \text{кН/м}^2 . \quad (4.137)$$

Для низовой грани:

Нормальное напряжение по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{b} - \frac{6 \cdot \sum M}{b^2} = -\frac{22431{,}43}{62} - \frac{6 \cdot 5114{,}79}{62^2} = -369{,}78 \text{кПа} . \quad (4.138)$$

Нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^t = \sigma_y^t \cdot m_t^2 - \gamma_0 \cdot H_d^t \cdot (1 - m_t^2) =$$
$$= -380{,}23 \cdot 0 - 10 \cdot 8{,}6 (1 - 0) = -86 \text{ кН/м}^2, \quad (4.139)$$

где $H_d^t = \nabla УНБ(Q_{оснмин}) - \nabla ПОД = 23{,}6 - 15 = 8{,}6$ м –напор над расчётным сечением со стороны нижнего бьефа;

Касательное напряжение по горизонтальным и вертикальным площадкам:

$$\tau_{xy}^t = -\left(\gamma_0 \cdot {H^t}_d + {\sigma^t}_y\right) \cdot m_t = -(10 \cdot 8{,}6 - 369{,}78) \cdot 0 =$$
$$= 0 \text{ кН/м}^2. \quad (4.140)$$

Главное максимальное сжимающее напряжение:

$$\sigma_3^t = \sigma_y^t \cdot (1 + m_t^2) + \gamma_0 \cdot {H^t}_d \cdot m_t^2 =$$
$$= -369{,}78 \cdot (1 + 0) + 10 \cdot 8{,}6 \cdot 0 = -369{,}78 \text{ кН/м}^2; \quad (4.141)$$

Главное максимальное растягивающее напряжение:

$$\sigma_1^t = -\gamma_w \cdot H_d^t = -10 \cdot 8{,}6 = -86 \text{ кН/м}^2. \quad (4.142)$$

Расчёт краевых напряжений сведен в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 - Краевые напряжения, действующие на плотину

Напряжение	Основное сочетание	
	Напорная грань	Низовая грань
σ_y	-353,81	-410,78
σ_x	-393	-86
τ_{xy}	0	0
σ_1	-353,81	-86
σ_3	-393	-410,78

Расчет для особого сочетания нагрузок и воздействий произведен аналогичным образом

Расчёт краевых напряжений сведен в таблицу 4.8.

Таблица 4.8- Краевые напряжения, действующие на плотину

Напряжение	Особое сочетание	
	Напорная грань	Низовая грань
σ_y	-274,52	-400,00
σ_x	-340	-242
τ_{xy}	0	0
σ_1	-274,52	-242
σ_3	-340	-400,00

4.7.3 Критерии прочности плотины

После определения напряжений для основного сочетания нагрузок, произведена проверка сооружения на прочность, должны выполняться следующие условия:

1. Во всех точках плотины:

$$\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot \sigma_3 \ \leq \gamma_{cd} \cdot R_b, \quad (4.143)$$

где $\gamma_n = 1.25$ – коэффициент надежности по назначению в зависимости от класса сооружения;

Основное сочетание нагрузок и воздействий:

γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок, для основного расчетного случая $\gamma_{lc} = 1.0$;

γ_{cd} – коэффициент условий работы, для основного расчетного случая $\gamma_{cd} = 0{,}9$;

Принимается бетон класса В20 с расчётным сопротивлением бетона на сжатие $R_b = 11500кН/м^2$.

Для верховой грани:

$1{,}25 \cdot 1{,}0 \cdot 393 \leq 0{,}9 \cdot 11500,$
$491{,}25$ кПа < 10350кПа.

Для низовой грани:

$1{,}25 \cdot 1{,}0 \cdot 410{,}78 \leq 0{,}9 \cdot 11500,$
$513{,}48$ кПа < 10350кПа.

Особое сочетание нагрузок и воздействий:

$\gamma_{lc} = 0{,}9,$
$\gamma_{cd} = 1;$

Для верховой грани:

$1{,}25 \cdot 0{,}9 \cdot 340 \leq 1 \cdot 11500,$
$382{,}5$кПа < 11500кПа.

Для низовой грани:

$1{,}25 \cdot 0{,}9 \cdot 400 \leq 1 \cdot 11500,$
450кПа < 11500кПа.

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

$$\sigma^u{}_y < 0, \tag{4.144}$$

Для основного сочетания: $-353{,}81кН/м^2 < 0,$
Для особого сочетания:$-274{,}52кН/м^2 < 0.$

3.В зоне верховой грани плотины:

$$\left|\sigma_y^u\right| \geq 0{,}25 \cdot \gamma_w \cdot H_d^u, \tag{4.145}$$

Для основного сочетания: $353{,}81 \geq 0{,}25 \cdot 10 \cdot 39 = 97{,}5кН/м^2,$
Для особого сочетания: $274{,}52 \geq 0{,}25 \cdot 10 \cdot 40 = 100кН/м^2.$

4. Коэффициент неравномерности напряжений для нескальных грунтов:

$$\frac{\sigma_y^{max}}{\sigma_y^{min}} \leq K_{\text{н}}, \quad (4.146)$$

где $К_н$= 3 для твердой глины.

$$\frac{\sigma_y^{max}}{\sigma_y^{min}} = \frac{-369,78}{-274,52} = 1.35 \leq 3$$

Все условия выполняются, сооружение удовлетворяет условиями прочности.

4.7.4 Расчёт устойчивости плотины

Устойчивость бетонных плотин на нескальных основаниях определена несущей способностью основания, то есть его сопротивлением сдвигу сооружения. Плотины рассчитывают на сдвиг по первому предельному состоянию – потере несущей способности.

При поступательной форме сдвига плотина будет устойчива, при выполнении условия:

$$\frac{R \cdot \gamma_{cd}}{F \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n, \quad (4.147)$$

где R - расчетное значение обобщенной несущей способности (силы, сопротивляющейся сдвигу):

$$R = \left(G_{\text{пл}} + G_{\text{Б}} + W_{\text{в}} + W_{\text{н}} - W_{\text{взв}} - W_{\text{ф}} + Q_{\text{з}} + + Q_{\text{п}}\right) \cdot tan\,\varphi + \text{Е}_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{с}}' + c \cdot \omega, \quad (4.148)$$

где $\tan\varphi = 0,27$– внутреннее трение для грунта основания (глина),

$\text{с} = 50\text{кН/м}^2$– сцепление для глины;

$\omega = \text{В}_{\text{п}} \cdot 1 = 62\ \text{м}^2$ – горизонтальная проекция площади подошвы плотины, при расчёте на 1 погонный метр;

$\gamma_{\text{с}}' = 0,7$- коэффициент условия работы для пассивного давления грунта.

F- сдвигающая сила:

$$F = W_{в}^{\text{г}} - W_{н}^{\text{г}} + W_{волн} + E_н + E_a \ . \quad (4.149)$$

Для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$R = (18165,0 + 6931,7 + 5466,3 + 205 - 5692 - 3554,6 + 1011,1 + +1402,6) \cdot 0,27 + 1402,6 \cdot 0,7 + \ 50 \cdot 62 = 10463,5\text{кН/м},$$

$$F = 7605 - 369{,}8 + 96{,}1 + 27{,}56 + 31{,}32 = 7395{,}71\text{кН/м}.$$

Таким образом, условие на сдвиг:

$$\frac{10463{,}5 \cdot 0{,}9}{7395{,}71 \cdot 1} \geq 1{,}2\ ,$$
$$1{,}27 \geq 1{,}2\ ,$$

Для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$R = (18165{,}0 + 6931{,}7 + 6349{,}1 + 3404{,}1 - 15365{,}4 - 2326{,}8 + 1011{,}1 + 2156{,}68) \cdot 0{,}27 + 1204{,}5 \cdot 0{,}7 + 50 \cdot 62 = 9813{,}16\text{кН},$$
$$F = 8000 - 2928{,}2 + 7{,}9 + 27{,}56 + 31{,}32 = 5144{,}05\text{кН/м}.$$

Таким образом, условие на сдвиг:

$$\frac{9813{,}16 \cdot 1{,}0}{5144{,}05 \cdot 0{,}9} \geq 1{,}2\ ,$$
$$2{,}12 \geq 1{,}2\ .$$

Сооружение удовлетворяет условиям устойчивости.

4.8 Проектирование грунтовой плотины

Для возведения тела и противофильтрационных устройств грунтовой плотины использованы строительные материалы, имеющиеся в карьерах вблизи створа.

В зависимости от преобладающих строительных материалов, выбран тип грунтовой плотины – земляная – насыпная из песка. Плотина неоднородная и включает в себя суглинистое ядро. ([12]

Заложение откосов песчаной плотины принято по СНиП 2.06.05-84:

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

Ширина по гребню зависит от класса дороги. В данном случае выбирается II класс дороги с шириной по гребню $b = 15$ м.

Также предусмотрен дренажный банкет с низового откоса. Высотой – 16,5 м ,заложением откосов m_3-1.25, m_4– 2.26 и шириной по гребню – 4 м.

По высоте грунтовой плотины располагаются бермы, на верховом откосе в количестве 2 через 10 м по высоте плотины для создания упора. На низовом откосе устраивается одна берма для надзора и ремонта, проезда, выводов КИА.

Крепление верхового откоса в зоне переменного уровня осуществляется посредством железобетонных плит.

Крепление низового откоса осуществляется посредством залужения.

Сопряжение противофильтрационного элемента плотины с основанием осуществляется с помощью замка глубиной 3 м.

4.8.1 Определение отметки гребня грунтовой плотины

За отметку гребня грунтовой плотины ∇ ГГП принята наибольшая из двух, вычисленных по формулам:

$$\nabla ГГП = \nabla НПУ + h_s, \quad (4.150)$$

$$\nabla ГГП = \nabla ФПУ + h_s, \quad (4.151)$$

где h_s- превышение гребня грунтовой плотины над расчетным уровнем в верхнем бьефе.

$$h_s = h_{run1\%} + \Delta h_{set} + a, \quad (4.152)$$

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

Δh_{set} - высота ветрового нагона;

а - конструктивный запас, принимаемый не менее 0,5 м.

Высота ветрового нагона:

$$\Delta h_{set} = K_w \cdot \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot d} \cdot cos\alpha_w, \quad (4.153)$$

где K_w- коэффициент, принятый в зависимости от расчетной скорости ветра (таблица 4.9);

V_w - скорость ветра;

L – длина разгона волны- длина водохранилища по направлению ветра, определена по плану водохранилища с учетом розы ветров;

α_w - угол между продольной осью водоёма и направлением ветра, принимается $\alpha_w = 0$;

d – условная расчетная глубина воды в водохранилище.

Таблица 4.9- Коэффициент K_w в зависимости от расчетной скорости 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 I класса – 2 %.

За расчетную скорость ветра принята скорость ветра для заданного района строительства (республика Татарстан, город Мамадыш) на высоте 10 м над поверхностью земли.

Для скорости ветра $V_w = 17$ м/с принят

$K_w = 1{,}83 \cdot 10^{-6}$ (таблица 4.9). (4.154)

Условная расчетная глубина воды в водохранилище:

$$d = \frac{\nabla НПУ - \nabla ДНА}{2} = \frac{54-22}{2} = 16 \text{ м}. \quad (4.155)$$

Высота ветрового нагона:

$$\Delta h_{set} = \frac{1{,}83 \cdot 10^{-6} \cdot 17^2 \cdot 14000}{9{,}81 \cdot 16} cos0 = 0{,}0472 \text{ м}. \quad (4.156)$$

Определение высоты волны 1% обеспеченности :
Вычислены безразмерные комплексы:

$$\frac{gL}{v^2} = \frac{9{,}81 \cdot 14000}{17^2} = 475{,}2, \quad (4.157)$$

$$\frac{gt}{v} = \frac{9{,}81 \cdot 21600}{17} = 12464{,}5. \quad (4.158)$$

где t=6 ч=21600с- период развития волн на водохранилище

По графику ([13] рис.1) по верхней огибающей кривой (для глубоководной зоны с глубиной $d > 0{,}5 \cdot \bar{\lambda}_d$, где дно не влияет на основные характеристики волн) по значениям $\frac{gL}{v^2}$ и $\frac{gt}{v}$ определены параметры $\frac{g\bar{h}}{v^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v}$.

При $\frac{gL}{v^2} = 475{,}2$: $\frac{g\bar{h}}{v^2} = 0{,}035$ и $\frac{g\bar{T}}{v} = 2{,}4$

При $\frac{gt}{v} = 12464{,}5$: $\frac{g\bar{h}}{v^2} = 0{,}108$ и $\frac{g\bar{T}}{v} = 4{,}8$

Используя меньшие полученные значения $\frac{g\bar{h}}{v^2}$ и $\frac{g\bar{T}}{v}$, вычислены средний период волны $\bar{T}$ и средняя высота волны $\bar{h}$:

$$\bar{h} = \frac{0{,}035 \cdot v^2}{g} = \frac{0{,}035 \cdot 17^2}{9{,}81} = 1{,}03 \text{ м}, \quad (4.159)$$

$$\bar{T} = \frac{2{,}4 \cdot v}{g} = \frac{2{,}4 \cdot 17}{9.81} = 4{,}16\ c. \quad (4.160)$$

Средняя длина волны:

$$\bar{\lambda_d} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9{,}81 \cdot 4{,}16^2}{2 \cdot 3{,}14} = 27{,}02 \text{ м}. \quad (4.161)$$

Проверено условие для глубоководной зоны: $d > 0{,}5 \cdot \bar{\lambda}_d$

$d = 16\text{м} > 0{,}5 \cdot \bar{\lambda}_d = 13{,}51$ м. Условие выполняется, то есть зона глубоководная.

Высота волны 1% обеспеченности:

$$h_{1\%} = \bar{h}k_i = 1{,}03 \cdot 2{,}1 = 2{,}17 \text{ м}. \quad (4.162)$$

где k_i −коэффициент, определяемый по графику ([13],Приложение 1, рис 2) в зависимости от значения $\frac{gL}{v^2}$ (для глубоководной зоны).

Высота наката волн 1% обеспеченности на откос грунтовой плотины для фронтально подходящих волн при глубине перед сооружением $d > 0{,}2h_{1\%}$:

$$h_{run1\%} = k_r k_p k_{sp} k_{run} h_{1\%} = 1 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}38 \cdot 1{,}4 \cdot 2{,}17 = 3{,}77 \text{ м}, \quad (4.163)$$

где k_r, k_p- коэффициенты шероховатости и проницаемости откоса([13], таблица 6);

$k_{sp} = 1{,}38 -$ коэффициент, в зависимости от заложения откоса грунтовой плотины. Заложение верхового откоса принято m_1 – 3.0 ([13], таблица 7);

$k_{run} = 1{,}4$- коэффициент, в зависимости от пологости волны $\frac{\overline{\lambda_d}}{h_{1\%}} = \frac{27{,}02}{2{,}17} = 12{,}5$ на глубокой воде ([13], рис.10).

Превышение гребня плотины над НПУ :

$$h_s = 3{,}77 + 0{,}0472 + 0{,}5 = 4{,}32\text{м}. \quad (4.163)$$

Тогда отметка гребня грунтовой плотины :

$$ИГГП = 54 + 4{,}32 = 58{,}32\text{м}. \quad (4.164)$$

Расчет для особое сочетания нагрузок и воздействий произведен аналогичным образом:

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

При скорости ветра $V_w = 9$ м/с, принята $K_w = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$(таблица 4.9).

Высота волны 1% обеспеченности

Отметка гребня грунтовой плотины :

$$ИГГП = 55 + 1{,}28 = 56{,}28 \text{ м}. \quad (4.165)$$

За отметку ГГП принято большее из двух значений:

$$ИГГП = 58{,}32\text{м}. \quad (4.166)$$

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

При расчете положения кривой депрессии использован метод виртуальных длин. Суть этого метода заключается в том, что ядро с размерами поверху и понизу , равными соответственно ($\delta_в$) и ($\delta_н$) ,заменяется ядром со средней толщиной ($\delta_{ср}$) . Далее ядро с коэффициентом фильтрации ($K_я$) и средней толщиной заменяется на эквивалентную в фильтрационном отношении призму с коэффициентом фильтрации, равным коэффициенту фильтрации тела плотины ($K_Т$) .

Средняя толщина ядра:

$$\delta_{ср} = \frac{\delta_в + \delta_н}{2} = \frac{3+9}{2} = 6 \text{ м}, \quad (4.167)$$

где $\delta_в$ =3 м- ширина ядра поверху;

$\delta_н$ =9 м - ширина ядра понизу.

Виртуальная длина ядра:

$$\bar{\delta}_я = \delta_{ср} \cdot \frac{K_т}{K_я} = 6 \cdot \frac{10^{-5}}{10^{-8}} = 6000 \text{ м}, \quad (4.168)$$

где $К_т = 10^{-5}$ м/с - коэффициент фильтрации тела плотины (песок средний);

$К_я = 10^{-8}$ м/ с - коэффициент фильтрации ядра (суглинок).

Расстояние, на котором кривая депрессии выклинивается на поверхность воды в ВБ:

$$\lambda Н_1 = \frac{m_1}{1+2 \cdot m_1} \cdot H_1 = \frac{3,0}{1+2 \cdot 3,0} \cdot 32 = 13,71 \text{м}, \quad (4.169)$$

где $m_1 = 3,0$ - заложение верхового откоса;

$Н_1 = 32$ м - расстояние от ∇дна до ∇НПУ.

Расстояние от точки пересечения внутреннего откоса дренажной призмы с основанием плотины до точки выклинивания кривой депрессии в дренаж:

$$l_{др} = \frac{m_3 \cdot Н_2}{3} = \frac{1,25 \cdot 15,5}{3} = 6,46 \text{ м}, \quad (4.170)$$

где $m_3 = 1,25$ – заложение внутреннего откоса дренажной призмы;

$Н_2 = 15,5$- расстояние от от ∇дна до ∇УНБ ,соответствующей $Q_{осн.мах}$

Расстояние от начала координат до точки пересечения внутреннего откоса дренажной призмы с основанием плотины:

$$S = m_1 \cdot d + \frac{b}{2} - \frac{\delta_{\text{ср}}}{2} + \bar{\delta}_{\text{я}} + \left(\frac{b}{2} - \frac{\delta_{\text{ср}}}{2}\right) + m_2 \cdot \left(H_{\text{пл}} - h_{\text{пр}}\right) - m_3 \cdot h_{\text{пр}} =$$
$$= 3{,}0 \cdot 4{,}8 + \frac{15}{2} - \frac{6}{2} + 6000 + \left(\frac{15}{2} - \frac{6}{2}\right) + 2{,}5 \cdot (36{,}8 - 16{,}5) - 1{,}25 \cdot 16{,}5 =$$
$$= 6053{,}5 \text{ м}, \quad (4.171)$$

где $d = 4{,}8$ м - расстояние от ∇НПУ до ∇ГЗП;

$b = 15$ м - ширина гребня плотины;

$m_2 = 2{,}5$ - заложение низового откоса;

$H_{\text{пл}} = 36{,}8$ м - высота плотины;

$h_{\text{пр}} = 16.5$ м – высота призмы.

Удельный фильтрационный расход:

$$q = K_{\text{т}} \cdot \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 \cdot \left(S + \lambda H_1 + l_{\text{др}}\right)} = 10^{-5} \cdot \frac{32^2 - 15{,}5^2}{2 \cdot (6053{,}5 + 13{,}71 + 6{,}46)}$$
$$= 6{,}45 \cdot 10^{-7} \text{м}^2/\text{с}. \quad (4.172)$$

Ордината точки выклинивания кривой депрессии в дренаж:

$$h_4 = h_3 + H_2, \quad (4.173)$$

где $h_3 = f(m_3) \cdot \frac{q}{K_{\text{т}}} = 0{,}32 \cdot \frac{6{,}45 \cdot 10^{-7}}{10^{-5}} = 0{,}02.$ (4.174)

$f(m_3)$ – определяется по таблице 4.10 в зависимости от заложения 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 $h_3 < H_2 \rightarrow h_3 = 0$,

$h_4 = h_3 + H_2 = 0 + 15{,}5 = 15{,}5$ м.

Ординаты депрессионной кривой определяются по заданным значениям x с использованной зависимостью:

$$h_x = \sqrt{2 \cdot \frac{q}{K_{\text{т}}} \cdot \left(S - x + l_{\text{др}}\right) + {h_4}^2} =$$
$$= \sqrt{0{,}129 \cdot (6059{,}96 - x) + 240{,}25}. \quad (4.175)$$

На участке до ядра задаемся x от 0 до

$$m_1 \cdot d + \frac{b}{2} - \frac{\delta_{\text{ср}}}{2} = 3{,}0 \cdot 4{,}8 + \frac{15}{2} - \frac{6}{2} = 18{,}9 \text{ м}. \quad (4.176)$$

На участке от ядра до точки пересечения внутреннего откоса дренажной призмы задаемся х в диапазоне от :

$$m_1 \cdot d + \frac{b}{2} - \frac{\delta_{ср}}{2} + \bar{\delta}_я = 18{,}9 + 6053{,}5 = 6018{,}9 \text{ м}, \quad (4.177)$$

до S=203,525 м. Результаты расчетов сведены в таблицу 4.11 и 4.12.

Таблица 4.11 – Ординаты для построения кривой депрессии на участке до ядра

x,м	0	4	8	12	16	18,9
hx,м	31,97	31,96	31,96	31,95	31,94	31,93

Таблица 4.12 - Ординаты для построения кривой депрессии на участке после ядра

x,м	6018,9	6022,9	6026,9	6030,9	6034,9	6038,9	6042,9	6046,9	6050,9	6053
hx,м	15,67	15,65	15,64	15,62	15,60	15,59	15,57	15,55	15,54	15,5

Построенная кривая депрессии представлена на рисунке В.5 Приложение В.

4.8.3 Оценка фильтрационной прочности

Фильтрационная прочность плотины и основания обеспечивается если соблюдается:

$$J \leq \frac{J_{кр}}{К_н}, \quad (4.178)$$

где J - градиент напора в расчетной области фильтрации;

$J_{кр}$ - критический градиент напора;

$К_н$- коэффициент надежности по ответственности.

Для ядра плотины градиент напора равен:

$$J_я = \frac{\Delta H}{\delta_{ср}} = \frac{16{,}62}{6} = 2{,}71, \quad (4.179)$$

где $\Delta H = h_в - h_н = 31{,}93 - 15{,}67 = 16{,}62$м – напор на ядре;

$\delta_{ср}$ – средняя толщина ядра.

Коэффициент надежности для сооружения I класса $К_н = 1{,}25$. Для ядра из суглинка $J_{кр}$=8.

Соотношение:

$$\frac{J_{кр}}{К_н} = \frac{8}{1{,}25} = 6{,}40 > 2{,}7. \quad (4.180)$$

Фильтрационная прочность ядра соблюдается.

Градиент фильтрационного потока при выходе в дренаж:

$$J_{\text{вых}} = \frac{\Delta h}{\Delta x}, \quad (4.181)$$

где $\Delta h = h_4 = H_2 = 15{,}5$ м – уровень воды на выходе в дренажную призму;

$\Delta x = m_3 \cdot H_2 = 1.25 \cdot 15{,}5 = 19{,}375$ м.

$$J_{\text{вых}} = \frac{15{,}5}{19{,}375} = 0{,}80. \quad (4.182)$$

Для тела и дренажной призмы $J_{\text{кр}} = 1$

$$\frac{J_{\text{кр}}}{K_{\text{н}}} = \frac{1}{1{,}25} = 0{,}80. \quad (4.183)$$

4.8.4 Расчет устойчивости низового откоса методом круглоцилиндричекой поверхности скольжения

При расчете устойчивости откоса грунтовой плотины рассмотрена плоская задача, предполагая, что обрушение откоса произойдет по некоторой заданной поверхности , которая принятав виде дуги окружности, т.е по круглоцилиндрической поверхности.

Задача расчета заключается в поиске этой поверхности и определении наименьшего коэффициента устойчивости, который должен превышать коэффициент надежности по ответственности не более чем на 10 %.

Устойчивость откоса обеспечивается при удовлетворении условия:

$$K \geq \gamma_n, \quad (4.184)$$

где $\gamma_n = 1{,}25$ - 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 явился тот, при котором в ВБ отметка НПУ, в теле плотины установившаяся фильтрация, а глубина в НБ соответствует максимальному расходу для основного расчетного случая.

Для нахождения области, в которой располагаются центры наиболее опасных в отношении устойчивости кривых скольжения, определены радиусы $R_н$ и $R_в$, которые являются соответственно нижним и верхним пределом радиуса поверхности скольжения R. Определены в долях от высоты плотины $H_{\text{пл}} = 36{,}8$ м таблица 4.13.

Таблица 4.13- Определение радиусов $R_н$ и $R_в$

m_2	1	2	3	4	5
$R_н/H_{пл}$	1,1	1,4	1,9	2,5	3,3
$R_в/H_{пл}$	2,2	2,5	3,2	4,7	5,8

При заложении низового откоса $m_2 = 2{,}5$:
Радиусы равны:

$$R_{\text{н}} = 1{,}65 \cdot 36{,}8 = 60{,}72 \text{ м}, \quad (4.185)$$
$$R_{\text{в}} = 2{,}85 \cdot 36{,}8 = 104{,}88 \text{ м}. \quad (4.186)$$

Из крайней точки плотины (т.А) и (т.В) подошвы плотины проводятся дуги окружности радиусом R до их пересечения в (т.О) равным:

$$R = \frac{R_{\text{н}} + R_{\text{в}}}{2} = \frac{60{,}72 + 104{,}88}{2} = 82{,}8 \text{ м}. \quad (4.187)$$

Область ограничения прямой сдвига и очертания плотины разбивается вертикальными прямыми на отсеки шириной:

$$b = (0.1 \div 0.2)R = 0{,}175 \cdot 82{,}8 = 14{,}35 \text{ м}. \quad (4.188)$$

Центр нулевого отсека размещается под центром кривой скольжения, а остальные отсеки нумеруются влево со знаком (+) и вправо от нулевого со знаком (-).

Выбраны 3 центра и рассчитаны для соответствующих им поверхностей скольжения значения коэффициентов устойчивости для нахождения минимального.

Все физико- механические свойства грунтов сведены в таблицу 4.14.

Таблица 4.14 - Физико – механические свойства грунта:

Грунт	$\gamma_{\text{ест}}$, кН/м^3	n	$\varphi_{\text{ест}}$, ℃	$\varphi_{\text{н}}$, ℃	$\gamma_{\text{взв}}$, кН/м^3	C_n, кПа
Камень (дренажный банкет)	23,5	0,25	45°	45°	16	0
Песок (боковые призмы)	18	0,4	32°	26°	12	3
Глина (основание)	17,5	0,45	25°	20°	12	50

Силы действующие на отсек :

1. Собственный вес грунта отсека G_n :

$$G_{-1} = b_n(h_2 \cdot \gamma_2^{\text{взв}} + h_3 \cdot \gamma_3^{\text{взв}}), \quad (4.189)$$

где h_2 и h_3 соответственно- расстояния от кривой депрессии до линии подошвы и от линии подошвы до кривой скольжения.

2. Сила сцепления, возникающая на подошве массива обрушения равная:

$$c_n \cdot l_n, \tag{4.190}$$

где c_n – удельное сцепление грунта, принимается для грунта, по которому проходит кривая обрушения.

l_n - длина по хорде:

$$l_n = \frac{b_n}{cos\alpha}, \tag{4.191}$$

где α- угол между вертикалью, проведенной из центра поверхности скольжения (т.О) и радиусом, направленным в середину кривой скольжения.

3. Взвешивающая сила воды Р, действующая на подошву:

$$P = \gamma_в(h_2 + h_3) \cdot \frac{b_n}{cos\alpha}. \tag{4.192}$$

Расчет устойчивости производится по следующей формуле:

$$К \geq \frac{\sum(G_n \cdot cos\alpha - P) \cdot tg\varphi + \sum c_n \cdot \frac{b_n}{cos\alpha}}{\sum G_n \cdot sin\alpha}. \tag{4.193}$$

$$К1 = \frac{7452}{5585,5} = 1,334,$$
$$К2 = \frac{11888,7}{9403,8} = 1,264,$$
$$К3 = \frac{16617,2}{13240,2} = 1,25.$$

Расчет устойчивости низового откоса для 3 – х случаев представлен в приложении В, таблица В.2, В.3, В.4.

Чертежи для расчета устойчивости низового откоса представлены в приложении В, рисунки В.6, В.7, В.8.

5 Организация и производство гидротехнических работ

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

На данном гидроузле применена русловая компоновка, при которой все бетонные сооружения (водосливная плотина, русловое здание ГЭС) располагаются в естественном русле реки. Для данной компоновки характерны пять этапов возведения.[14]

У правого берега располагается водосливная плотина, а у левой русловое здание ГЭС. Сопряжение бетонной плотины со зданием ГЭС осуществляется с помощью раздельной стенки. Сопряжение бетонных частей гидроузла с грунтовой плотиной осуществляется с помощью сопрягающих устоев.

Строительство Вяткинского гидроузла разбито на 5 этапов:

1 этап – Осуществляется возведение перемычек первой очереди, пропуск строительных расходов производится по стесненному руслу реки. Внутри осушенного котлована первой очереди возводится нижняя часть водосливной бетонной плотины (выравнивающая бетонная подушка, фундаментная плита и быки на высоту необходимую для пропуска паводка, а также элементы нижнего бьефа (водобойная плита, плиты рисбермы, концевой участок в виде ковша), понур) и правобережная грунтовая плотина до отметки напорного фронта $\nabla 35{,}3$ м . Перекрытая часть русла перемычками составляет 43 % ширины русла в створе.

Для назначения отметок гребня продольной и верховой поперечной перемычек определено превышение уровня воды перед верховой перемычкой :

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{V_c^2}{2 \cdot g} - \frac{V_0^2}{2 \cdot g}, \quad (5.1)$$

где φ=0,85 – коэффициент скорости, φ = 0,8 – 0,85 для трапецеидальных перемычек ;

V_0 и V_c – бытовая скорость реки и скорость в суженном русле.

$$\mathrm{V_c} = \frac{\mathrm{Q_{стр}}}{\mathrm{w_c}}, \quad (5.2)$$

$$\mathrm{V_0} = \frac{\mathrm{Q_{стр}}}{\mathrm{w_0}}. \quad (5.3)$$

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

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

Высота верховой перемычки первой очереди:

$$H_{\text{ВП}} = h_{\text{нб}} + Z + a, \quad (5.4)$$

$$H_{\text{нП}} = h_{\text{нб}} + a, \quad (5.5)$$

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

a – конструктивный запас, принимаемый равным 1 м.

Расчетный максимальный расход воды (расчетный строительный расход) принят, исходя из ежегодной вероятности превышения обеспеченности, устанавливаемой в зависимости от класса и срока эксплуатации временного гидротехнического сооружения – перемычки. Перемычки относятся к временным сооружениям 3-го класса капитальности.

Расчетный строительный расход :

$$Q_{стр} = 3557\ {}^{м^3}/_{с}. \quad (5.6)$$

Площадь живого сечения :

$$w_0 = 4000{,}4\ м^2 \quad (5.7)$$

Скорость течения в реке до стеснения:

$$V_0 = \frac{3557}{4000{,}4} = 0{,}9\ {}^{м}/_{с}; \quad (5.8)$$

Площадь живого сечения в сжатом русле:

$$w_c = 2518{,}1\ м^2\ . \quad (5.9)$$

Скорость течения в сжатом русле:

$$V_с = \frac{3557}{2518{,}1} = 1{,}4\ {}^{м}/_{с}. \quad (5.10)$$

Полученная скорость для глинистых грунтов является меньше размывающей скорости $V_с = 3\ {}^{м}/_{с}$.

Величина подпора (5.1):

$$Z = \frac{1}{0{,}85^2} \cdot \frac{1{,}4^2}{2 \cdot 9{,}81} - \frac{0{,}9^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}1\ м;$$

Высота перемычек первой очереди (5.4) и (5.5):

$$H_{ВП} = h_{нб} + Z + a = 12{,}2 + 0{,}1 + 1 = 13{,}3\ м,$$
$$H_{нП} = h_{нб} + Z = 12{,}2 + 0{,}1 = 13{,}2\ м.$$

Определение отметок перемычек первой очереди:

$$\nabla\text{УВП} = \nabla\text{дна} + H_{\text{ВП}} = 22 + 13{,}3 = 35{,}3\text{м}\,, \quad (5.11)$$

$$\nabla\text{УНП} = \nabla\text{дна} + H_{\text{НП}} = 22 + 13{,}2 = 35{,}2\text{м}\,. \quad (5.12)$$

2 этап – Возводится верховая перемычка второй очереди до расчетного прорана, для возведения станционной части плотины. Перемычки первой очереди разбираются. Осуществляется перекрытие русла реки.

В связи с наличием в основании размываемых грунтов (глина) применяется фронтальный способ перекрытия русла, заключающийся в одновременной отсыпке банкета по всей ширине прорана со специальных мостов.

После перекрытия перемычки первой очереди разбираются, возводится низовая перемычка второй очереди. Пропуск строительных расходов производится через построенную в котловане первой очереди гребенку. Сооружения наращиваются до отметки напорного фронта $\nabla 39{,}18$ м .

Отметка уровня НБ при $Q_{стр}$=3557 м/с , $\nabla УНБ = 34{,}2$ м;

$$h_{нб} = \nabla УНБ - \nabla дна = 34{,}2 - 22 = 12{,}2 \ м\,, \quad (5.13)$$

$$l = b + \delta б = 16 + 4 = 20 \ м, \quad (5.14)$$

где b – длина пролета, b = 16 м;

δб – толщина быка, δб=4 м.

Число водосливных отверстий пролетов из условий пропуска Qстр:

$$n = \frac{Q\text{стр}}{\upsilon д \cdot l \cdot h\text{нб}} = \frac{3557}{3 \cdot 20 \cdot 12{,}2} = 4{,}9 \text{ пролетов}\,, \quad (5.15)$$

где υд – допустимая неразмывающая скорость, принимается в зависимости от грунтов, слагающих дно реки (глина– 3÷4 м/с, принята $[\upsilon_h]$=3 м/с);

Принято количество пролетов n=4 (в соответствии с расчетом в курсовом проекте по специальности ГТС)

Напор без учета сжатия и подтопления :

$$H01 = \left(\frac{Q_{\text{стр}}}{m \cdot n \cdot b \cdot \sqrt{2g}}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{3557}{0{,}32 \cdot 4 \cdot 16 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81}}\right)^{\frac{2}{3}} = 11{,}54 \text{ м}. \quad (5.16)$$

Напор с учетом бокового сжатия потока и подтопления водослива :

$$H02 = \left(\frac{Q_{\text{стр}}}{m \cdot n \cdot b \cdot \varepsilon\sigma_n \sqrt{2g}}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad (5.17)$$

где σ_n – коэффициент подтопления определяемый по таблице 6.24 в справочнике Киселева в зависимости от отношения $h_п/h_{кр}$.

Критическая глубина:

$$h_{kp} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q_B^{\,2}}{g \cdot (n \cdot b)^2}} = \sqrt[3]{\frac{1.1 \cdot 3557^2}{9.81 \cdot (4 \cdot 16)^2}} = 7.02 м, \quad (5.18)$$

$h_п = h_{нб} – hпор= 12,2\text{-}2=10,2$ *м.* (5.19)

$h_п = 10,2 > h_{кр} = 7,02$, подтопленный.

Коэффициент подтопления $\sigma_п$ зависимости от $h_п/H_0$ = 10,2/10,83=0,94, принят равным $\sigma_п$= 0,598

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

$$\varepsilon = 1 - 0{,}2\frac{\xi y + (n-1)\xi_б}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b} = 1 - 0{,}2\frac{0{,}7 + (4-1)*0{,}45}{4} \cdot \frac{11{,}54}{16} = 0{,}93\,, \quad (5.20)$$

где ξу – коэффициент формы боковых устоев, принят ξу=0,7 для круглой формы ;

$\xi_б$ – коэффициент, зависящий от расположения быка в плане и от формы верховой грани быка, принят ξ_0=0,45 для круглой формы.

$$H02 = \left(\frac{Q_{стр}}{m \cdot n \cdot b \cdot \varepsilon\sigma_п \sqrt{2g}\cdot}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{3557}{0{,}32 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 0{,}93 \cdot 0{,}598 \cdot \sqrt{2g}}\right)^{\frac{2}{3}} = 16{,}06\ м\,. \quad (5.21)$$

Геометрический напор:

$$H = H_{02} - \frac{\alpha \cdot \upsilon_0^2}{2 \cdot g}\,, \quad (5.22)$$

где α – коэффициент кинетической энергии (коэффициент Кориолиса), принят $\alpha = 1{,}1$;

υ_0 – скорость подхода потока к водосливу.

$h_{пор} = 2$м –высота порога над ∇дна.

Скорость подхода потока к водосливу :

$$\upsilon_0 = \frac{Qccm}{(H02 + 2)(B + (n-1)\delta в)} = \frac{3557}{(16{,}06 + 2)(64 + (4-1)4)} = 2{,}59 м/с\,, \quad (5.23)$$

$$H = 16{,}06 - \frac{1{,}1 \cdot 2{,}59^2}{2 \cdot 9{,}81} = 15{,}68 м/с \quad (5.24)$$

.

Высота перемычек второй очереди:

$$h_{перем}=H+h_{пор}+a\ , \quad (5.25)$$

где a=0,5+d;

$$d=h_{нап}+\Delta h, \quad (5.26)$$

$$h_{перем.В}=15{,}68+0{,}5+1=17{,}18\ м, \quad (5.27)$$

$$h_{перем.Н}=15{,}68+1=16{,}68\ м. \quad (5.28)$$

Определение отметок перемычек второй очереди:

$$\nabla УВП=\nabla дна+H_{ВП}=22+17{,}18=39{,}18\ м\ ; \quad (5.29)$$

$$\nabla УНП=\nabla дна\ +H_{НП}=22+16{,}68=38{,}68\ м. \quad (5.30)$$

Расход через гребенку при ее закрытии (заделке) :

$$Q=\left(m\ \cdot b\ \cdot 3\sqrt{2g}\ h\text{гр}^{\frac{3}{2}}\right)=\left(0{,}32\ \cdot 16\ \cdot 3\sqrt{2\cdot 9{,}81}\ \cdot\ 1{,}5^{\frac{3}{2}}\right)=$$
$$=125\ м^3/с. \quad (5.31)$$

Высота бетонирования за затвором:

$$k\cdot h_{гр}=2\cdot 1{,}5=3м, \quad (5.32)$$

где к=2, так как гребенка двухступенчатая ;

$h_{гр}$ =1,5÷3, принимаем 1,5м.

Высота затвора:

$$h_{затв}=k\cdot h_{гр}+0{,}5=3+0{,}5=3{,}5м. \quad (5.33)$$

При заделке гребенке часть расходов будет пропускаться через незаконченные турбинные блоки.

Пропускная способность незаконченных турбинных блоков определяется по формуле:

$$Q=m\pi D\sqrt{2g}h^{\frac{3}{2}}\cdot n=0.24\cdot 3.14\cdot 7.5\cdot 4.43\cdot 15.68^{\frac{3}{2}}\cdot 2=$$
$$=3109.3\ м/с\ , \quad (5.34)$$

где m – коэффициент расхода, принимаемый равным 0,24;

h- напор;

D- диаметр агрегата.

3 этап – Возводится русловое здание ГЭС , а так же левобережная грунтовая плотина до отметки ∇39,18 м. Происходит наращивание бетонной водосливной и правобережной грунтовой плотин до отметки ∇54 м.

В конце 3-го этапа перед началом наполнения водохранилища выполняются мероприятия и работы для уменьшения и регулирования пропускной способности строительных отверстий в период наполнения водохранилища.

В конце 3-го этапа разбираются перемычки второй очереди. Гребенка заделывается в осенне-зимний период. Расходы пропускаются через гребенку и незаконченные турбинные блоки.

4- этап – Данный этап предусматривает наращивание всех сооружений до проектных отметок ∇58,8 м, начинается наполнение водохранилища. Расходы пропускаются через водосливные отверстия бетонный водосливной плотины.

В конце 4-го этапа осуществляется пуск агрегатов первой очереди и построенные сооружения принимаются во временную эксплуатацию.

5 этап- Осуществляется доведение отметок сооружения до проектных и дальнейшее наполнение водохранилища и поочередный пуск всех агрегатов ГЭС.

5.2 Организация и технология работ по возведению перемычек

5.2.1 Выбор типа перемычки

На основании технико-экономического сравнения вариантов в проекте Вяткинского гидроузла принята перемычка из местного материала-песка, добываемого в месте расположения створа. Данной перемычке присущи: относительная дешевизна, полная механизация работ по возведению, легкость в разборке, применение при любом напоре и высоте, большая ширина по основанию (распластанность) и недопустимость перелива через гребень.

Поперечные перемычки:

Заложение верхового откоса m1=1:2;Низового откоса m2=1:1,55.

Схема размеров котлована представлена в приложении 4,рисунок 4.1.

Первая очередь

Длина котлована в поперечном направлении L_k=209 м.

Длина котлована в продольном направлении L_k=381,4м.

Объём котлована V=491575м^3.

5.2.2 Осушение котлована

Для осушения котлованов первой и второй очереди используется способ открытого водоотлива, который заключается в том, что откачка воды ведется непосредственно из котлована.

Котлован первой очереди:

Требуемое время для откачки воды из котлованов 12 суток.

Выбирается насос с допустимым напором, подачей и потребляемой мощностью насоса.

Принимается насос марки 12НДс-Нм-б с подачей 700 м^3/час.

Количество насосов требующееся для откачки воды из котлована первой очереди - 7 насосов.

Котлован второй очереди:

Длина котлована в поперечном направлении L_k=316.4м.

Длина котлована в продольном направлении 260.3м.

Объём котлована второй очереди V=336112м^3.

Количество насосов требующееся для откачки воды из котлована второй очереди - 5 насоса.

5.3 Определение объемов работ

5.3.1 Объем земляных работ

Объём перемычек первой очереди:

Перемычки первой очереди представлены на рисунке 5.1:

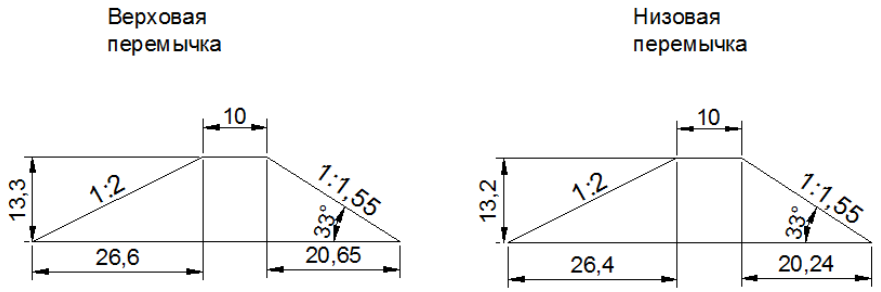


Рисунок 5.1 – Схема перемычек первой очереди

Общий объем перемычек первой очереди равен V=333999 м^3.

Объём перемычек второй очереди:

Перемычки второй очереди представлены на рисунке 5.2.

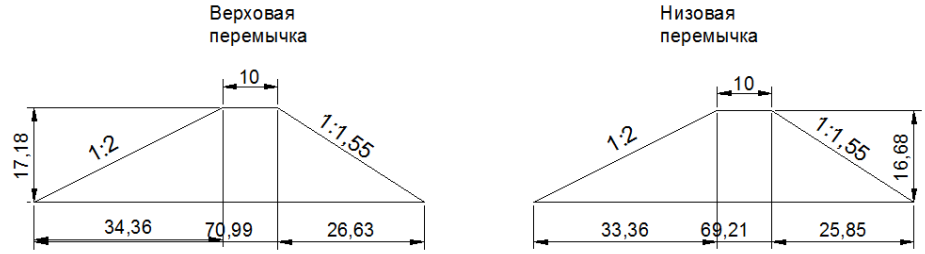


Рисунок 5.2 – Схема перемычек первой очереди

Общий объем перемычек первой очереди равен V=429166 м^3.

Объем грунтовой плотины:

Этапы возведения грунтовой плотины представлены на рисунке 5.3 и в таблице 5.1.

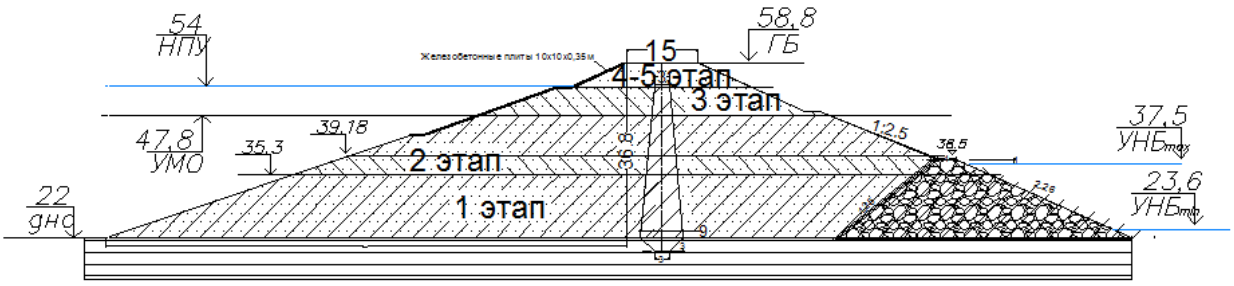


Рисунок 5.3 – Этапы возведения грунтовой плотины

Таблица 5.1 – Этапы возведения грунтовой плотины

Этапы	Правобережная грунтовая плотина		Левобережная грунтовая плотина	
	Длина	Площадь	Длина	Площадь
1 этап	41	2455,1	-	-
2 этап	83,2	1418,44	-	-
3 этап	97,45	371,63	22,6	3887,8
4-5 этап	97,45	162,6	30,7	534,4

Объем выемки:

Объем выемки мягкого грунта котлована первой очереди:

$$V = 205.6 \cdot 326.73 \cdot 2 = 134352 \text{ м}^3. \quad (5.34)$$

Объем выемки мягкого грунта котлована второй очереди:

$$V = 316{,}4 \cdot 336{,}43 \cdot 2 = 212874 \text{ м}^3. \quad (5.34)$$

5.4 Объем бетонных работ

1 этап – возводится водосливная плотина, понур, а так же элементы нижнего бьефа (водобойная плита, плиты рисбермы, ковш) до отметки ∇35,3 м

Общий объем бетонных работ на 1 этапе строительства $V = 237135$ м^3.

: 2 этап - происходит наращивание бетонной водосливной плотины до отметки ∇39,18 м.

Общий объем бетонных работ на 2 этапе строительства $V = 92046$ м^3.

3 этап – происходит наращивание бетонной водосливной плотины до отметки ∇54 м. Возводится русловое здание ГЭС до отметки ∇47,8 м

Общий объем бетонных работ на 3 этапе строительства $V = 291415$ м^3

4 этап - происходит наращивание бетонной водосливной плотины и руслового здания ГЭС до отметки ∇58,8 м.

Общий объем бетонных работ на 4 этапе строительства $V = 33869$ м^3

Сводная таблица объемов работ по этапам строительства представлена в приложении Г, таблица Г.1.

5.5 Технология уплотнения грунтовой плотины из песка с противофильтрационным устройством в виде центрального ядра из суглинка.

Уплотнение грунтовой плотины производится на отметке ∇38,18 на третьем этапе строительства. Объем земляных работ составляет V=123713 м^3, темпы возведения 135 дней.

Территория уплотнения составляет : 123 м длиной, толщина слоя уплотнения 30 см. 3 карты 41×20 м каждая.

В качестве ведущего механизма для разработки грунтов применяется гусеничный одноковшовый экскаватор ЭО – 6123, ковш – прямая лопата.

Производительность экскаватора в карьере:

$$П_ч^э = q_{ковш} \cdot n_ц \cdot \frac{k_н}{k_р} \cdot k_в, \quad (5.35)$$

где $k_н$- коэффициент наполнения ковша, для песка $k_н = 0{,}95$;

$k_р$ - коэффициент разрыхления ковша, для песка $k_н = 1$;

$k_в = 0{,}75$ - коэффициент внутрисменного времени при выгрузки на транспорт;

$q_{ковш} = 2{,}5$ м^3 - вместимость ковша;

$n_ц$- количество циклов в час:

$$n_ц = \frac{3600}{t_ц} = \frac{3600}{26} = 138, \quad (5.36)$$

где $t_ц$ – продолжительность цикла :

$$t_ц^э = t_{коп} + t_{пов} + t_{выгр} + t_{возвр} + t_{ожид.тр} = \\ = 10 + 5 + 3 + 4 + 4 = 26 \text{ с}, \quad (5.37)$$

$$П_ч^э = q_{ковш} \cdot n_ц \cdot \frac{k_н}{k_р} \cdot k_в = 2{,}5 \cdot 138{,}46 \cdot \frac{0{,}95}{1} \cdot 0{,}75 = 246 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.38)$$

Интенсивность возведения:

$$I = \frac{V}{t} = \frac{123713}{135} = 916{,}4 \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (5.39)$$

Время выполнения работ одним экскаватором:

$$t_{вып} = \frac{V}{П_ч^э} = \frac{123713}{246.63 \cdot 8 \cdot 52} = 1{,}2 \text{ месяца}. \quad (5.40)$$

Следовательно, при бесперебойной работе экскаватор выполняет работу за 1,2 месяца, а не за 135 дней.

Подобран бульдозер Д-275 (производительность 280-230 $м^3/ч$) в количестве n=1.

Для бесперебойной работы ведущей машины и перевозки грунта из котлована применяется автосамосвал АС-6890VO.

Характеристики: Грузоподъемность 19,4 тонн; вместимость кузова 27 $м^3$.

Определение количества ковшей грунта в емкости кузова автосамосвала:

$$q_{\text{ковш}} = \frac{Q}{\rho \cdot n_{\text{ковш}} \cdot k_{\text{н}}} = \frac{19{,}4}{2{,}5 \cdot 5 \cdot 0{,}95} = 1{,}63 \text{ м}^3, \quad (5.41)$$

$$n_{\text{ковш}} = \frac{19{,}4}{2{,}5 \cdot 1{,}63 \cdot 0{,}95} = 5 \text{ ковшей}, \quad (5.42)$$

где $k_н$ – коэффициент наполнения ковша.

ρ – плотность грунта, кг/$м^3$;

Q – грузоподъемность автосамосвала.

Время цикла автосамосвала:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{заг}} + \frac{l_{\text{т}}}{V_{\text{т}}} + \frac{l_{\text{т}}}{V_{\text{х}}} + \left(t_{\text{р}} + t_{\text{маш}}\right) =$$
$$= \frac{7}{15} + \frac{7}{40} + \frac{2{,}5}{60} + \frac{26 \cdot 5}{3600} = 0{,}719 \text{ часа}, \quad (5.43)$$

где $V_т$ – скорость груженого автосамосвала;

$V_х$ - скорость порожнего автосамосвала;

$l_т$ – расстояние до карьера.

Количество автосамосвалов на 1 экскаватор:

$$N_{\text{ас}} = \frac{t_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}}^{\text{э}} \cdot n_{\text{ковш}}} = \frac{0{,}719 \cdot 3600}{26 \cdot 5} = 20 \text{ машин}. \quad (5.44)$$

Уплотнение правобережной насыпной грунтовой плотины производится с помощью машин непрерывного действия – прицепными пневмошинными катками модели ДУ- 39А.

Характеристики: Масса без балл. 6 т/ с балл. 25 т. ; Ширина уплотняемой полосы 2,6 м; Рабочая скорость 1,4 м/с , транспортная 6,9 м. Количество проходок 6÷10 проходок.

Производительность катка при одной проходке:

$$П_{\text{к}}^{\text{э}} = F_{\text{пот}} \cdot V \cdot k_{\text{в}}, \quad (5.45)$$

где $k_в = 0{,}75 \div 0{,}85$ – коэффициент использование внутрисменного времени, принимается $k_в = 0{,}8$;

V – средняя скорость передвижения катка:

$$V_{ср} = \frac{3 \cdot 1,4 + 3 \cdot 6,9}{6} = 4,15 \text{ км/час.} \quad (5.46)$$

Средняя скорость рассчитана для количества выбранных проходок n=6. (1,5 ,6 проходки – скорость 1,4 км/час; 2,3,4 проходки – скорость 6,9 км/час)

$F_{пот}$ – площадь потока с учетом перекрытия полосы след проходкой:

$$F_{пот} = (B - b_{пер}) \cdot h_{сл} \cdot V_{ср} \cdot k_в, \quad (5.47)$$

где B – ширина укатываемой полосы;

$b_{пер}$ –ширина полосы перехлеста $(0,15 \div 0,2)$, принимается $b_{пер}$ =0,2 м;

Часовая производительность катка при одной проходке:

$$П_ч^к = (B - b_{пер}) \cdot h_{сл} \cdot V_{ср} \cdot k_в = (2,6 - 0,2) \cdot 0,3 \cdot 4,15 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 2390 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.48)$$

при 6 проходках:

$$П_ч^э = \frac{2390 \text{ м}^3/\text{ч}}{6} = 398 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.49)$$

Каток будет работать 0.6 часа, 0,4 простаивать.

5.6 Определение способов производства основных видов работ

5.6.1 Выбор транспортной схемы бетонных работ

Для транспортировки бетонной смеси от бетонного завода до сооружения применяется автомобильный вид общестроительного транспорта – автобеновозы типа СБ-128.[20]

Характеристики: Базовый автомобиль КрАЗ-6505; Вместимость кузова-6 $м^3$; Грузоподъемность-14 т.

Для подачи бетонной смеси в блоки бетонирования применяются специальные башенные краны типа КБГС-450(кран) грузоподъемностью 10 т.

Автобетоновозы доставляют бетонную смесь к месту работы кранов, разгружают ее в бадьи Т-103 емкостью 3,2 $м^3$,которые затем кранами подаются в блок.

Уплотнение бетонной смеси в блоке бетонирования осуществляется методом виброуплотнения с применением глубинных вибраторов марки ИВ-59.

Характеристики: Частота колебаний 5700 кол/мин; Вибронаконечник: диаметр 114 мм, длина 520 мм; Масса 22 кг; Толщина вибрируемого слоя 50 см; Производительность 4-7 $м^3$/ч. Изготовлен на Ярославском заводе ‘ Красный маяк‘

5.6.2 Выбор транспортной схемы земляных работ

В качестве ведущего механизма для разработки грунтов применяется гусеничный одноковшовый экскаватор ЭО – 6123, ковш – прямая лопата.

Характеристики: Вместимость ковшей 2,5 $м^3$; Наибольший радиус копания 10,2 м; Наибольшая высота копания 10,2 м; Наибольшая высота выгрузки 5,95 м; Радиус выгрузки при наибольшей высоте выгрузки 5,7 м.

Для бесперебойной работы ведущей машины и перевозки грунта из котлована применяется автосамосвал АС-6890VO.

Характеристики: Грузоподъемность 19,4 тонн; вместимость кузова 27 $м^3$.

В качестве уплотнения слоев грунта применяется способ уплотнения прицепными пневмошинными катками модели ДУ-30.

Характеристики: Масса без балл. 6 т/ с балл. 25 т. ; Ширина уплотняемой полосы 2,6 м; Рабочая скорость 1,4 м/с , транспортная 6,9 м. Количество проходок 6÷10 проходок.

Применяются бульдозеры марки Д-275 с Габаритами отвала: длина 3,36м, высота 1,7м

Для увлажнения грунта применяется поливочная машина ПМ-130Б.

Характеристики: Емкость основной цистерны 6000 л, прицепной 5000 л; Ширина захвата при поливке до 18 м; Расход воды при поливке 0,2-0,3 $л/м^2$; Рабочая скорость до 21 км/ч.

5.7 Строительный генеральный план гидроузла

Строительный генеральный план Вяткинской ГЭС представлен на чертеже.

Данная компоновка объектов производственной базы исходя из следующих предпосылок:

- бетонное хозяйство размещено предельно ближе к котловану бетонных сооружений с целью сократить дальность транспортировки бетонной смеси.
- заводы и полигоны сборного железобетона размещены на одной площадке с бетонным хозяйством, что позволяет избежать дополнительных перевозок бетонной смеси;
- ремонтно-механическое хозяйство и автомобильные базы размещены на одной площадке. При этом учитывается их будущее использование после завершения строительства гидроузла. Аналогичный подход применяется и к базам материально-технического снабжения;
- при данной компоновке основных сооружений - на одном берегу размещается основная строительная база, на другом - организованы только участковые хозяйства. Связь между берегами осуществляется по временному мосту.

5.8 Календарное планирование

По структуре календарное планирование подразделяется на три периода : подготовительный, период основных работ и завершающий период.

В подготовительный период строительства включают : строительство подъездных автомобильных и внутриплощадочных дорог, ЛЭП и линий связи, поселков, бетонного и сортировочных хозяйств, автохозяйств, баз механизации и специализированных организаций.

В период основных работ включают пообъектно все основные и вспомогательные сооружения гидроузла, а по сложным сооружениям – основные виды работ (земляные, бетонные).

К завершающему периоду относят работы по сооружениям, выполняемые после пуска первого агрегата.

5.8.1 Продолжительность и время выполнения работ

Перемычки котлованов. Перемычки строятся в течение одной межени с завершением всех работ к очередному паводку. Темпы отсыпки земляных перемычек принимаем 150 тыс. $м^3$/мес.

Разработка котлованов. Продолжительность разработки котлованов зависит от грунта, для глинистого основания составляет 2-3 м/мес по высоте.

Бетонные работы . Продолжительность и темпы бетонирования в большей мере чем выполнение других работ зависят от характера механизации и технологии. Бетонирование плотины и здания ГЭС начинается после полной выемки грунта. Общая продолжительность бетонирования составляет 60 месяцев. Темпы возведения подводной части здания ГЭС 2 м/мес, а по объему 2 тыс $м^3$/мес на 1 агрегатный блок. Интенсивность объема на 1 агрегатный блок 2 тыс $м^3$/мес. Темпы возведения надводной части здания ГЭС агрегатный блок за 1-2 месяца. Устои и подпорные стенки 1 ярус в месяц.

Монтаж гидромеханического оборудования. Готовность гидромеханического оборудования и затворов должна обеспечиваться к началу наполнения водохранилища. При сборке затворов непосредственно на месте темп монтажа составляет около 1000 т в месяц.

Монтаж гидроагрегатов. Выполняется в два этапа. На первом этапе одновременно с укладкой бетона в подводную часть здания ГЭС строительными кранами монтируются закладные части турбины : облицовку конуса отсасывающей трубы. Статор турбины, спиральную камеру, облицовку турбинной шахты. Темпы монтажа при этом тесно увязываются с укладкой бетона и определяются ею. Все бетонные работы ведутся с помощью кранов. На втором этапе осуществляется монтаж и сборка на монтажной площадке элементов турбины и генератора, устанавливаемых на готовое основание.

Работы ведутся с помощью эксплуатационного мостового крана. Монтаж крана 2-3 месяца.

Укрупнительная сборка агрегатов начинается после возведения каркаса машинного зала. На этот процесс уходит 1.5-2 месяца.

На монтаж одного агрегата требуется от 3 до 4 месяца и не больше 6 агрегатов в год.

Сводный календарный план строительства и сетевой график представлены на чертеже.

6 Охрана труда и противопожарная безопасность. Мероприятия по охране окружающей среды

6.1 Требования по охране труда и техники безопасности для работников Вяткинской ГЭС

Правильно организованная работа по обеспечению 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 повышает в конечном итоге эффективность производства. Управление охраной труда в организации осуществляет ее технический руководитель.

Одной из основных задач по обеспечению безопасных условий труда на Вяткинской гидроэлектростанции является создание структурного подразделения по охране труда и технике безопасности.

Для всех работников станции в обязательном порядке разрабатываются должностные инструкции и инструкции по охране труда.

Все работники станции должны при исполнении своих служебных обязанностей 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.

Должностные документы разрабатываются на основе действующих нормативно-правовых актов по технике безопасности и охране труда:

-РД 153.-34.0-03.301-00. - «Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий»;

-И другими нормативными документами в сфере охраны труда.

Руководители и работники предприятия несут в соответствии с Законодательством Российской Федерации дисциплинарную, гражданскую, административную и уголовную ответственность за невыполнение должностных и функциональных обязанностей по охране труда, если это могло привести или привело к несчастным случаям, заболеваниям на производстве, авариям, пожарам, материальному и моральному ущербу. Контроль за выполнением требований нормативов по охране труда осуществляется службой по охране труда и технике безопасности Вяткинской гидроэлектростанции и профсоюзным объединением работников предприятия.

На Вяткинской ГЭС организован кабинет по технике безопасности и охране труда, являющийся организационным и учебно-методическим центром по работе с персоналом.

Инструктажи во всех подразделениях на Вяткинской ГЭС будут производить только высококвалифицированные работники.

Основная цель улучшения условий труда - обеспечение безопасности труда, сохранение жизни и здоровья работающих, сокращение количества несчастных случаев и заболеваний на производстве.

6.2 Противопожарная безопасность

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

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

Руководитель ГЭС обязан:

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

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

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

-установить порядок регулярной проверки состояния пожарной безопасности ГЭС.

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

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

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

Руководители структурных подразделений ответственные за пожарную безопасность, обязаны:

-обеспечить на своих участках соблюдение установленного противопожарного режима и выполнение мероприятий, повышающих пожарную безопасность;

- обеспечить исправность технологического оборудования, немедленно принимать меры к устранению неисправностей, которые могут привести к пожару;

- организовать пожарно-техническую подготовку подчиненного персонала и требовать от него соблюдения противопожарного режима и выполнения установленных требований пожарной безопасности;

- обеспечить контроль за выполнением требований пожарной безопасности при проведении ремонтных работ персоналом подразделений и подрядными организациями;

- установить порядок и ответственность за содержание в исправном состоянии и постоянной готовности к действию имеющихся на участке средств обнаружения и тушения пожара.

В обязанности оперативного персонала входит: при возникновении пожара, аварии или других опасных факторов, угрожающих персоналу и нарушающих режим работы оборудования, принять меры к немедленному вызову пожарных подразделений, известить руководство гидроэлектростанции, обесточить электрооборудование в зоне пожара, выдать письменный допуск для тушения пожара, организовать его тушение и эвакуацию персонала (при необходимости), а также восстановление нормального режима работы оборудования и т.д.

Каждый работающий на ГЭС обязан знать и соблюдать установленные требования пожарной безопасности на рабочем месте, в других помещениях и на территории, при возникновении пожара немедленно сообщить вышестоящему руководителю или оперативному персоналу о месте пожара, принять возможные меры к спасению людей, имущества и приступить к ликвидации пожара имеющимися средствами пожаротушения с соблюдением мер безопасности.

Все работники ГЭС должны проходить подготовку по пожарной безопасности. Подготовка работников включает в себя:

- вводный инструктаж по пожарной безопасности;

- регулярные инструктажи (первичный, периодические, внеплановые и целевые), по вопросам пожарной безопасности;

- специальная подготовка;

- проведение противопожарных тренировок;

- повышение знаний по противопожарной защите в учебных центрах;

- изучение и проверка знаний правил пожарной безопасности и т.д.

Персонал ГЭС несет ответственность за обеспечение пожарной безопасности. Лица, виновные в нарушении правил пожарной безопасности несут дисциплинарную, административную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

6.3 Мероприятия по охране окружающей среды

Гидрохимический фон р. Вятка обусловлен сбросами сточных вод промышленных предприятий, находящихся выше по течению от створа строительства. От промышленных предприятий г.Киров, Котельнич и др. поступают стоки, загрязненные нитратами, нитритами, фосфатами, сульфатами,

хлоридами, нефтепродуктами, поэтому индекс загрязнения воды (ИЗВ)- V «грязная». Поэтому в период строительства и в период дальнейшей эксплуатации станции сброс сточных вод необходимо осуществлять в водный объект – р.Вятка с содержанием загрязняющих веществ, не превышающих ПДК. [22]

Загрязнение атмосферного воздуха в районе строительства обусловлено выбросами промышленных предприятий, находящихся в данном регионе: Кирово-Чепецкий химический комбинат, ГРЭС, завод по утилизации химического оружия и др. Поэтому в атмосферном воздухе присутствуют следующие загрязняющие вещества: оксид углерода, пыль, формальдегид, сернистый ангидрид, окислы азота.[23]

Растительность района строительства представлена преимущественно хвойными пихтово – елочными и сосновыми лесами. В районе строительства Вяткинской ГЭС отмечается наличие краснокнижных видов растений. Из занесенных в Красную книгу 52 видов цветочных растений, в районе произрастают 1 вид голосеменных, 3 вида папоротниковых, 2 вида плавунов, 1 вид хвощовых, 2 вида мховых, 2 вида грибовых, 7 видов лишайниковых, 22 вида водорослей. Поэтому при строительстве необходимо проводить мероприятия по пересадке краснокнижных видов растений, при невозможности пересадки необходимо оценить ущерб, причиняемый краснокнижным видам растений для возможности осуществления компенсационных мероприятий.

В районе строительства проживают следующие виды животных: волк, лиса, обыкновенный еж, лось, медведь, рысь, лесная куница, горностай и др. [24]

Водные биологические ресурсы реки Вятка на участке строительства Вяткинской ГЭС представлены следующими видами: лещ, плотва, линь, чехонь, сом, щука, окунь, судак, карась, стерлядь и др. [26]

В соответствии с Приказом Федерального агенства по рыболовству от 17.09.2009 № 818 "Об установлении категории водных объектов рыбохозяйственного значения и особенностей добычи(вылова) водных биологических ресурсов, обитающих в них и отнесенных к объектам рыболовства" река Вятка в районе строительства Вяткинской ГЭС относится к водному объекту высшей категории рыбохозяйственного значения. [25]

Судоходство по Вятке затруднено, поскольку она мелководна и имеет большое количество перекатов, глубина которых составляет не более 45 сантиметров в верховьях, а в низовьях – не более 85.

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

Период строительства

В период строительства будут производиться следующие виды работ:

- работы по подготовке водохранилища;

- отсыпка земляных перемычек из местного материала (песок) для котлованов двух очередей;
- перекрытие русла фронтальным способом;
- осушка котлованов;
- выемка мягкого грунта и складирование его в полезные насыпи;
- строительство технической базы;
- строительство основных сооружений, входящих в гидроузел.

Мероприятия по подготовке ложа водохранилища регламентированы санитарными правилами [27]

Мероприятиям по подготовке ложа водохранилища перед затоплением включают:

1. Мероприятия по санитарной подготовке территории затопления. Санитарная подготовка территории, подлежащей затоплению, должна проводиться в целях обеспечения формирования надлежащего качества воды водохранилища как источников хозяйственно-питьевого водоснабжения: санитарная подготовка прибрежных полос – для использования их населением в культурно-оздоровительных целях.

В комплекс мероприятий по санитарной подготовке территории затопления входят:

- очистка от древесной и кустарниковой растительности: очистке от древесной и кустарниковой растительности подлежит территория сработки водохранилища от уровня НПУ до максимальной сработки плюс 2 м ниже с оставлением пней не выше 50 см; при лесоочистке древесные и порубочные остатки, если они не могут быть использованы или вывезены, сжигаются на месте без оставления недожегов;

- санитарная очистка территории затопления: подлежат удалению мосты, телеграфные столбы, фундаменты и другие сооружения, выступающие над землей более чем на 50 см (0,5 м); свалки, отходы производства вывозятся за пределы зоны затопления со снятием слоя грунта до чистого;

- мероприятия в местах захоронений;

- подготовка прибрежных участков водохранилищ около населенных пунктов – санитарных зон для доступа населения к воде.

2. Мероприятия по санитарной охране водных объектов в зоне влияния водохранилища должны быть направлены на:

- предупреждение возможного появления новых источников загрязнения в створах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования населения;

- предотвращение загрязнения водных объектов производственными, хозяйственно-бытовыми, дренажными и сбросными водами мелиоративных систем, поверхностными стоками с территорий населенных мест и сельскохозяйственных земель;

- санитарное благоустройство берегов, на участках акватории используемых населением, с целью предотвращения цветения воды;

- уменьшение площади мелководий с глубинами 2 м и менее;
- предупреждение выплода гнуса и комаров;
- противомалярийные мероприятия на анофелогенных территориях.

Согласно [27] для водохранилищ с коэффициентом водообмена менее 6, а также для водохранилищ ёмкостью до 10 млн. м3 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.

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

В течение всего периода строительных работ необходимо проводить следующие мероприятия на территории строительства:

- меры по сохранению краснокнижных растений;
- меры по сохранению ихтиофауны реки Вятка;
- меры по недопущению загрязнения водного объекта – р.Вятка и ее водоохранной зоны;
- сбор отходов и вывоз на специализированные полигоны размещения отходов, отходы черных и цветных металлов, являющихся вторичными ресурсами, необходимо передавать специализированным организациям в целях дальнейшего использования – перепалвки.

Производство строительно-монтажных работ связано с образованием большого количества отходов.

Период эксплуатации

В период эксплуатации ГЭС воздействие на окружающую среду будет оказываться:

1 .Сбросом сточных (дренажных, дождевых и талых) вод;

2. Выбросами в атмосферу от источников, находящихся на промышленной площадке гидроэлектростанции: от дизель-генераторов при периодическом опробовании их работоспособности, от сварочных и окрасочных работ, проводимых в период текущих и капитальных ремонтов;

3.Образованием отходов при эксплуатации, техническом обслуживании и текущих капитальных ремонтах оборудования, производственных зданий и сооружений. Так, при эксплуатации и капитальных и текущих ремонтах оборудования, производственных зданий и сооружений образуется большое количество отходов масел: турбинного, трансформаторного, индустриального, компрессорного; отходы черных и цветных металлов, кабельной продукции.

При эксплуатации гидроэлектростанции должны соблюдаться установленные нормативы допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ и микроорганизмов в водный объект, Нормативы предельно-допустимых

выбросов загрязняющих веществ атмосферный воздух (ПДВ), установленные лимиты размещения отходов.

Для обеспечения нормальной работы оборудования ГЭС применяются турбинное масло, трансформаторное, гидравлическое, индустриальное и компрессорное масла, что может приводить к попаданию нефтепродуктов со сточными водами ГЭС в поверхностные воды реки Вятка.

В процессе эксплуатации оборудования необходимо исключить протечки масел из маслонаполненного оборудования. Кроме того, для обеспечения собственных нужд ГЭС требуется потребление определенного объема воды.

Замасленные стоки ГЭС должны поступать на специальные маслоочистительные установки. В аварийной ситуации (пожар на площадке трансформаторов) стоки воды от пожаротушения и масла собираются в специальные емкости – в баки аварийного слива масла.

К категории производственных стоков, не требующих очистки (нормативно-чистые воды), отнесены воды, идущие на охлаждение оборудования, и сточные воды от пожаротушения кабельных помещений. Эти воды не загрязняются в процессе использования и отводятся в нижний бьеф без очистки.

7 Технико – экономические показатели

7.1 Объёмы продаж электроэнергии

Главными показателями (товаром) ГЭС являются электроэнергия и мощность, они взаимосвязаны между собой балансами мощности и энергии энергосистемы. Объемы продаж электроэнергии за период с 2021-2024 гг представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Оценка объемов продаж энергии

Наименование	2023	2024	2025
Установленная мощность, МВт	432	432	432
Число часов установленной мощности, час	6800,0	6800,0	6800,0
Выработка электроэнергии , МВт*ч	2937600,0	2937600,0	2937600,0
Расход электроэнергии на собственные нужды, %	1	1	1
Расход электроэнергии на собственные нужды, МВт*ч	29376,0	29376,0	29376,0
Тариф на электроэнергию, руб/МВт*ч	37688,0	38724,0	38788,0
Объем реализации, МВт*ч	2908224,0	2908224,0	2908224,0
Выручка от реализации электроэнергии, млн. руб.	9133.7	9384.8	9584.8
НДС к выручке, млн. руб.	1393.3	1431.6	1531.6

7.2 Текущие расходы

Формирование текущих расходов выполнено на основании Единых сценарных условий ПАО РусГидро 2016-2041 [28] 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 2,5%

Расходы по страхованию имущества приняты в размере (от остаточной балансовой стоимости основных фондов)- целевой вариант - 0,007%.

Эксплуатационные расходы (оплата труда, производственные затраты, прочие расходы) по ГЭС определяются в расчёте на 1 МВт 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	7,52
Прочие расходы	264,0	8,15
Итого по ГЭС		15,67

Отчисления на ремонт основных производственных фондов определяются исходя из величины инвестиций. Удельные значения расходов в процентах представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Удельные значения расходов на ремонт

%

Этапы проекта	Величина
От 1 до 5 лет	0,04
От 6 до 15 лет	0,06
От 16 до 25 лет	0,08
свыше 25 лет	0,1

Перевод в прогнозные цены осуществляется путём индексации на индекс-дефлятор инвестиций.

Расходы на услуги регулирующих организаций рассчитаны исходя из тарифов (без НДС) на 2021 год с дальнейшей их индексацией по темпам инфляции, таблица 7.4.

Таблица 7.4 – Расходы на услуги регулирующих организаций

Наименование	Ставка	Величина, млн.руб
ОАО СО-ЕС	107,81 тыс.руб. за 1 МВт	3,3
НП АТС(администратор торговой системы)	0,001107 тыс.руб. за 1 МВт.ч	0,295
ЦФР(центр финансовых расчетов)	0,000310 тыс. руб. за 1 МВт.ч	0,083
Итого	-	3,7

Налог на воду в расчете на 1 тыс. кВт·ч в соответствии с Налоговым кодексом РФ [31]году для реки Вятка составляет 4,8 руб.

Текущие затраты по гидроузлу приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Текущие затраты по гидроузлу

млн.руб.

Наименование	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
Амортизационные отчисления	31,6	45,3	46,9	36,9
Расходы на страхование	151,5	273,6	294,4	290,9
Эксплуатационные затраты	15,7	203,7	219,4	219,4

Окончание таблицы 7.5

Наименование	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
Расходы на ремонт производственных фондов	12,9	23,5	25,2	24,9
Расходы на услуги регулирующих компаний	3,7	48,2	51,8	51,8
Налог на воду	0,6	15,8	17,9	17,9
Итого	216,0	610,0	655,6	642,0

Рисунок 7.1- Текущие затраты по гидроузлу, %

7.3 Налоговые расходы

Налоговые расходы являются крупной статьей оттоков денежных средств после завершения строительства Вяткинской ГЭС. Значительная их часть отчисляется в региональный бюджет. Существует возможность введения льготного периода, что существенно повлияет на показатели эффективности

Учтены следующие налоги :

- НДС – 18 % от добавленной стоимости ;
- взносы в социальные фонды 34 % от фонда оплаты труда;
- налог на имущество 2,2 % от стоимости имущества ;
- налог на прибыль 20% от налогооблагаемой прибыли;

Налог на воду входит в текущие затраты.

Предполагаемые налоговые расходы за период с 2021 по 2024 годы приведены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Налоговые расходы

млн.руб

Наименование	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
Налог на прибыль	774.5	20394 .6	23750.3	24406.2
НДС	389.8	18091.6	21435 .7	22023.9
Взносы в соц.фонды	27.1	34.4	34. 4	34. 4
Налог на имущество	39.8	62.1	77.4	76.4

7.4 Оценка суммы прибыли

Основной формой отражения производственной деятельности Вяткинской ГЭС по производству электроэнергии является Отчет о прибылях и убытках». В отчете определяются следующие показатели: валовая прибыль, налогооблагаемая прибыль, размеры выплат по налогам, нераспределенная прибыль, накопленная нераспределенная прибыль. Годовая прибыль первых лет эксплуатации представлена в таблице 7.7.

Таблица 7. 7 – Годовая прибыль в первые годы эксплуатации

Наименование	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год
Выручка нетто, млн.руб	8087,3	107936,9	119345,9	122628,5
Текущие расходы, млн.руб	216,03	610,02	655,6	642,04
EBIT (прибыль до налогообложения),млн.руб	7871,3	107326,9	118690,4	121986,5
Скорректированный налог на прибыль,млн.руб	1574,3	21465,4	23738,1	24397,3
NOPAT (чистая прибыль),млн.руб	6296,9	85861,5	94952,3	97589,2
Ставка налога на прибыль, %	20	20	20	20

7.5 Показатели эффективности проекта

Показатели эффективности инвестиционного проекта (таблица 7.8) позволяют определить эффективность вложения средств в тот или иной проект. При анализе эффективности инвестиционных проектов используются следующие показатели эффективности инвестиций:

Таблица 7.8 – Показатели эффективности проекта

Ставка дисконтирования, %	13
Период окупаемости, мес	70
Средняя норма рентабельности, %	1821,36
Чистый приведенный доход (NPV) , млн	373353,3
Индекс прибыльности, PI	128,86
Себестоимость электроэнергии, руб/кВт*ч	0,16
Удельные капиталовложения ,руб/кВт	10016,15

7.6 Анализ чувствительности

Анализ чувствительности — заключается в оценке влияния изменения исходных параметров проекта на его конечные характеристики, в качестве которых используется индекс прибыльности или PI .

В качестве варьируемых исходных переменных принимается:

- ставка дисконтирования ;
- ставки налогов;
- объем инвестиций ;

- цена сбыта.

Ставка дисконтирования – это процентная ставка, используемая для пересчёта будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости.

Инвестиции - вложения капитала с целью получения прибыли. Если проект убыточен - инвестиции могут быть утрачены полностью или частично.

Сбыт (оборот, объём продаж) - количество денежных средств или иных благ, получаемых компанией за определённый период её деятельности.

Результаты анализа показаны на рисунках 7.2-7.5.

При анализе графиков чувствительности было выявлено, что при увеличении ставки дисконтирования, ставки налогов, объема инвестиций и заработной платы работников индекс прибыльности падает. При этом , при увеличении цены сбыта, индекс прибыльности возрастает.

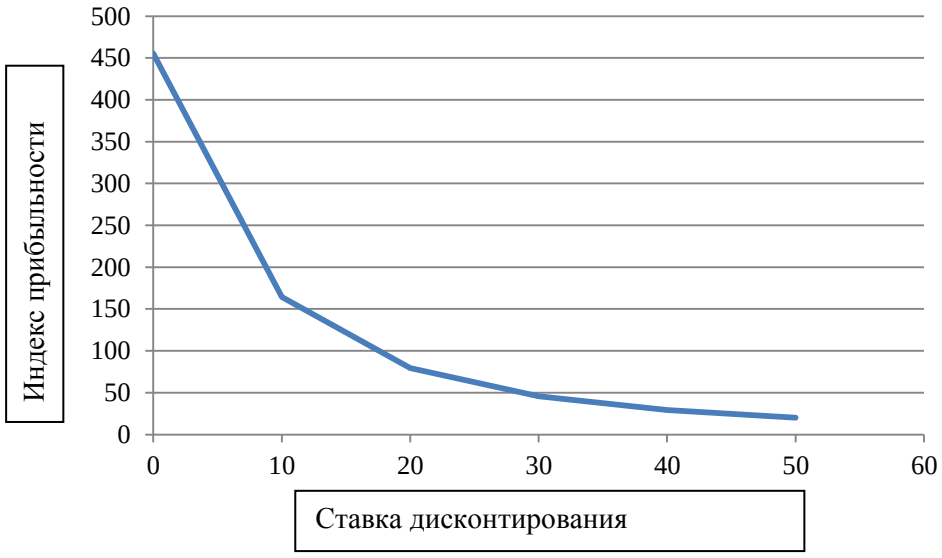


Рисунок 7.2 - Оценка чувствительности PI от ставки дисконтирования

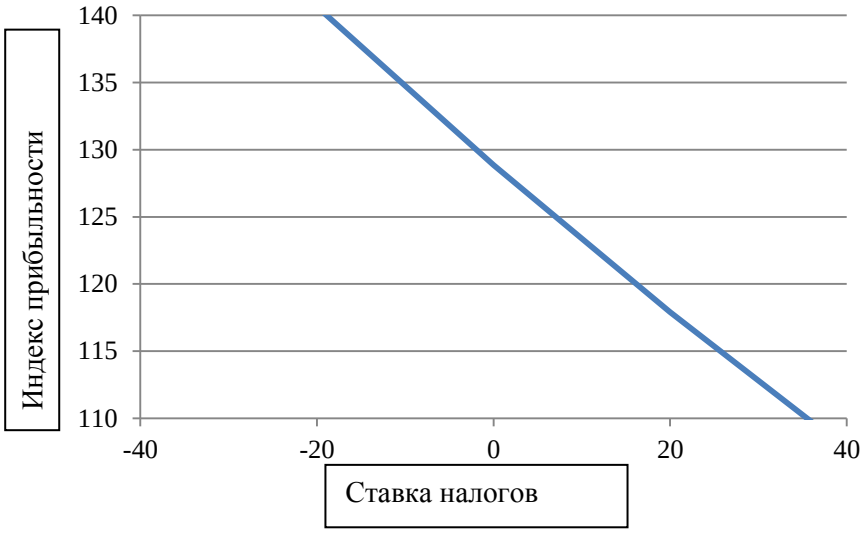


Рисунок 7.3 - Оценка чувствительности PI от ставки налогов

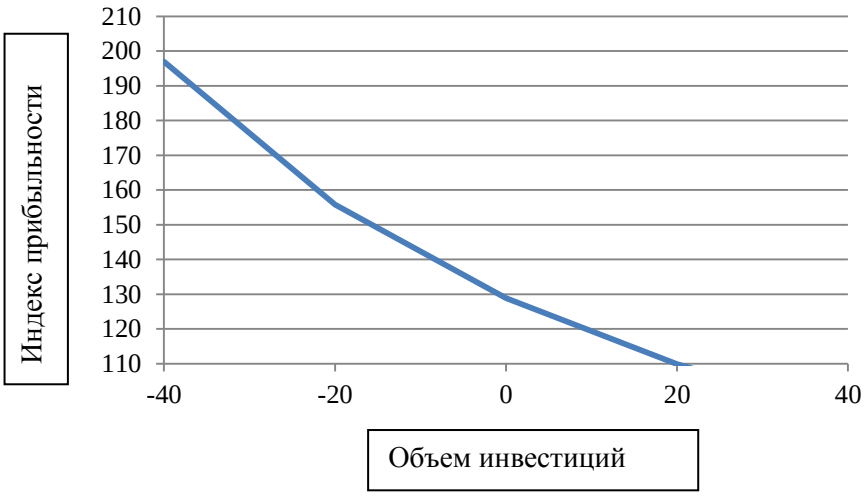


Рисунок 7.4 - Оценка чувствительности PI от объема инвестиций

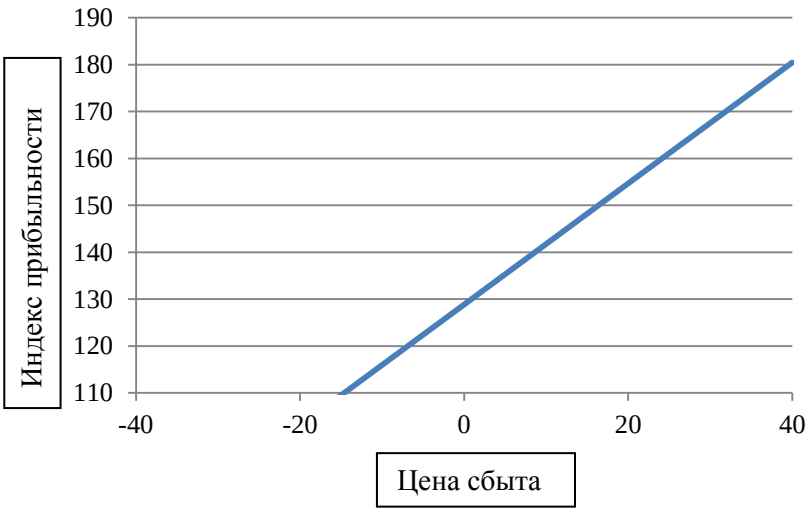


Рисунок 7.5 – Оценка чувствительности PI от цены сбыта

8 Расчет стабилизированной осадки грунтовой плотины

Стабилизированные осадки – это суммарные конечные осадки в грунтовых плотинах, состоящие из двух частей: осадок искусственно уплотняемого тела плотины и не уплотняемого основания [32].

Осадка основания – это вертикальное перемещение поверхности грунта, обусловленное весом тела плотины.

Учет осадок в грунтовых плотинах необходим по двум причинам. В результате осадок, во-первых, происходит понижение отметки гребня плотины, во-вторых, увеличивается объем грунта, укладываемого в тело плотины.

Осадка в грунтах является результатом сближения его частиц между собой, что характеризует уменьшение пористости. Но сближение частиц грунта начинается после того, как произойдет отток воды, заполняющей поры. Следовательно, чем меньше коэффициент фильтрации, тем более продолжительное время длится осадка. В глинистых грунтах осадка протекает достаточно долго, в песчаных и гравелистых- быстро и оканчивается в период строительства плотины.

Расчет осадки основания производится методом элементарного послойного суммирования, в условиях невозможности бокового расширения грунта:

$$S = \frac{h_{ак} \cdot (e_1 - e_2)}{1 + e_1} \tag{8.1}$$

где S – стабилизированная осадка;

$h_{ак}$- глубина сжимаемого слоя в пределах активной зоны;

e_1- коэффициент пористости грунта до приложения нагрузки, то есть до возведения плотины (в естественном состоянии);

e_2- коэффициент пористости грунта после приложения нагрузки, то есть после возведения плотины.

Эта зависимость справедлива для условий плоской задачи, то есть при сплошной равномерно распределенной нагрузке, расположенной на неограниченной площади. Считается, что трапецеидальная нагрузка тела грунтовой плотины отвечает этому условию.

Коэффициент пористости грунта (е) определяется по компрессионной кривой.

Компрессионная кривая для определенного грунта, выражающая зависимость между коэффициентом пористости грунта и давлением на грунт, определяется в результате эксперимента, в лабораторных условиях при сжатии образца грунта без бокового расширения на приборе, называемом одометром.

При отсутствии результатов испытаний для построения компрессионной кривой используется предложенная Н.Н. Ивановым зависимость, которая характеризует изменение пористости грунта от значения приложенной нагрузки:

$$e = e_1 - \frac{2.3}{B} \cdot \log P \qquad (8.2)$$

где e_1 =0,65– коэффициент пористости для глины (таблица 8.1);

B=15- безразмерный коэффициент, характеризующий сжимаемость грунта и не зависящий от нагрузки (таблица 8.1);

P- давление на грунт, кг/см^2.

Задав давление (P) на грунт от 1 до 5 кг/см^2.

Изменение пористости глинистого грунта в зависимости от давления представлено в таблице 8.2 и на рисунке 8.1.

Таблица 8.1 – Значения коэффициентов e_1 и B.

Грунты	e_1	B
Суглинки средней плотности и глинистые	Более 0,65	10-15

Таблица 8.2- Изменение пористости глинистого грунта в зависимости от давления

P,кН/м^2	e
1	0,65
1,5	0,62
2	0,60
2,5	0,59
3	0,58
3,5	0,57
4	0,56
4,5	0,55
5	0,54

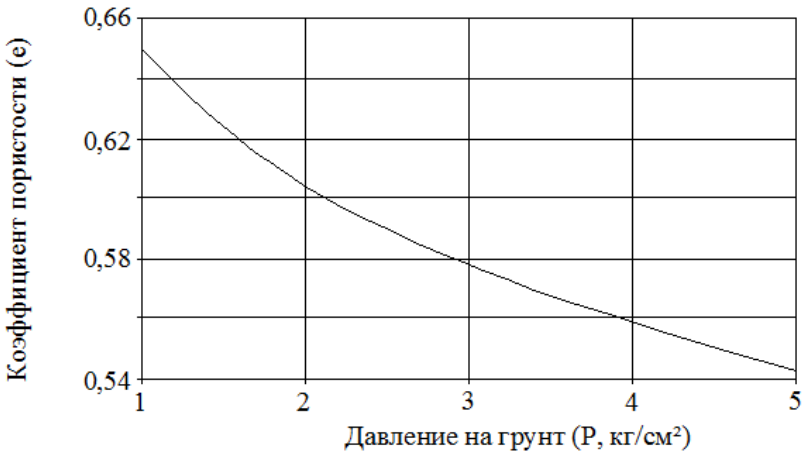


Рисунок 8.1 - Компрессионная кривая для глины

Согласно теории распределения напряжений в грунте от внешней нагрузки с глубиной напряжения постепенно уменьшаются и на некотором удалении от поверхности уже не оказывают влияния на осадку. По этой

причине осадку рассматривают в пределах так называемой активной зоны, ограничивающей толщу сжимаемых грунтов. Граница активной зоны принимается на глубине, где уплотняющее напряжение равно :

$$P = 0{,}2 \cdot P_{нач} \tag{8.3}$$

где $P_{нач}$ – бытовое напряжение до возведения плотины (рисунок 8.3).

Бытовое напряжение в середине сжимаемого грунта основания плотины в естественном состоянии определяется по формуле:

$$P_{нач} = \gamma_{вз} \frac{h_{ак}}{2} = 12 \cdot \frac{90}{2} = 540 \text{ кН/м}^2, \tag{8.4}$$

где $\gamma_{вз} = 12$ кН/м^3– удельный вес глины во взвешенном состоянии;

$h_{ак} = 90$ м – предварительно заданная активная глубина сжимаемого слоя.

Для определения уплотняющих напряжений использован метод Н.А. Цитовича, согласно которому поперечный профиль плотины поделен на три фигуры: левый треугольник, средняя часть (прямоугольник) и правый треугольник (рисунок 8.2).

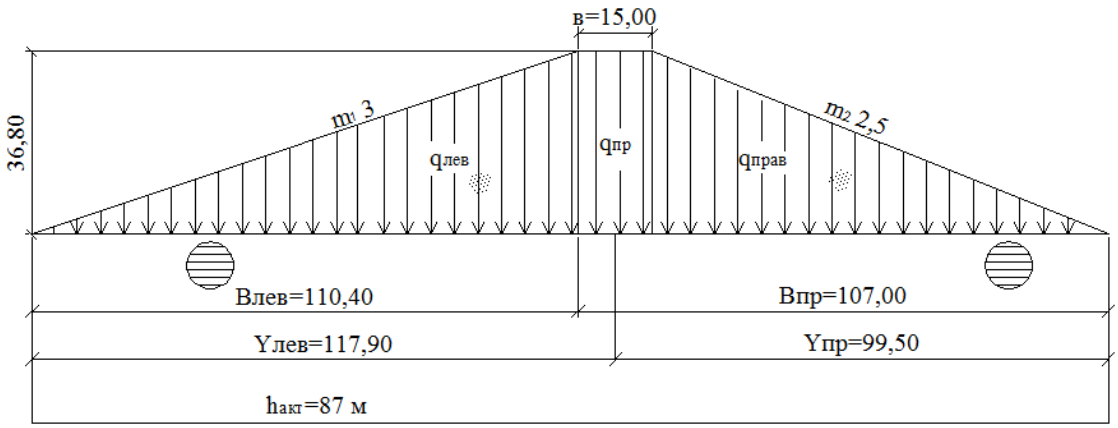


Рисунок 8.2- Схема для расчета стабилизированной осадки основания грунтовой плотины

По отношениям Z/B и Y/B (B- ширина по основанию выделенных фигур, Z и Y – соответственно глубина слоя основания и расстояние от центра гребня плотины до точек сопряжения откосов с основанием плотины) определяются напряжения, выраженные в долях от равномерно распределенной нагрузки.

Напряжение в точке В на подошве по центру гребня:

$$P_B = \gamma_п^{ест} \cdot H_{пл} = 18 \cdot 36{,}8 = 662{,}4 \text{ кН/м}^2. \tag{8.5}$$

Напряжение в точке С ,на границе сжимаемого основания, найдено как сумма трех отдельных нагрузок: от левого и правого треугольников и от средней части.

Напряжение от нагрузки левого треугольника P_1:

$$\frac{Z}{B} = \frac{h_{ак}}{m_1 \cdot Н_{пл}} = \frac{90}{3 \cdot 36.8} = 0.82, \quad (8.6)$$

$$\frac{Y}{B} = \frac{m_1 \cdot Н_{пл} + b/2}{m_1 \cdot Н_{пл}} = \frac{3 \cdot 36.8 + 15/2}{3 \cdot 36.8} = 1.07, \quad (8.7)$$

где b=15 м – ширина плотины по гребню.

По [таблица 3.42 ,32] σ_{z1}=0.164 , тогда:

$$P_1 = \sigma_{z1} \cdot P_В = 0{,}164 \cdot 662{,}4 = 108{,}6 \text{ кН/м}^2. \quad (8.8)$$

Напряжение от средней части плотины :

$$\frac{Z}{B} = \frac{h_{ак}}{b} = \frac{90}{15} = 6, \quad (8.9)$$

$$\frac{Y}{B} = \frac{0}{15} = 0. \quad (8.10)$$

По [таблица 3.41 ,32] σ_{z2}=0.11, тогда

$$P_2 = \sigma_{z2} \cdot P_В = 0{,}11 \cdot 662{,}4 = 72{,}86 \text{ кН/м}^2. \quad (8.11)$$

Напряжение от нагрузки правого треугольника:

$$\frac{Z}{B} = \frac{h_{ак}}{m_2 \cdot Н_{пл}} = \frac{90}{2{,}5 \cdot 36.8} = 0.98, \quad (8.12)$$

$$\frac{Y}{B} = \frac{m_2 \cdot Н_{пл} + b/2}{m_2 \cdot Н_{пл}} = \frac{2{,}5 \cdot 36.8 + 15/2}{2{,}5 \cdot 36.8} = 1.08, \quad (8.13)$$

По [таблица 3.42 ,32] σ_{z3}=0.048 , тогда:

$$P_3 = \sigma_{z3} \cdot P_В = 0{,}048 \cdot 662{,}4 = 31{,}79 \text{ кН/м}^2. \quad (8.14)$$

Полное напряжение с точке С:

$$P_С = P_1 + P_2 + P_3 = 108{,}6 + 72{,}86 + 31{,}79 = 213{,}25 \text{ кН/м}^2. \quad (8.15)$$

Границей активной зоны является точка пересечения линий, ограничивающих эпюры бытового ($0{,}2P_{нач}$) и уплотняющего напряжений (рисунок 8.3). Для проектируемой плотины граница сжимаемого основания находится на глубине 87 м от подошвы плотины.

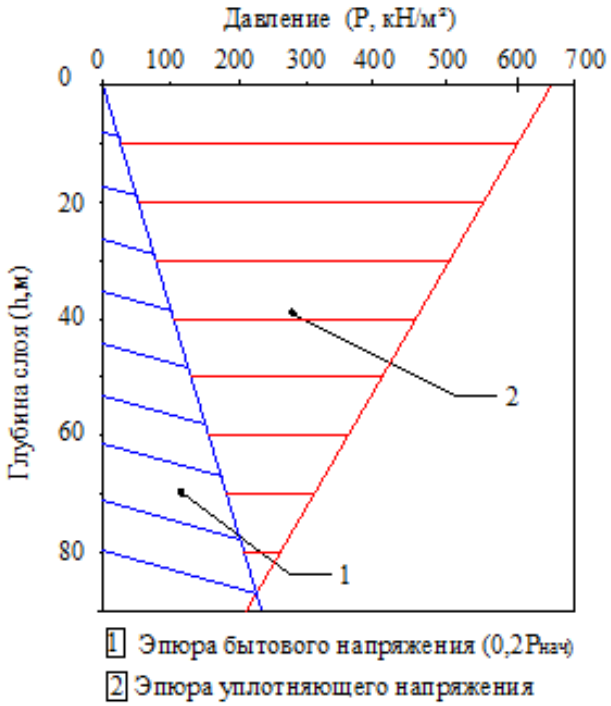


Рисунок 8.3 – Эпюры напряжений

После нахождения активной глубины необходимо произвести повторный расчет напряжений в точке С(рисунок 8.4).

Фигуры профиля плотины	Напряжение от нагрузки , кН/м²	Напряжение на границе сжимаемого слоя , кН/м²	Напряжение на контакте с основанием , кН/м²
Левый треугольник	145,7	337,76	662,4
Прямоугольник	72,86		
Правый треугольник	119,2		

Рисунок 8.4 – Эпюры бытового и уплотняющего напряжений

В среднем в грунте основания под гребнем плотины напряжение с учетом первоначального напряжения $P_{нач}$:

$$P_{ср} = \frac{P_B + P_C}{2} + P_{нач} = \frac{662,4+337,76}{2} + 522 = 1002,08\ кН/м^2 \qquad (8.16)$$

По компрессионной кривой при $P_{ср} = 1002,08\ кН/м^2$ средневзвешенный коэффициент пористости составил e_2=0,538 (рисунок 8.1).

Средневзвешенный коэффициент пористости грунта основания плотины при $P_{нач} = 522$ кН/м^2 , определенный по компрессионной кривой (рисунок 8.1) составляет e_1=0,515.

Величина полной осадки основания под гребнем плотины:

$$S = \frac{87 \cdot (0{,}538 - 0{,}515)}{1 + 0{,}538} = 1{,}3 \text{ м} \qquad (8.17)$$

Осадка тела плотины, уплотняемого в соответствии с компрессионной кривой, практически отсутствует. Рекомендуется учитывать осадку тела плотины равной 0,01$H_{пл}$ [12]. Для проектируемой плотины высотой 36,8 м она составит 0,368 м.

Общая осадка тела плотины и основания :

$$S_{об} = 1{,}3 + 0{,}368 = 1{,}668 \text{ м}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте запроектирован Вяткинский гидроузел энергетического назначения, расположенный в Кировской области на реке Вятка, протяженностью 1314 км, с площадью водосбора бассейна –129 тыс. км^2.

В результате анализа топографических и геологических условий для строительства Вяткинского гидроузла был выбран оптимальный вариант расположения створа на расстоянии 30 км от устья и в 10 км вверх по течению реки от города Мамадыш. Ширина створа характеризуется коэффициентом створности более 3, что позволяет отнести его к категории широких.

Берега выбранного створа относительно пологие и симметричные.

В районе гидроузла залегают глинистые грунты, пески и суглинки, которые в дальнейшем будут использоваться для строительства основных сооружений гидроузла. Щебень, гравий для изготовления бетона будет доставляться к месту строительства из карьеров поблизости.

Согласно СНиП 2.06.06-85 Плотины бетонные и железобетонные в составе Вяткинского гидроузла, в соответствии с коэффициентом створности, предварительно выбран тип возводимого водосбросного сооружения – гравитационная массивная плотина.

Климат района строительства Вяткинского гидроузла относится к умеренно-континентальному. Средняя годовая температура составляет 2-3,1 °С, абсолютный минимум -44-48 °С , абсолютный максимум +37-40 °С. Годовая сумма осадков 460 -540 мм. Тип питания реки снеговой. В створе гидроузла сезон наименьшей водности наблюдается с июля по март и характеризуется максимальным расходом $Q_{мах} = 993$ м^3/с. Сезон набольшей водности наблюдается с апреля по июнь, максимальный расход равен $Q_{мах} = 2500$ м^3/с.

Расчетная глубина промерзания грунта равна 1.7 м.

Расчетные скорости ветра определенных вероятностей превышения, используемые при расчете параметров волн, ветрового наката, и превышения отметки грунтовой плотины над расчетным уровнем, для основного и особого сочетания нагрузок и воздействий равны 17 м/с и 9 м/с соответственно.

Согласно СНиП 33-01-2003 в зависимости от высоты плотины (39м), типа основания (глина) и социально экономических последствий в случае разрушения или неправильной эксплуатации назначается I класс будущих гидротехнических сооружений .

Напорный фронт образуют :

– здание ГЭС с монтажной площадкой длиной 30 м.

– водосбросная бетонная плотина с поверхностным водосливом практического профиля, с шириной водосливного фронта 64 м;

– правобережная и левобережная насыпные грунтовые плотины из песка с противофильтрационным устройством в виде центрального ядра из суглинка, общей длиной по гребню 152 м.;

У правого берега располагается водосливная плотина, а у левой русловое здание ГЭС. Сопряжение бетонной плотины со зданием ГЭС осуществляется с

помощью раздельной стенки, которая в сторону нижнего бьефа продлевается за водобой. Сопряжение бетонных частей гидроузла с грунтовой плотиной осуществляется с помощью сопрягающих устоев.

По результатам водно-энергетических расчетов на основе исходных данных по энергосистеме и гидрологии установленная мощность составила 432 МВт, отметка уровня мертвого объема 47,8 м, среднемноголетняя выработка электроэнергии 2,88 млн. МВт·ч.

Было определено оптимальное число и тип гидроагрегатов электростанции. Для этого была построена область допустимых режимов работы (режимное поле по напору и расходу), на которой определены следующие напоры:

Максимальный H_{max} = 30,0 м;
Расчетный $H_{расч}$ =19,6 м;
минимальный H_{min} = 17,7 м.

Максимальный расход Q_{max} через шесть гидроагрегатов ГЭС с диметром рабочего колеса 7,5 м, соответствующий расчетному напору, составляет 2580 $м^3/с$.

Для выбранной поворотно-лопастной турбины (ПЛ30а-В-750) с синхронной частотой вращения 78,9 об/мин был рассчитан гидрогенератор СВ-1200/80-76,05 с номинальной активной мощностью 80 МВт.

Значения максимальных расчетных расходов для основного, обеспеченностью 0,1% и поверочного, обеспеченности 0,01% случаев: $Q_{0,1\%}$ = 4561 $м^3/с$, $Q_{0,01\%}$ = 5061 $м^3/с$.

Расчетная пропускная способность водопропускного сооружения с 4-мя водосливными пролетами составляет 3061 $м^3/с$.

Оптимальный удельный расход воды, определяющий конструкцию водосбросного сооружения, сопряжение бьефов и его крепление равен $q = 58{,}1\ м^3/с$.

Профиль плотины, с максимальной высотой 39 м, возводимой на глинистом основании, представлен треугольником с вершиной на отметке НПУ и вертикальной напорной гранью при заложении низовой грани равном 1,2.

Оголовок плотины очерчен по координатам Кригера- Офицерова.

Ширина подошвы плотины составляет 62 м.

Во избежание недопустимо больших напряжений в различных частях бетонной плотины на глинистом основании, для которого характерно длительное деформирование под нагрузкой и большая вероятность неравномерности осадок плотина разрезается межсекционными сквозными швами по быкам . В продольном направлении плотина разрезается межстолбчатыми швами. Минимальный размер блока 18×20,7 м.

В плотине располагается одна продольная галерея (отметка ∇23,6 м) размером 2 × 3 м, предназначенная не только для сбора профильтровавшейся через напорный фронт воды, но и для производства ремонтных работ,

выполнения визуальных осмотров в эксплуатационный период и размещения контрольно - измерительной аппаратуры.

Вдоль напорной грани плотины предусматривается дренаж в виде вертикальных скважин (дрен), имеющих выходы в смотровые шахты.

В качестве противофильтрационных устройств используется анкерный понур, предназначенный не только для снижения фильтрационного давления в основании, но и для восприятия части силы, сдвигающей плотину в сторону нижнего бьефа, и подплотинные зубья, расположенные в фундаментной плите с верховой и низовой стороны.

Предусмотрено устройство обратного фильтра под всей площадью водобоя и рисбермы, плотины , а также под анкерным понуром, так же утраивается вертикальный дренаж для сбора и отвода профильтровавшейся воды.

Гидравлический прыжок в нижнем бьефе затоплен, поэтому устройство дополнительных гасителей не требуется, при этом остается необходимым устройство водобоя длиною 58.1 м.

Проведена проверка устойчивости против всплытия предварительно назначенной толщины плит крепления водобоя, равной 5 м.

На рисберме крепление в направлении потока облегчается, уменьшаясь от 2,1 до 1,4 м.

Концевой участок рисбермы выполнен в виде ковша глубиной 6,2 м.

Правильность запроектирования параметров гравитационной плотины на нескальном основании и подземного контура обоснована расчетами на общую прочность и устойчивость по первой группе предельных состояний на сокращенный состав нагрузок для основного и особого их сочетания.

В результате расчетов было установлено, что все условия прочности гравитационной плотины при действии эксплуатационных нагрузок соблюдаются, коэффициент устойчивости плотины против плоского сдвига по основанию составляет 1,27 при нормативном коэффициенте надежности по ответственности 1,25.

Основные параметры грунтовой плотины назначены с учетом успешной работы плотин - аналогов.

Откосы принимаются с постоянным заложением по высоте плотины: верховой 3, низовой 2.5.

Для защиты верхового откоса от волнового воздействия и льда выполняется крепление в виде железобетонных сборных плит толщиной 2 см.

Под креплением из сборных плит на откосах из песчаных грунтов предусматривается однослойный обратный фильтр.

Верхней границей основного крепления является отметка гребня плотины. Нижняя граница назначается от минимального уровня водохранилища на глубине $h = 2h_{1\%} = 2 \cdot 2.17 = 4.34$ м.

При низовой призме из песчаных грунтов применяется способ крепления - залужение, заключающийся в создании искусственного дернового покрова за счет посева многолетних трав.

По высоте грунтовой плотины располагаются бермы, на верховом откосе в количестве 2 через 10 м по высоте плотины для создания упора. На низовом откосе устраивается одна берма для надзора и ремонта, проезда, выводов КИА.

Толщина ядра в верхней части, равная 3 м, увеличивается к подошве до 9 м, чтобы градиенты напора, принимаемые для суглинков, удовлетворяли фильтрационной прочности. Превышение верха ядра над ФПУ – 0,5 м.

Ширина гребня плотины (отметка ∇58,8 м), равная 15 м принята из условий расположения на нем автомобильной дороги I категории. Проезжая часть гребня плотины укрепляется одеждой. Ограждение на гребне располагается на расстоянии не более 0,5 м от бровки гребня.

Отметка грунтовой плотины, назначенная с учетом его возвышения над расчетными уровнями воды, проектируется с учетом строительного подъема, назначенного сверх расчетного возвышения.

Для исключения фильтрационной деформации грунта тела и основания плотины и повышения устойчивости откосов, предусмотрено устройство на низовом откосе дренажного банкета из каменной наброски в русле, наслонного дренажа- в затапливаемой пойменной части, трубчатого - в пределах береговых участках реки.

Ширина дренажного банкета поверху составляет 4 м, понизу 61,9 м. Гребень банкета возвышается над максимальным уровнем нижнего бьефа на 1 м. По внутреннему откосу банкета и в основании укладывается обратный фильтр из двух слоев.

Сопряжение противофильтрационного элемента плотины с основанием осуществляется с помощью замка глубиной 3 м.

Произведен фильтрационный расчет с целью определения положения депрессионной кривой в точке выхода фильтрационного потока на дренажный банкет и фильтрационный расход через плотину .

Расчет низового откоса против оползания по методу кругло-цилиндрической поверхности скольжения подтвердил верность предварительно назначенных основных параметров поперечного профиля грунтовой плотины. Минимальный коэффициент устойчивости составляет 1.25,что не превышает нормативного коэффициента надежности по ответственности.

На данном гидроузле применяется русловая компоновка, при которой все бетонные сооружения (водосливная плотина, русловое здание ГЭС) располагаются в естественном русле реки. Для данной компоновки характерны пять этапов возведения. Срок строительства составляет 5 лет.

Для перекрытия русла применяются перемычки из местного материала-песка, добываемого в месте расположения створа.

Для перекрытия русла выбран фронтальный способ, заключающийся в одновременной отсыпке банкета по всей ширине прорана со специальных мостов.

Для осушения котлованов первой и второй очереди используется способ открытого водоотлива, который заключается в том, что откачка воды ведется непосредственно из котлована.

Строительные расходы, обеспеченности 5% , 3557 м³/сек, пропускаются через гребенку. При заделке гребенки часть расходов будет пропускаться через незаконченные турбинные блоки.

Объемы бетонных и земляных работ, равные соответственно : V=932663 $м^3$, V=398767 $м^3$.

В соответствии с действующим законодательством рассмотрены мероприятия организации безопасности ГТС. Также перечислены мероприятия по охране окружающей среды в период возведения и эксплуатации гидроузла.

По технико-экономическим расчетам были выявлены следующие показатели :

- чистый дисконтированный доход составляет 373353,3 млн.руб , что >0;
- индекс прибыльности составляет 128,86., что >1;
- проект окупается еще до его окончания, так как при сроке проекта 300 месяцев срок окупаемости составляет – 70 месяцев ;
- внутренняя норма рентабельности составляет 179,3 %, что >10%;

Таким образом, строительство Вяткинской ГЭС с установленной мощностью 432 МВт в настоящее время является целесообразным.

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. Орахелашвили Б.М. Гидромашины. Методические указания по курсовому проектированию/сост.Б.М.Орахелашвили. – 2-е изд., испр. Саяногорск: Сибирский федеральный ун-т;Саяно-Шушенский филиал, 2011. - 28 с.

3. Щавелев, Д. С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций : Справочное пособие : В 2 т. / Под ред. Ю. С. Васильева, Д. С. Щавелева. – Т. 1. Основное оборудование гидроэлектростанций. / Л. Ф. Абдурахманов, Б. Н. Ананьин [и др.] – Москва :Энергоатомиздат, 1988. – 400 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. Бальзанников М. И. Сооружение деривационной ГЭС. Выбор основных параметров и их расчет. Издательство: МЭИ, 2007 год – 64 стр.

6. Гидроэлектрические станции/Н.Н. Аршневский, М.Ф.Губин, В.Я.Карелин и др; Под ред. В.Я.Карелина, Г.И.Кривченко.-3-е изд., перераб.и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1987.-464.:ил

7.Речные гидротехнические сооружения. Проектирование бетонной водосливной плотины и грунтовой плотины в составе гидроузла : методические указания по выполнению курсового проекта и выпускной квалификационной работы/ сост. Т.А.Лыбина, Н.П.Ульянова, В.Б.Затеев.- Саяногорск;Черемушки: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал.2015.-88с.

8.Чертоусов, М. Д. Специальный курс гидравлики: учебник / М.Д. Чертоусов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Госэнергоиздат, 1949. - 407.00 с. - 21.00 тг.

9.Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам: учебное пособие для вузов /П. Г. Киселев, А. Д. Альтшуль, Н. В. Данильченко, А. А. Каспарсон, Г. И. Кривченко, Н. Н. Пашков, С. М. Слисский. – Москва : Издательство «Энергия», 1972, - 312 с.

10. Гидротехнические сооружения. Часть 1 : учебник для вузов / Л. Н. Рассказов [и др.]. – Москва : Издательство Ассоциаций строительных вузов, 2008. – 576 с.

11.СНиП 2.06.06-85. Плотины бетонные и железобетонные/Госстрой России.-М.:ГУП ЦПП,2000.-40 с.

12. СНиП 2.06.05-84*. Плотины из грунтовых материалов/ Госстрой России.-М.:ГУП ЦПП,1998.-56 с.

13.СНиП 2.06.04 – 82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)/Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 46с.

14. Телешев В.И. Организация, планирование и управление гидротехническим строительством (учебник для ВУЗов) М.: стройиздат, 1989. – 416 с.

15. СНиП 2.06.08-87 – Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]. // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

16. ГОСТ 26663-85 – Бетон тяжелый, технические условия [Электронный ресурс] .// Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

17. СНиП 2.01.01-82 – Строительная климатология [Электронный ресурс]. // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

18. Телешев В.И. Бетонные работы в гидротехническом строительстве. Часть I: Теоретические основы требований к технологии бетонных работ (учебное пособие). СПбГТУ, 1992. 108 с.

19. Правила производства бетонных работ при возведении гидротехнических сооружений ВСН81-83 Минэнерго-СССР. .

20. Галузин В.М., Комаринский М.В., Телешев В.И. – Выбор машин и оборудования для производства бетонных работ (учебное пособие). - СПбГТУ, 1995. 80 с.

21. Производство гидротехнических работ (учебник) под общей редакцией Чуракова А.И.- М. стройиздат, 1985 -623 с.

22. 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.

23.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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. СП. Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ от 01.07.1985 №3907-85.

28 .Единые сценарные условия ПАО «РусГидро» на 2016-2041 гг. (приказ ПАО «РусГидро» от 08.02.16 г. №92)

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

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

31.Часть вторая Налогового кодекса Российской Федерации от 5 августа 2000 г. N 117-ФЗ //Текст части второй Налогового кодекса опубликован в "Российской газете" от 10 августа 2000 г. N 153-154.

32. Нестеров М.В. Гидротехнические сооружения:учеб.пособие / М.В.Нестеров.- Мн.: Новое знание, 2006.-616с.:ил.-(Техническое образование).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Водоэнергетические расчеты

Таблица А.1 - Гидрологический ряд наблюдений среднемесячных расходов р.Вятка в створе Вяткинской ГЭС за период с 1948 по 2013гг, $м^3/с$

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1948	846	995	1018	1223	1500	1600	1400	1300	1197	1088	569	452
1949	769	920	1029	1673	1850	2050	1760	1242	1224	1008	412	424
1950	693	881	935	1100	2100	1900	1507	1193	1332	936	372	382
1951	688	769	928	1180	1195	1026	1002	1023	768	653	364	357
1952	756	890	1043	1081	2080	1650	1423	1600	1242	936	419	387
1953	703	804	921	1152	1080	1043	1006	933	810	700	387	310
1954	745	885	978	1903	2321	2125	1458	1629	1265	1017	527	484
1955	557	709	910	1120	1170	1092	933	856	960	966	331	354
1956	751	876	975	1930	1883	2003	1823	1692	1302	820	518	396
1957	793	958	1057	2130	1723	3352	1980	1259	1325	1095	630	585
1958	733	924	1024	1852	2145	2652	2356	1159	1418	1158	972	500
1959	718	906	999	1853	2527	2614	2256	1728	1269	819	486	383
1960	856	926	1111	1234	2903	2800	2560	2496	2025	1106	833	581
1961	870	950	1126	1503	2534	2745	2589	2613	2052	1067	738	510
1962	716	906	1130	1600	2623	3264	948	1236	855	765	391	360
1963	819	873	966	1256	2051	3705	1068	1362	1080	909	742	531
1964	734	902	1007	1620	2542	3126	1295	1248	981	702	455	354
1965	783	981	1028	1700	2542	2583	1120	975	1476	988	539	495
1966	693	863	979	2080	2845	1990	1726	1257	1080	738	453	365
1967	675	815	989	1318	1203	1000	890	802	808	722	401	328
1968	680	814	900	1600	1500	1400	1300	1200	900	720	450	356
1969	796	839	1071	2088	2055	2735	1125	1028	1863	1908	945	513
1970	747	819	1024	2133	2687	2142	2904	1118	1647	1539	711	495
1971	679	848	948	2135	2539	2835	2168	1578	1062	747	432	297
1972	771	919	1013	2236	2969	2134	2649	1701	1251	1044	774	486
1973	695	844	975	2538	2542	2533	2897	1064	1269	936	585	392
1974	525	756	926	1320	1248	1080	916	827	819	826	402	320
1975	693	816	939	1895	1900	2121	2865	1413	918	1026	558	288
1976	722	876	989	1775	1939	2976	2106	1289	1233	1494	591	374
1977	731	917	1053	1779	2479	2654	2058	1851	1458	1305	700	367
1978	768	918	1033	1639	1243	2643	1884	1800	1125	900	636	352
1979	791	913	1031	1316	2926	2164	2259	1413	1503	916	889	585
1980	718	885	970	1791	1003	3222	2253	1563	1188	857	635	476
1981	682	885	970	2229	2928	2313	1971	1191	1062	909	495	353
1982	714	886	988	2492	2652	2673	1380	1416	850	918	779	299
1983	717	882	1022	2356	2922	2720	2399	1665	1231	1071	699	405
1984	715	881	1022	2239	2912	2732	2392	1460	1227	1070	701	405
1985	714	880	1023	2263	2901	2732	2384	1455	1223	1069	704	404
1986	713	879	1023	2287	2891	2732	2376	1451	1220	1068	706	403
1987	711	878	1023	2211	2880	2400	2368	1465	1216	1068	708	402

Продолжение приложения А

Окончание таблицы А.1

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1988	710	878	1023	2282	2870	2329	2360	1441	1212	1067	710	402
1989	708	876	1024	2159	2859	2307	2353	1437	1208	1066	712	401
1990	707	875	1024	2183	2859	2502	2345	1632	1204	1065	715	400
1991	706	874	1024	2007	2859	2523	2337	1627	1200	1064	717	399
1992	704	873	1024	2031	2859	2524	2329	1623	1196	1064	719	399
1993	703	872	1025	2055	2807	2524	2321	1618	1192	1063	721	398
1994	701	871	1025	2079	2807	2525	2314	1613	1189	1062	724	397
1995	700	870	1025	2103	2797	2525	2306	1609	1185	1061	726	396
1996	699	868	1025	2127	2786	2525	2298	1604	1181	1060	728	396
1997	697	867	1026	2151	2876	2526	2290	1599	1177	1059	730	395
1998	696	866	1026	2202	2680	2526	2282	1595	1173	1059	732	394
1999	694	865	1026	2199	2755	2527	2274	1590	1169	1058	735	393
2000	693	864	1026	2223	2744	2527	2267	1585	1165	1057	737	393
2001	692	863	1027	2247	2734	2528	2259	1581	1162	1056	739	392
2002	690	862	1027	2241	2733	2528	2251	1576	1158	1055	741	391
2003	689	861	1027	2295	2713	2528	2243	1571	1154	1055	744	390
2004	687	860	1027	2319	3000	2529	2235	1567	1150	1054	746	390
2005	686	859	1028	2343	2900	2529	2228	1562	1146	1053	748	389
2006	685	858	1028	2367	2902	2530	2220	1557	1142	1052	750	388
2007	683	857	1028	2391	2950	2530	2212	1553	1138	1051	752	387
2008	682	856	1029	2415	2963	2530	2204	1548	1135	1050	755	387
2009	680	855	1029	2439	2650	2531	2196	1543	1131	1050	757	386
2010	679	854	1029	2363	2640	2531	2189	1569	1177	1049	759	385
2011	678	856	1029	2489	2529	2436	2181	1534	1123	1048	761	385
2012	676	852	1030	2511	2519	2432	2173	1529	1119	1047	764	384
2013	675	851	1030	2536	2800	2532	2165	1525	1115	1046	766	383

Таблица А.2 – Построение эмпирических кривых обеспеченности.

m	P	Qср	годы	Qп	года	Q м	года
1	1,49	1619	1960	2628	1973	1242	1960
2	2,99	1608	1961	2599	1983	1241	1961
3	4,48	1507	1983	2571	1986	1120	1969
4	5,97	1497	1970	2570	1985	1048	1977
5	7,46	1496	1972	2569	1984	1013	1970
6	8,96	1480	1984	2528	2008	1005	1979
7	10,45	1479	1985	2521	2004	995	1972
8	11,94	1479	1986	2521	2007	986	1958
9	13,43	1464	2004	2508	2013	963	1957
10	14,93	1463	2008	2505	2006	962	1983
11	16,42	1461	2007	2500	2005	953	1990
12	17,91	1459	1990	2497	1972	952	1991
13	19,40	1457	2006	2472	1990	950	1992
14	20,90	1456	2005	2467	1970	949	1993
15	22,39	1452	2013	2465	1987	948	1994
16	23,88	1450	1997	2461	1997	946	1995

Продолжение приложения А

Окончание таблицы А.2

m	P	Qср	годы	Qп	года	Q м	Года
20	29,85	1444	1987	2442	2001	943	1998
21	31,34	1442	1994	2440	2000	942	1978
22	32,84	1442	1995	2439	1999	941	1954
23	34,33	1442	1993	2438	2002	941	1999
24	35,82	1441	1996	2436	1992	940	2000
25	37,31	1440	1999	2434	1996	939	2001
26	38,81	1440	1988	2433	1995	938	2002
27	40,30	1440	2000	2431	1991	936	2003
28	41,79	1440	2001	2431	1994	935	1984
29	43,28	1439	2003	2431	2010	935	2004
30	44,78	1439	1973	2427	1993	934	1985
31	46,27	1438	2002	2423	1998	934	2005
32	47,76	1437	2009	2419	1989	934	1987
33	49,25	1436	1998	2419	1971	933	1948
34	50,75	1429	2010	2409	2012	933	1986
35	52,24	1426	1989	2409	2011	933	2006
36	53,73	1421	2011	2374	1960	931	2007
37	55,22	1420	2012	2360	1981	930	1988
38	56,72	1414	1969	2343	1961	930	2008
39	58,21	1408	1958	2313	1959	929	1989
40	59,70	1407	1957	2299	1982	929	2009
41	61,19	1392	1979	2296	1957	928	2010
42	62,69	1380	1959	2251	1958	927	2011
43	64,18	1364	1976	2243	1977	925	2012
44	65,67	1356	1971	2199	1976	924	2013
45	67,16	1337	1982	2195	1975	916	1956
46	68,66	1332	1981	2166	1979	913	1959
47	70,15	1297	1980	2160	1966	911	1980
48	71,64	1286	1975	2146	1964	910	1963
49	73,13	1280	1963	2109	1962	909	1952
50	74,63	1278	1954	2067	1980	908	1965
51	76,12	1267	1965	2020	1963	879	1949
52	77,61	1256	1966	2001	1969	856	1982
53	79,10	1247	1956	1986	1965	845	1973
54	80,60	1247	1964	1952	1954	840	1950
55	82,09	1245	1978	1910	1956	831	1975
56	83,58	1233	1962	1852	1978	824	1971
57	85,07	1197	1949	1833	1949	818	1981
58	86,57	1126	1952	1652	1950	804	1966
59	88,06	1111	1950	1558	1952	798	1964
60	89,55	1099	1948	1450	1968	795	1962
61	91,04	985	1968	1431	1948	752	1968
62	92,54	980	1974	1141	1974	705	1955
63	94,03	970	1955	1103	1967	696	1953
64	95,52	960	1951	1101	1951	694	1951
65	97,01	956	1967	1079	1955	693	1967
66	98,51	948	1953	1070	1953	675	1974

Продолжение приложения А

Таблица А.3 - Сработка и наполнение водохранилища в маловодный год

Месяц	$Q_{быт}$	$Q_{ф}$	$Q_{п}$	$Q_{исп}$	$Q_{л}$	$Q_{пол}$	$Q_{вхк}$	$Q_{вдх}$	$Q_{гэс}$	$Q_{нб}$	ΔVкм3	$V_{н}$	$V_{к}$	$z_{вб\ нач}$	$Z_{вб\ к}$	$Z_{вб\ ср}$	$Z_{нб}$	$H_{гэс}$	$N_{гар}$	$N_{ГЭС}$ МВ	Э
9	688	2	3	2	0	681	800	117	797,5	799,5	0,3	23,6	23,2	54,0	53,8	53,9	25,7	28,0	0	191,8	138118
10	550	2	3	0	0	545	800	253	798,0	800,0	0,7	23,2	22,6	53,8	53,3	53,6	25,7	27,6	0	189,7	141122
11	344	2	3	0	0	339	600	138	476,8	478,8	0,4	22,6	22,2	53,3	53,1	53,2	24,5	28,5	117	117,0	84257
12	272	2	3	0	-3	264	300	929	1192	1194	2,5	22,2	19,7	53,1	51,3	52,2	27,1	24,9	255	255,0	189747
1	400	2	3	0	-5	390	300	908	1298	1300	2,2	19,7	17,5	51,3	49,7	50,5	27,4	22,8	255	255,0	189708
2	500	2	3	0	-7	488	600	64,5	552,5	554,5	0,2	17,5	17,4	49,7	49,6	49,6	24,8	24,6	117	117,0	78640
3	600	2	3	0	0	595	600	840	1435	1437	2,2	17,4	15,2	49,6	47,8	48,7	27,8	20,6	0	254,8	189574
4	2000	2	5	2	2	1993	950	-800	1193	1195	-2,1	15,2	17,3	47,8	49,5	48,7	27,1	21,4	0	219,4	157944
5	2500	2	5	3	5	2495	950	-1250	1245	1247	-3,2	17,3	20,6	49,5	51,9	50,7	27,3	23,2	0	248,7	185043
6	2365	2	5	4	4	2358	950	-1230	1128	1130	-3,3	20,6	23,7	51,9	54,0	52,9	26,9	25,8	0	250,7	180483
7	993	2	5	7	4	983	800	110	1093	1095	0,3	23,7	23,4	54,0	54,0	54,0	26,8	27,0	0	253,9	188873
8	917	2	5	4	0	906	800	-40	865	867,7	-0,1	23,4	23,5	54,0	54,0	54,0	26,0	27,8	0	207,0	154029

Таблица А.4 - Сработка и наполнение водохранилища для расходов средневодного года по отметкам маловодного года.

Месяц	$Q_{быт}$	$Q_{ф}$	$Q_{п}$	$Q_{исп}$	$Q_{л}$	$Q_{пол}$	$Q_{вхк}$	$Q_{вдх}$	$Q_{гэс}$	$Q_{нб}$	$\Delta V_{к}$	$V_{н}$	$V_{к}$	$z_{вб\ нач}$	$Z_{вб\ к}$	$Z_{вб\ ср}$	$Z_{нб}$	$H_{гэс}$	$N_{гар}$	$N_{ГЭС}$	Э
9	762	2	3	2	0	755	800	117	872,4	874,4	0,3	23,6	23,2	54,0	53,8	53,9	25,7	28,0	0	209,8	151082
10	730	2	3	0	0	725	800	253	978,0	980,0	0,7	23,2	22,6	53,8	53,3	53,6	25,7	27,6	0	232,5	172953
11	476	2	3	0	0	471	600	100	570,9	572,9	0,3	22,6	22,3	53,3	53,1	53,2	24,5	28,5	117	140,1	100905
12	256	2	3	0	-3	248	300	929	1177,1	1179	2,5	22,3	19,8	53,1	51,3	52,2	27,1	24,9	255	251,7	187294
1	520	2	3	0	-5	510	300	860	1370	1372	2,3	19,8	17,5	51,3	49,7	50,5	27,4	22,8	255	269,1	200231

Продолжение приложения А

Окончание таблицы А.4

Месяц	$Q_{быт}$	$Q_{ф}$	$Q_{п}$	$Q_{исп}$	$Q_{л}$	$Q_{пол}$	$Q_{вхк}$	$Q_{вдх}$	$Q_{гэс}$	$Q_{нб}$	$\Delta V_{к}$	$V_{н}$	$V_{к}$	$z_{вб\ нач}$	$Z_{вб\ к}$	$Z_{вб\ ср}$	$Z_{нб}$	$H_{гэс}$	$N_{гар}$	$N_{ГЭС}$	Э
2	576	2	3	0	-7	564	600	54	618,0	620	0,1	17,5	17,4	49,7	49,6	49,6	24,8	24,6	117	130,9	87963
3	650	2	3	0	0	645	600	840	1485	1487	2,2	17,4	15,1	49,6	47,8	48,7	27,8	20,6	0	263,7	196179
4	3500	2	5	2	2	3493	950	-800	2693	2695	-2,1	15,1	17,3	47,8	49,5	48,7	27,1	21,4	0	495,2	356534
5	4300	2	5	3	5	4295	950	-1250	3045	3047	-3,3	17,3	20,6	49,5	51,9	50,7	27,3	23,2	0	608,3	452575
6	4400	2	5	4	4	4393	950	-1230	3163	3165	-3,3	20,6	23,8	51,9	54,0	52,9	26,9	25,8	0	702,9	506088
7	1483	2	5	7	4	1473	800	110	1583	1585	0,3	23,8	23,5	54,0	54,0	54,0	26,8	27,0	0	367,7	273546
8	1068	2	5	4	0	1057	800	10	1067	1069	0,0	23,5	23,4	54,0	54,0	54,0	26,0	27,8	0	255,2	189850

Таблица А.5 - Сработка и наполнение водохранилища для расходов средневодного года по мощностям маловодного года.

Месяц	$Q_{быт}$	$Q_{ф}$	$Q_{п}$	$Q_{исп}$	$Q_{л}$	$Q_{пол}$	$Q_{вхк}$	$Q_{вдх}$	$Q_{гэс}$	$Q_{нб}$	$\Delta V_{к}$	$V_{н}$	$V_{к}$	$z_{вб\ нач}$	$Z_{вб\ к}$	$Z_{вб\ ср}$	$Z_{нб}$	$H_{гэс}$	$N_{гар}$	$N_{ГЭС}$	Э
9	762	2	3	2	0	755	800	200	955,4	957,4	0,5	23,6	23,0	54,0	53,7	53,8	26,3	27,3	0	224,5	161624
10	730	2	3	0	0	725	800	400	1125,0	1127,0	1,1	23,0	22,0	53,7	52,9	53,3	26,9	26,2	0	253,4	188501
11	476	2	3	0	0	471	600	12	482,9	484,9	0,0	22,0	21,9	52,9	52,8	52,9	24,5	28,2	117	117,0	84229
12	256	2	3	0	-3	248	300	959	1206,6	1208,6	2,6	21,9	19,4	52,8	51,0	51,9	27,1	24,6	255	255,0	189739
1	520	2	3	0	-5	510	300	807	1316,5	1318,5	2,2	19,4	17,2	51,0	49,4	50,2	27,5	22,5	255	255,0	189715
2	576	2	3	0	-7	564	600	-7	557,0	559,0	0,0	17,2	17,2	49,4	49,4	49,4	24,8	24,4	117	117,0	78626
3	650	2	3	0	0	645	600	840	1485,0	1487,0	2,2	17,2	15,0	49,4	47,6	48,5	28,0	20,3	0	259,8	193324
4	3500	2	5	2	2	3493	950	-800	2693,0	2695,0	-2,1	15,0	17,1	47,6	49,4	48,5	31,5	16,8	0	389,1	280149
5	4300	2	5	3	5	4295	950	-1250	3045,0	3047,0	-3,3	17,1	20,5	49,4	51,8	50,6	32,6	17,8	0	466,0	346715
6	4400	2	5	4	4	4393	950	-1200	3193,0	3195,0	-3,2	20,5	23,5	51,8	54,0	52,9	33,0	19,7	0	540,3	389010
7	1483	2	5	7	4	1473	800	100	1573,0	1575,0	0,3	23,5	23,2	54,0	53,8	53,9	28,3	25,5	0	344,7	256473
8	1068	2	5	4	0	1057	800	-100	957,0	959,0	-0,3	23,2	23,5	53,8	54,0	53,9	26,3	27,4	0	225,7	167906

Продолжение приложения А

Таблица А.6 - Баланс мощности энергосистемы в маловодном году

Месяц	ЭС			Существующие гэс			Проектируемая гэс			ТЭС			
	P_{tmax}	$N_н$	$N_{ав}$	$N_{раб}$	$N_н$	$N_р$	$N_{раб}$	$N_н$	$N_р$	$N_{раб}$	$N_{ав}$	$N_н$	$N_р$
1	15435	309	1080	5805	116	-	396,0	8	-	9234	646	185	-
2	15059	301	1054	5630	113	-	127,7	3	-	9301	651	186	-
3	14406	288	1008	5455	109	-	126,4	3	-	8824	618	176	-
4	13652	273	956	5280	106	-	202,4	4	-	8169	572	163	-
5	12998	260	910	5105	102	-	240,3	5	-	7653	536	153	742
6	12620	252	883	4930	99		397,5	8	-	7293	510	146	1145,3
7	12619	252	883	4930	99	493	428,1	9	-	7261	508	145	1145,3
8	12995	260	910	5105	102	493	276,9	6	72	7613	533	152	742
9	13647	273	955	5280	106	-	247,0	5	-	8120	568	162	-
10	14401	288	1008	5455	109	-	244,4	5	-	8702	609	174	-
11	15055	301	1054	5630	113	-	185,1	4	-	9240	647	185	-
12	15434	309	1080	5805	116	-	396,0	8	-	9234	646	185	-

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Основное и вспомогательное оборудование

Таблица Б.1 – Результаты расчетов параметров оборудования для различных значений D_1 гидротурбины ПЛ30а-В

D1,м	6	6,3	**6,7**	7,1	**7,5**	8	8,5	9
$\eta_т$	0,971	0,971	**0,971**	0,971	**0,972**	0,972	0,972	0,972
N'a, МВт	51044,2	56280,0	**63658,9**	71492,5	**79780,7**	90780,4	102490,7	114911,5
z' ,шт	8,5	7,7	**6,8**	6,0	**5,4**	4,8	4,2	3,8
z a, шт	9,0	8,0	**8,0**	6,0	**6,0**	6,0	6,0	4,0
Na	48000	54000	**54000**	72000	**72000**	72000	72000	108000
Δp	1,065	1,065	**1,065**	1,065	**1,065**	1,065	1,065	1,066
n'_c, об/мин	95,9	91,4	**85,9**	81,1	**76,8**	72,0	67,7	64,0
n_c ,об/мин	100,0	93,8	**88,2**	83,3	**78,9**	75,0	68,2	65,2
n'_{min}, мин$^{-1}$	138,2	136,1	**136,1**	136,2	**136,3**	138,2	133,5	135,1
n'_{ip} , мин$^{-1}$	131,3	129,3	**129,3**	129,4	**129,5**	131,3	126,9	128,4
n'_{max} , мин$^{-1}$	106,1	104,5	**104,5**	104,6	**104,7**	106,1	102,5	103,8
$Q'_I \cdot \eta_т$ (при $H_{расч.}$)	1,615	1,648	**1,457**	1,730	**1,550**	1,362	1,207	1,615
$Q'_I \cdot \eta_т$ (при H_{max})	0,853	0,870	**0,769**	0,913	**0,819**	0,719	0,637	0,853

Таблица Б.2 – Результаты расчетов параметров оборудования для различных значений D_1 гидротурбины ПЛ30б-В

D1, м	6	**6,3**	6,7	7,1	7,5	8	8,5	9
$\eta_т$	0,959	**0,959**	0,959	0,959	0,960	0,960	0,960	0,960
N'a, МВт	51882,4	**57208,2**	64714,3	72683,6	81116,0	92307,9	104223,7	116863,3
z'	8,3	**7,6**	6,7	5,9	5,3	4,7	4,1	3,7
z a,	9,0	**8,0**	8,0	6,0	6,0	6,0	6,0	4,0
Na	48000	**54000**	54000	72000	72000	72000	72000	108000
Δp	1,078	**1,078**	1,078	1,078	1,078	1,078	1,079	1,079
n'_c,	99,6	**94,8**	89,2	84,2	79,7	74,7	70,3	66,4
n_c ,	100,0	**100,0**	90,9	85,7	83,3	75,0	71,4	65,2
n'_{min}	137,4	**144,2**	139,4	139,3	143,0	137,3	138,9	134,3
n'_{ip}	130,6	**137,1**	132,5	132,4	135,9	130,5	132,0	127,6
n'_{max}	105,5	**110,8**	107,1	107,0	109,8	105,5	106,7	103,2
$Q'_I \cdot \eta_т$	1,615	**1,648**	1,457	1,730	1,550	1,362	1,207	1,615
$Q'_I \cdot \eta_т$	0,853	**0,870**	0,769	0,913	0,819	0,719	0,637	0,853

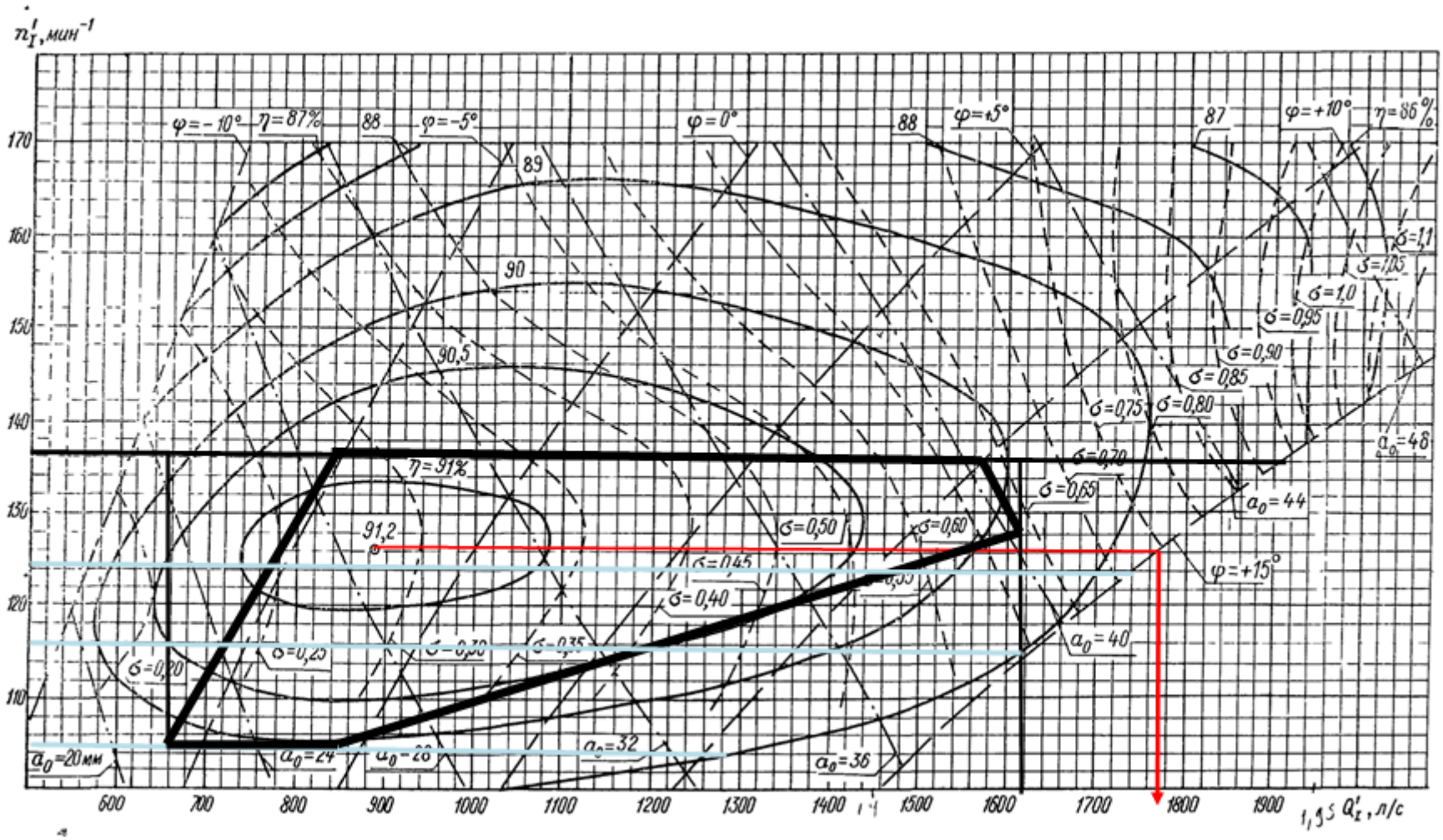


Рисунок Б.1 – Зона работы турбины ПЛ30а-В-670

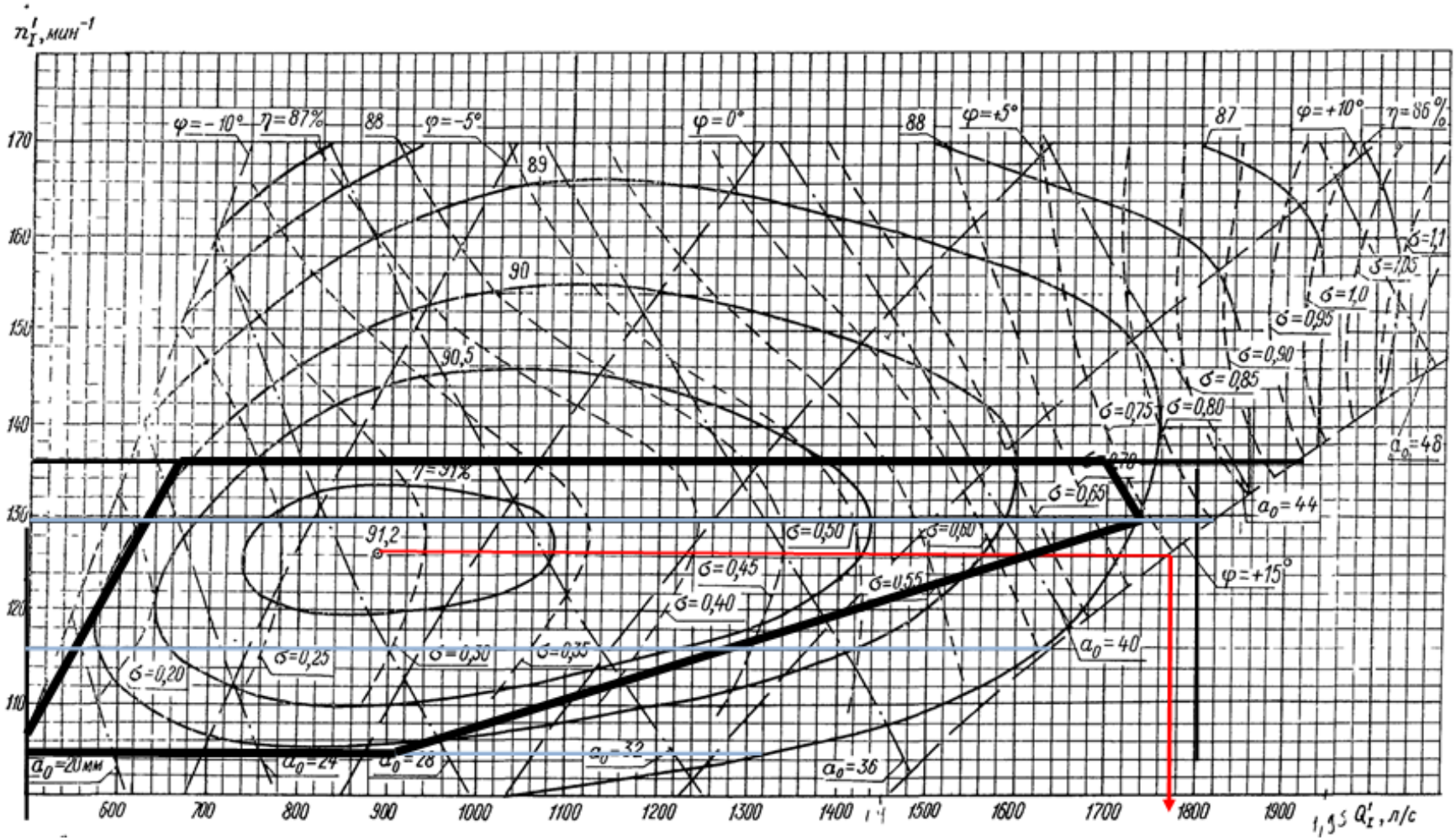


Рисунок Б.2 - Зона работы турбины ПЛ30а-В-750

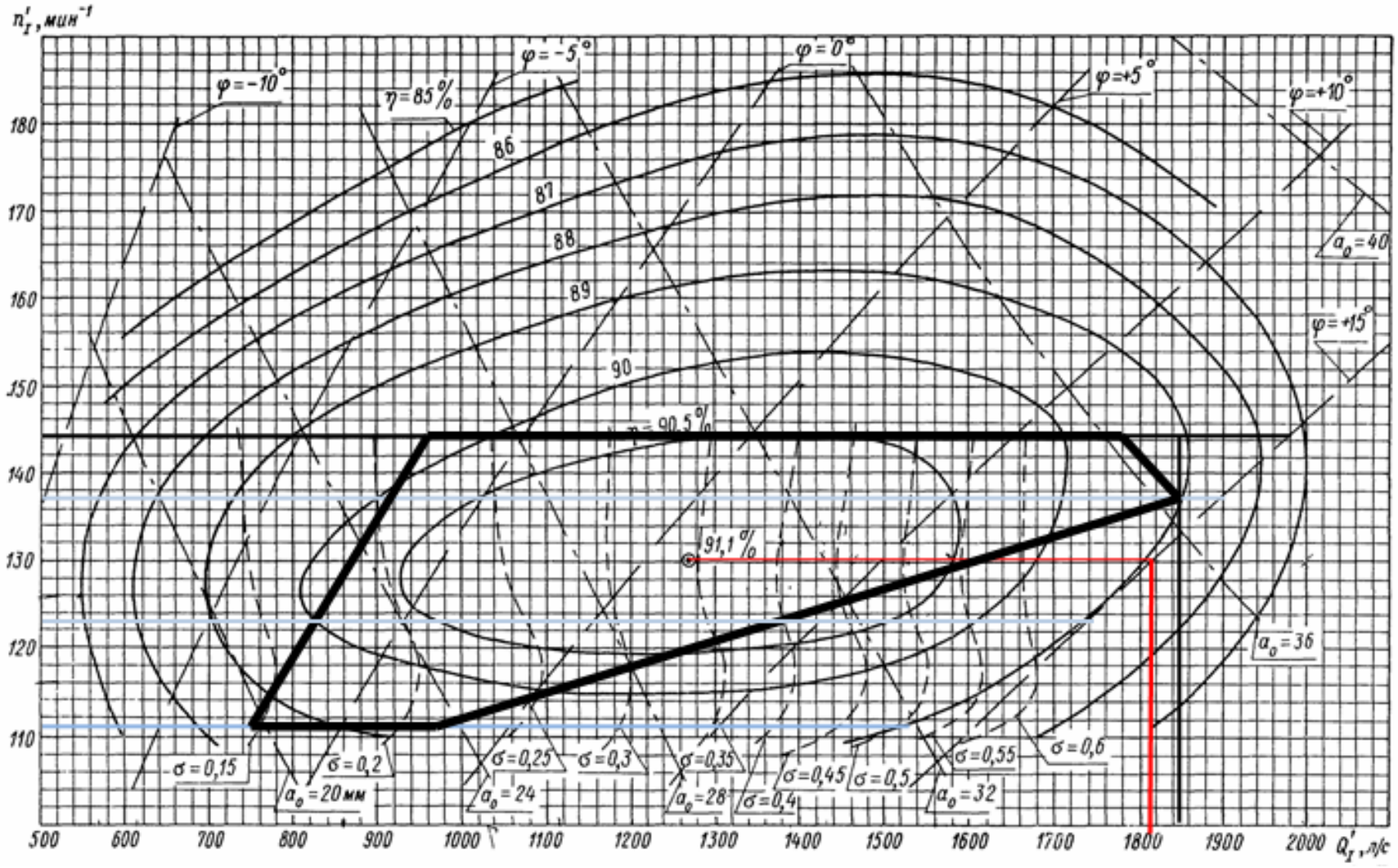


Рисунок Б.3 - Зона работы турбины ПЛ30б-В-630

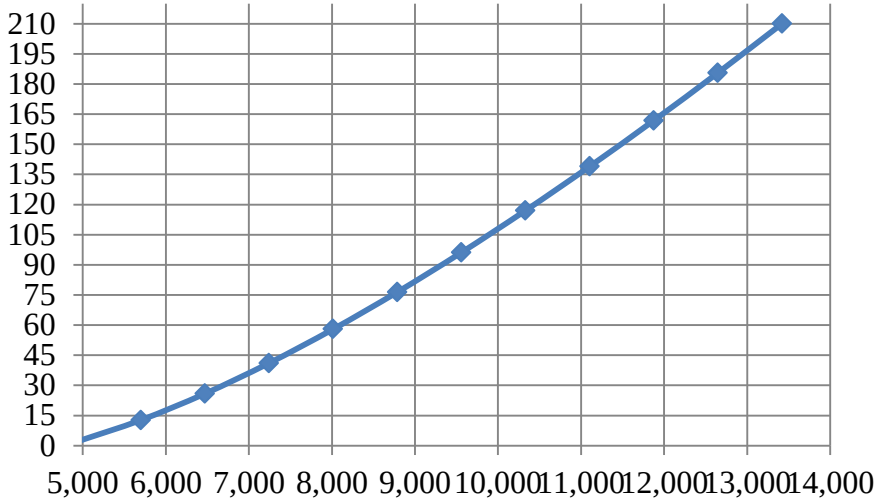


Рисунок Б.4 - График зависимости $\varphi_{сп} = f(R_i)$

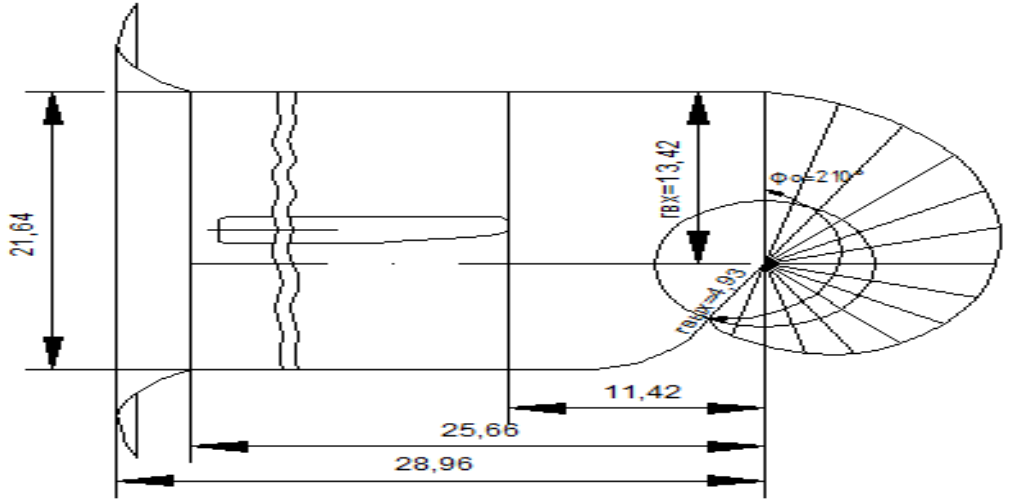


Рисунок Б.5 – План бетонной спиральной камеры

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Компоновка и сооружения гидроузла

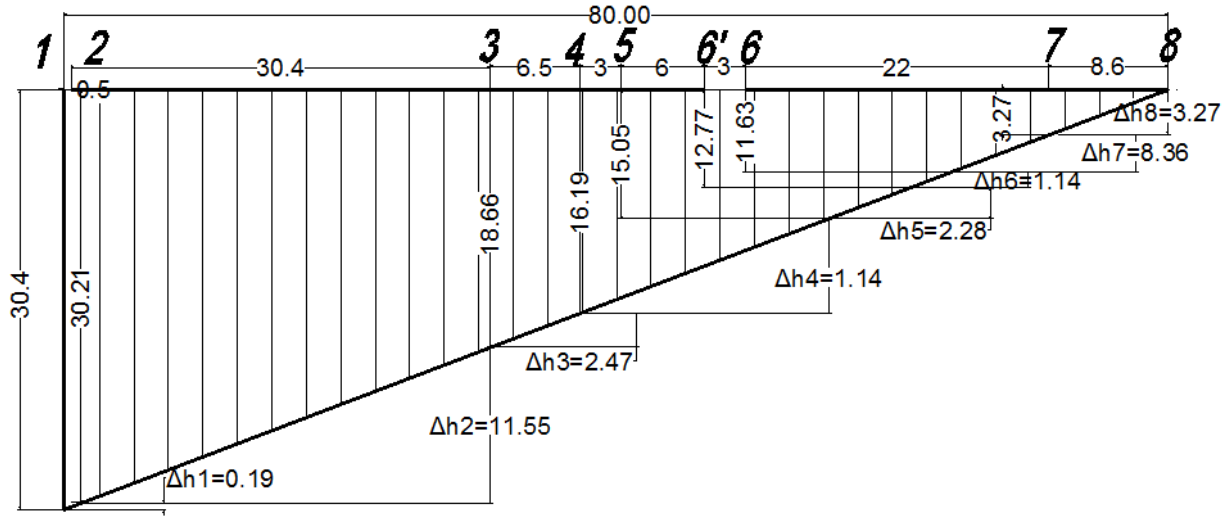


Рисунок В.1 - Треугольник потерь напора при основном сочетании нагрузок и воздействий.

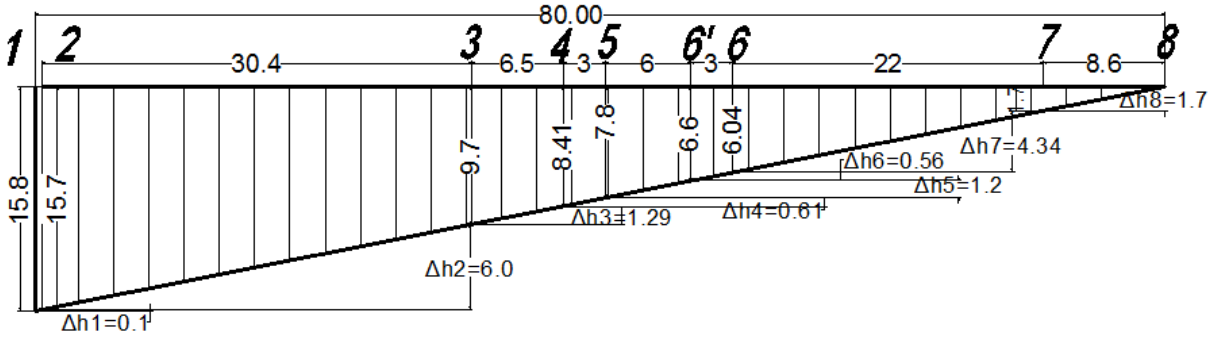


Рисунок В.2 - Треугольник потерь напора при особом сочетании нагрузок и воздействий.

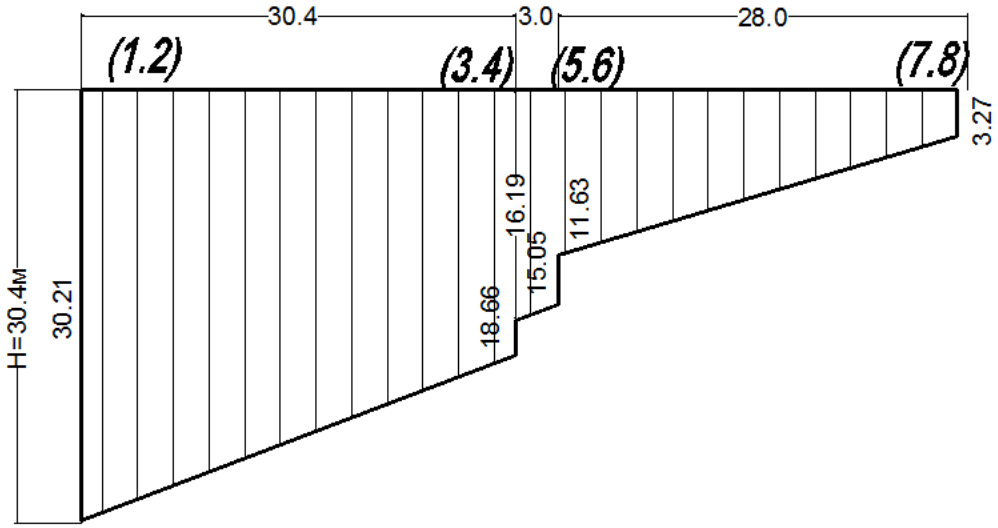


Рисунок В.3 – Эпюра фильтрационного давления на флютбет плотины при основном сочетании нагрузок и воздействий.

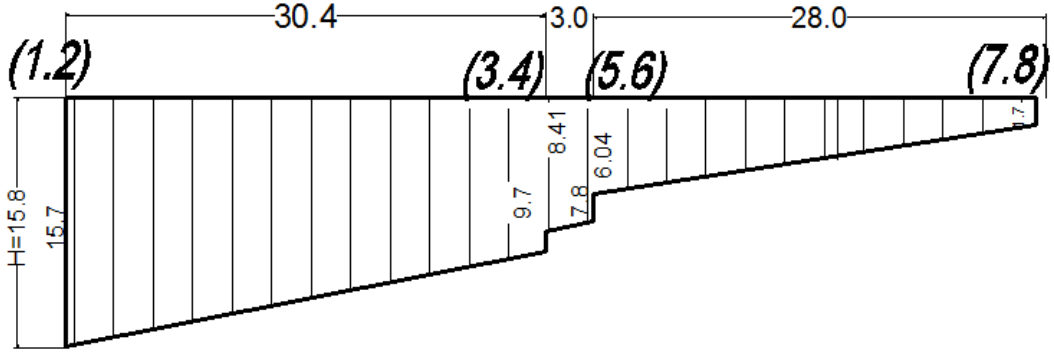


Рисунок В.4 - Эпюра фильтрационного давления на флютбет плотины при особом сочетании нагрузок и воздействий.

Таблица В.1 - Основные нагрузки на плотину

Нагрузка	Υ_f	Направление силы	Основное сочетание н.и в.			Особое сочетание н.и в		
			Сила, кН	Плечо, м	Момент, кНм	Сила, кН	Плечо, м	Момент, кНм
Wгв	1	→	7605	13	98865,0	8000	13,33	106640,0
Wгн	1	←	369,8	-2,87	-1061,3	2928,2	-7,67	-22459,3
Wвв	1	↓	5466,3	-20,02	-109435,3	6349,1	-20,03	-127172,5
Wвн	1	↓	205	26,25	5381,3	3404,1	20,24	68899,0
Gб	0,95	↓	6931,7	-2,71	-18784,9	6931,7	-2,71	-18784,9
Gпл	0,95	↓	18165,0	-2,04	-37056,7	18165,0	-2,04	-37056,7
Wвзв	1		5692	0	0,0	15365,4	0	0,0
Wф	1		3554,6	19,03	67644,0	2326,8	19,04	44302,3
Ен	1,2	→	33,08	1	33,1	33,08	1	33,1
Еа	1,2	→	31,32	2,41	75,5	31,32	2,41	75,5
Еп	0,8	←	1204,5	-1,33	-1601,9	1204,5	-1,33	-1601,9
Wволн	1	→	96,1	35,51	3413,0	7,9	39,03	306,6
Qз	0,9	↓	910,0	-2,59	-2356,9	910,0	-2,59	-2356,9
Qп	0,9	→	1402,6	0	0,0	2156,68	0	0,0
∑N		↓□	22431,4			18067,73		
∑M			5114,8			10824,30		

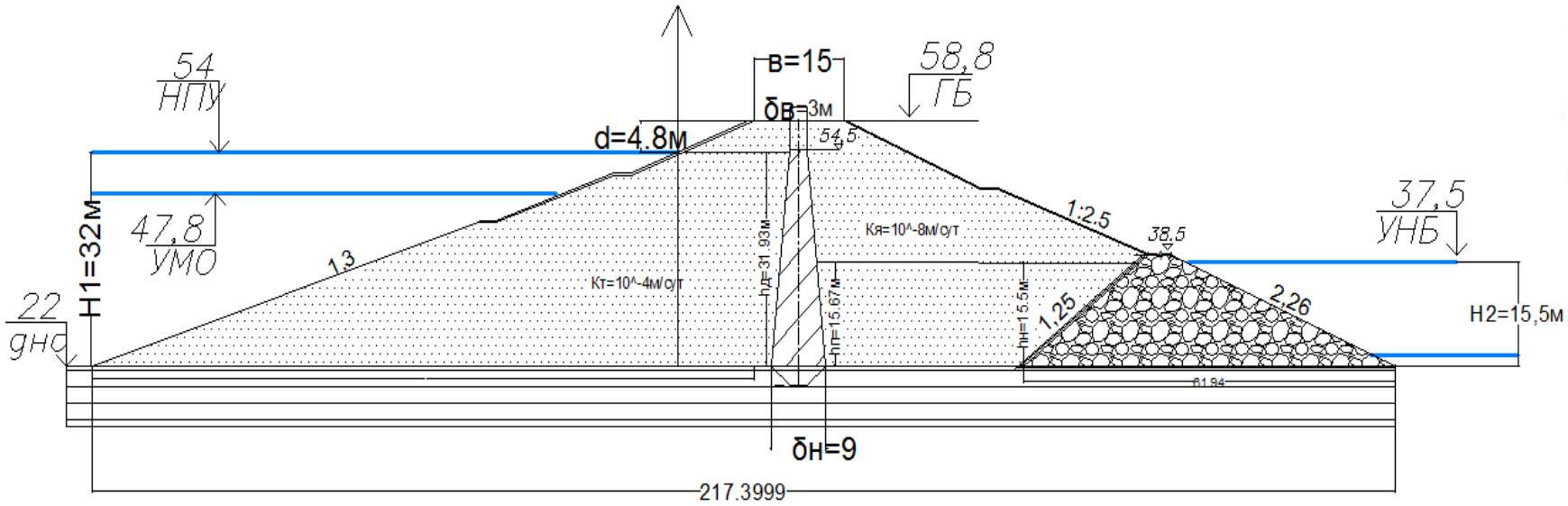


Рисунок В.5 - Положение кривой депрессии

Таблица В.2 – Расчет устойчивости низового откоса грунтовой плотины, методом круглоцилиндрической поверхности для центра О.

№ отсека	h1	h2	h3	Gn	cosαn	sinαn	Gncosαn	Gnsinαn	Pn	Cn	Cn·вп/cosαn	8-10	13·tgφ	14+12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-1	0	2,79	0,73	766,3	0,9848	-0,1736	754,6	-133,028	512,9	50	728,57	241,7	147,981	876,555
0	0	8,55	2	2307,5	1	0	2307,5	0,0	1513,9	50	717,50	793,6	348,83	1066,3
1	0	14,18	0,73	3381,4	0,9848	0,1736	3330,0	587,0	2172,6	50	728,57	1157,4	481,269	1209,8
2	4,53	12,31	0	3996,5	0,93358	0,358367	3731,0	1432,2	1892,2	0	0	1838,9	1898,87	1898,9
3	10,23	5,28	0	3551,6	0,848	0,5299	3011,8	1882,0	893,5	3	50,77	2118,3	1093,09	1143,9
4	9,95	0	0	2570,1	0,7071	0,7071	1817,3	1817,3	0,0	3	60,88	1817,3	1195,64	1256,5
							Σ	5585,5					Σ	7452,0

Таблица В.3 – Расчет устойчивости низового откоса грунтовой плотины, методом круглоцилиндрической поверхности для центра О1.

№отсека	h1	h2	h3	Gn	cosαn	sinαn	Gncosαn	Gnsinαn	Pn	Cn	Cn·вn/cosαn	8-10	13·tgφ	14+12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-1	0	5,25	10,13	2949,8	0,9848	-0,1736	2904,9	-512,083	2241,1	50	728,57	663,9	844,249	1572,82
0	0	11,1	9,4	4167,2	1	0	4167,2	0,0	2941,8	50	717,50	1225,5	1066,04	1783,5
1	1,35	15,5	8,13	5307,5	0,9848	0,1736	5226,8	921,4	3443,2	50	728,57	1783,6	1269,17	1997,7
2	7,1	15,6	4,2	6138,9	0,93358	0,358367	5731,2	2200,0	3043,4	50	768,547	2687,7	1598,26	2366,8
3	10,8	12,7	0	4976,6	0,848	0,5299	4220,1	2637,1	2149,1	3	50,77	2071,0	1843,69	1894,5
4	17,5	1,4	0	4761,3	0,7071	0,7071	3366,7	3366,7	284,1	3	60,88	3082,6	2212,47	2273,4
5	3,5	0	0	904,1	0,4848	0,8746	438,3	790,7	0,0	3	88,7995	438,3	893,883	982,7
							Σ	9403,8					Σ	11888,7

Таблица В.4 – Расчет устойчивости низового откоса грунтовой плотины, методом круглоцилиндрической поверхности для центра О2

№отсека	h1	h2	h3	Gn	cosαn	sinαn	Gncosαn	Gnsinαn	Pn	Cn	Cn·вn/cosαn	8-10	13·tgφ	14+12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-1	0	8	18,7	5056,9	0,9848	-0,1736	4980,1	-877,885	3890,6	50	728,57	1089,5	1270,48	1999,05
0	0	13,8	16,96	6089,0	1	0	6089,0	0,0	4414,1	50	717,50	1674,9	1509,63	2227,1
1	4	15,7	11,7	6652,7	0,9848	0,1736	6551,5	1154,9	3992,6	50	728,57	2559,0	1866,13	2594,7
2	9,7	15,6	11,7	7206,6	0,93358	0,358367	6727,9	2582,6	4196,3	50	768,547	2531,6	1821,44	2590,0
3	14,4	15,6	4,64	7204,8	0,848	0,5299	6109,7	3817,8	3425,0	50	846,11	2684,7	1956,86	2803,0
4	19,14	8,95	0	6485,1	0,7071	0,7071	4585,6	4585,6	1816,3	3	60,88	2769,3	2428,72	2489,6
5	6,3	4,6	0	2419,4	0,4848	0,8746	1172,9	2116,0	1361,6	3	88,7995	-188,7	807,989	896,8
-2	0	2,25	11,75	387,5	0,93358	-0,358367	361,7	-138,8	2151,9	50	768,547	-1790,2	248,415	1017,0
							Σ	13240,2					Σ	16617,2

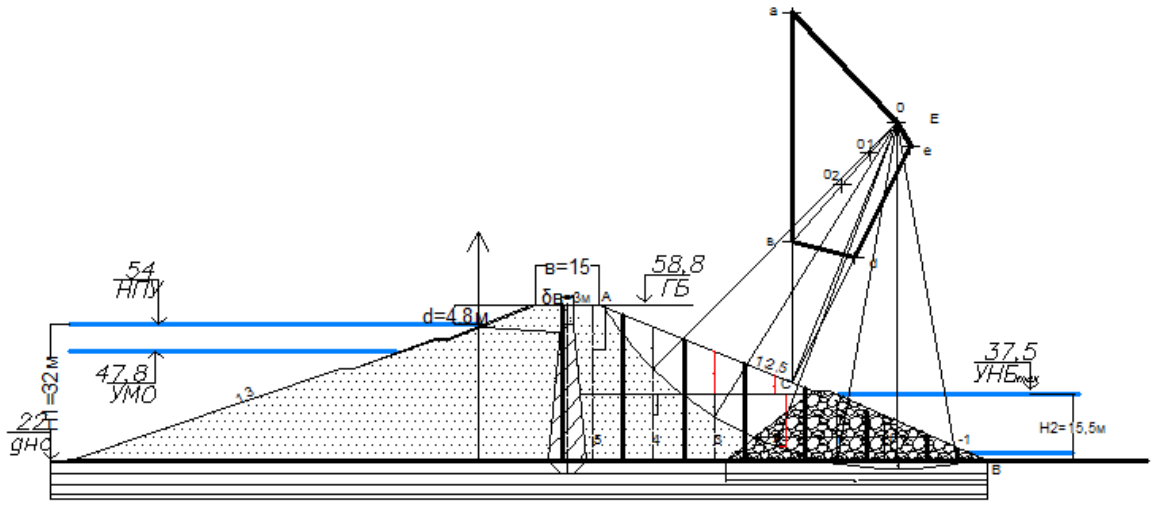


Рисунок В.6 – Положение кривой скольжения для центра О

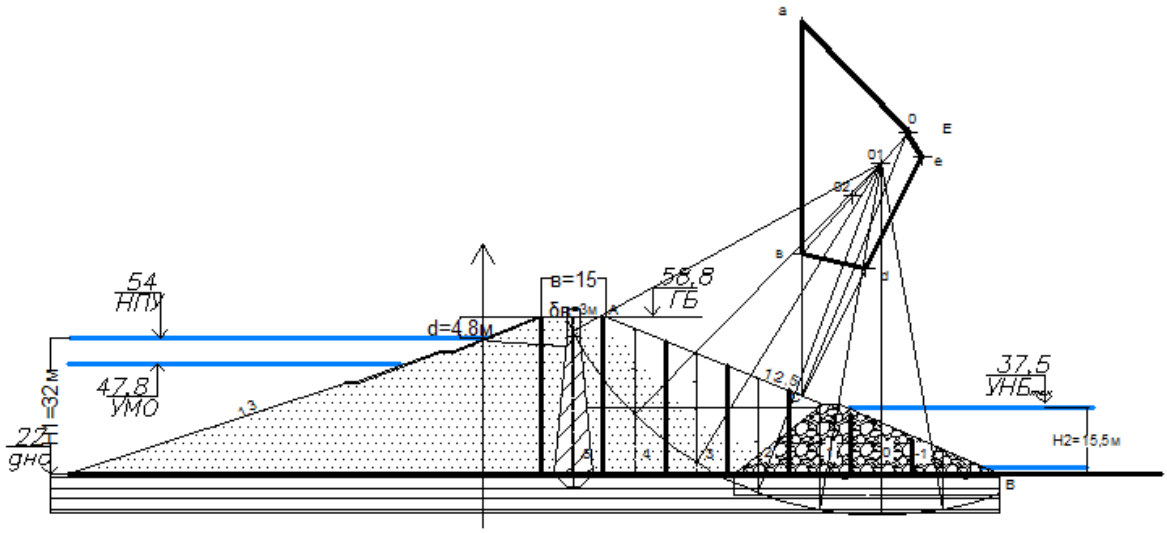


Рисунок В.7 – Положение кривой скольжения для центра О1

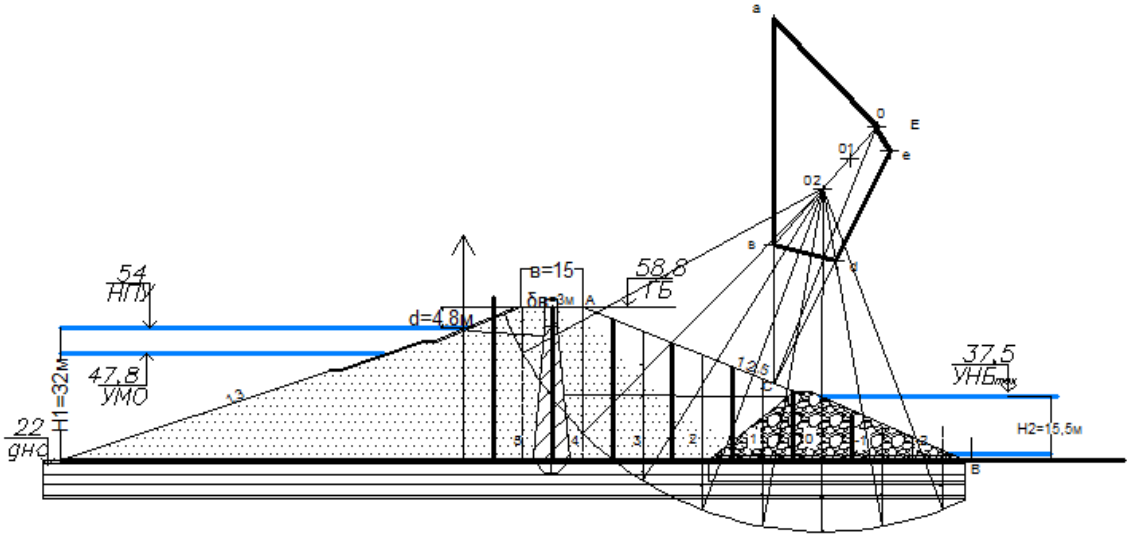


Рисунок В.8 – Положение кривой скольжения для центра О2

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Организация и производство гидротехнических работ

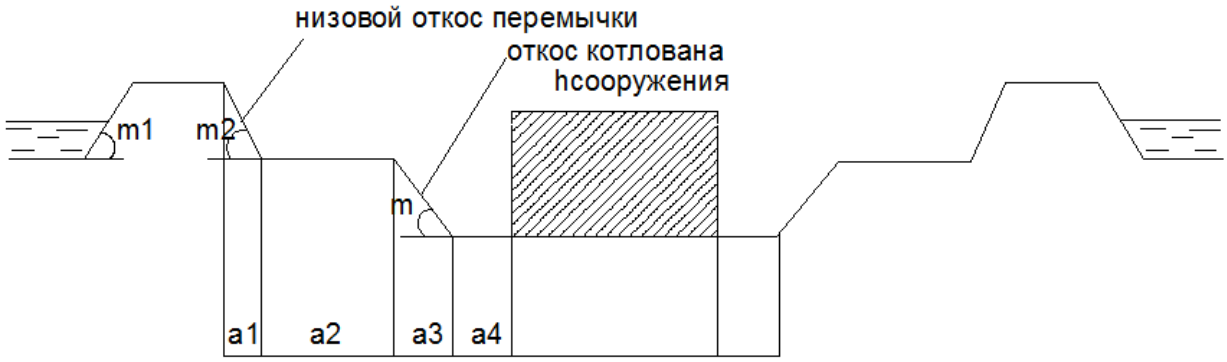
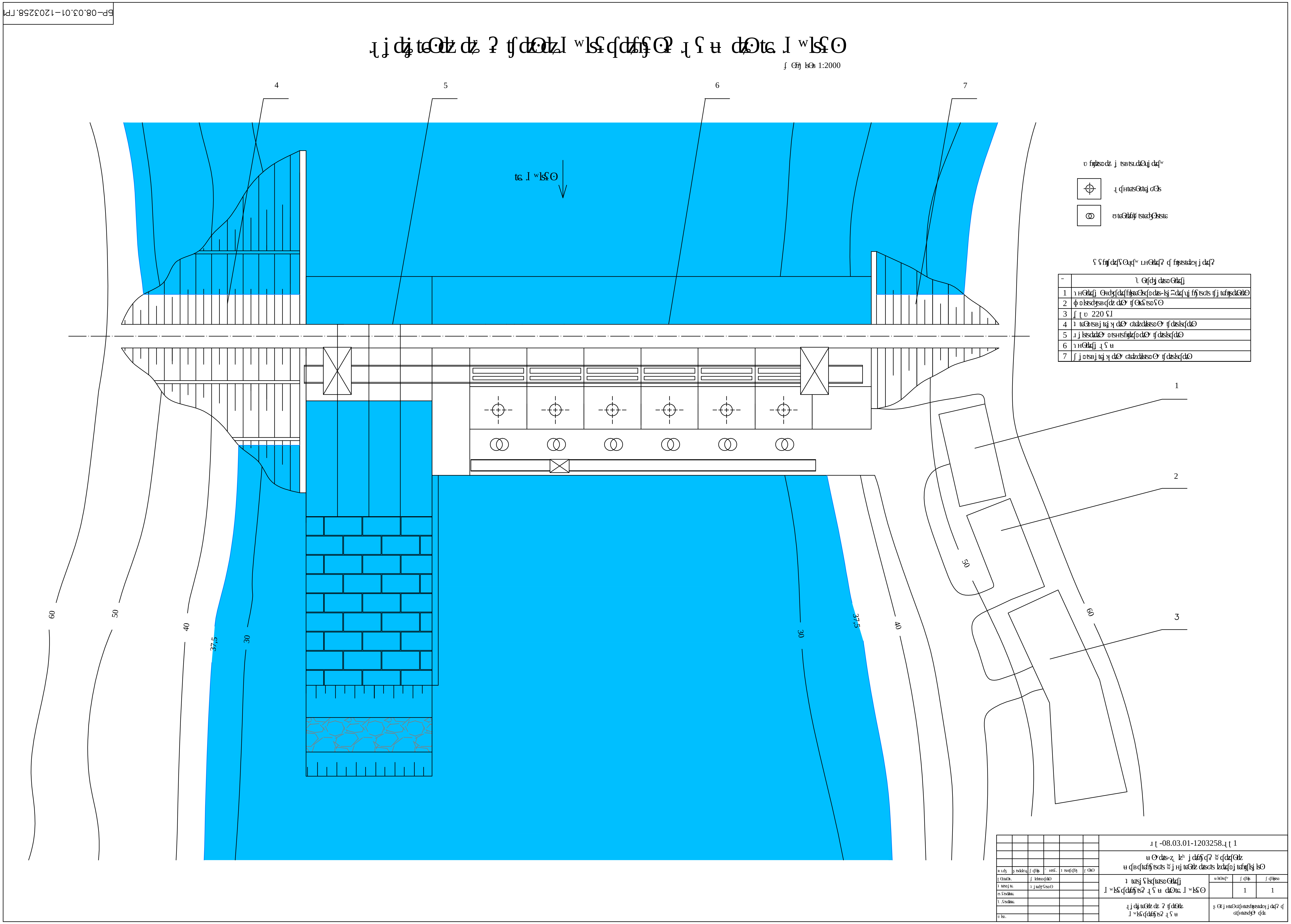


Рисунок Г.1- Схема размеров котлована

Таблица Г.1 - Сводная таблица объемов работ по этапам строительства представлена

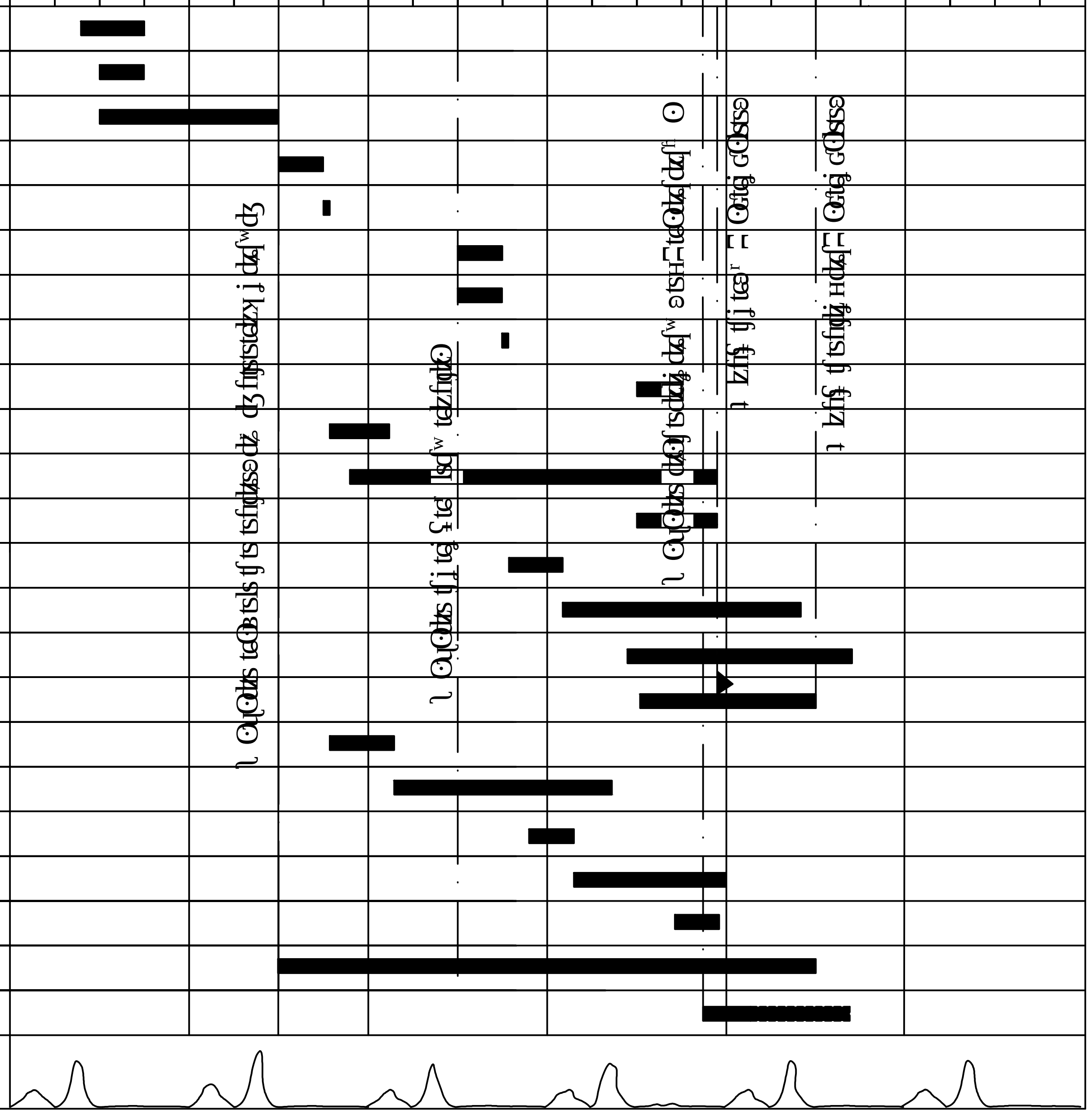
Этап	Сооружение	Наименование работ	Объем,м3
1	Перемычки1 очереди	отсыпка	333999
	Водосливная плотина	выемка котлована	134352
		укладка бетона	237135
	Грунтовая плотина	насыпь	101377
2	Перемычки 1 очереди	разборка	222666
	Перемычки 2 очереди	отсыпка	220148
	Водосливная плотина	укладка бетона	92046
	Грунтовая плотина	насыпь	44562
3	Перемычки 1 очереди	разборка	111333
	Перемычки 2 очереди	отсыпка	209018
	Водосливная плотина	укладка бетона	171703
	Здание ГЭС	выемка котлована	212874
		укладка бетона	119712
	Грунтовая правобережная плотина	насыпь	123713
	Грунтовая левобережная плотина	насыпь	87864
4-5	Перемычки 2 очереди	разборка	429166
	Водосливная плотина	укладка бетона	82905
	Здание ГЭС	укладка бетона	229162
	Грунтовая правобережная плотина	насыпь	15845
	Грунтовая левобережная плотина	насыпь	16406


БР-08.03.01-1203258.ГР1
1:2000
1
2
3
4
5
6
7
60
50
40
37,5
30
220
-08.03.01-1203258
1
1

[illegible]

№	[illegible]	№	[illegible]	[illegible]	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	[illegible]	1	[illegible]	180						
		2	[illegible]	90						
		3	[illegible]	270						
2	[illegible]	4	[illegible] 1 [illegible]	170						
		5	[illegible] 1 [illegible]	12						
		6	[illegible] 1 [illegible]	90						
		7	[illegible] 2 [illegible]	170						
		8	[illegible] 2 [illegible]	12						
		9	[illegible] 2 [illegible]	90						
3	[illegible]	10	[illegible]	180						
		11	[illegible]	880						
		12	[illegible]	175						
4	[illegible]	13	[illegible]	90						
		14	[illegible]	900						
		15	[illegible]	135						
		16	[illegible]	135						
5	[illegible]	17	[illegible]	180						
		18	[illegible]	450						
		19	[illegible]	90						
		20	[illegible]	98						
6	[illegible]	21	[illegible]	90						
7	[illegible]	22	[illegible]	360						
		23	[illegible]	405						
	[illegible]									

Stages: I, II, III, VI-V. Quarters: 1, 2, 3, 4 in each year.



1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1203258-[illegible]

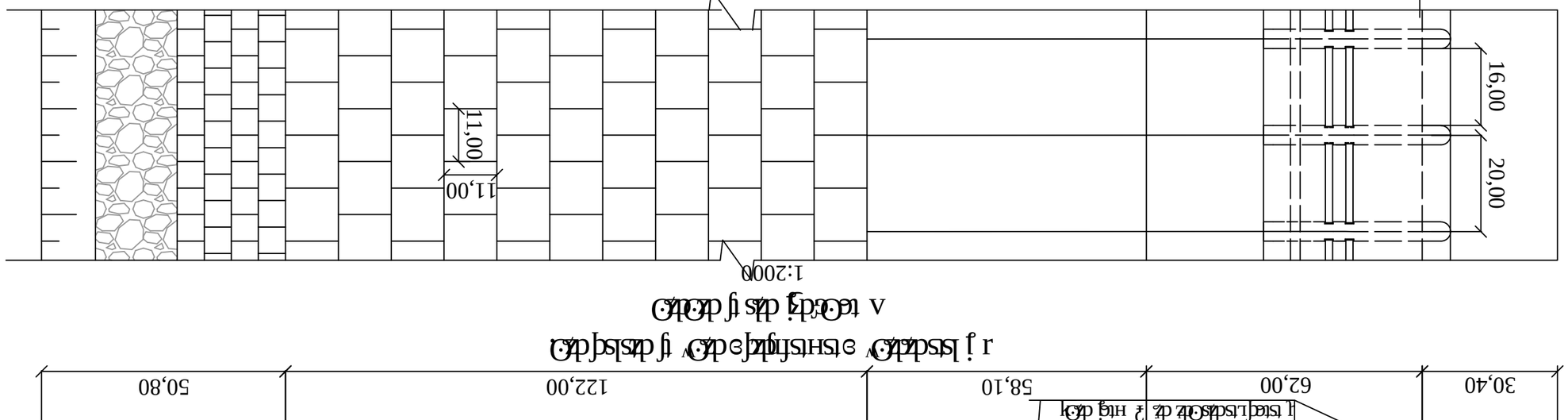
[illegible] -08.03.01-1203258 - [illegible]

[illegible]	4	4

Автодорога Ольховка – Заречье

Поперечный профиль земляного полотна

1:2000



1. Отметки даны в Балтийской системе высот 1977 года.
2. Привязка выполнена по пикетажу оси трассы.

Граница земельного участка

Ось трассы

№	Координата X	Координата Y	Дирекционный угол	Длина, м
1	5 412 308,50	6 187 240,00	47°12′	1 250,00
2	5 413 161,20	6 188 154,70	47°12′	1 250,00
3	5 413 852,40	6 188 905,10	47°12′	1 250,00
4	5 414 703,80	6 189 820,60	47°12′	1 250,00
5	5 415 395,10	6 190 571,30	47°12′	1 250,00
6	5 416 246,00	6 191 487,00	47°12′	1 250,00
7	5 416 937,60	6 192 237,80	47°12′	1 250,00
8	5 417 788,90	6 193 153,40	47°12′	1 250,00
9	5 418 480,30	6 193 904,20	47°12′	1 250,00
10	5 419 331,70	6 194 819,80	47°12′	1 250,00

Ведомость земельных участков, подлежащих изъятию

№	Кадастровый номер	Площадь, га	Площадь изъятия, га	Категория земель	Вид использования	Собственник
1	08:03:010201:1247	0,8420	0,6310	Земли сельскохозяйственного назначения	Для ведения личного подсобного хозяйства	Иванова Мария Сергеевна
2	08:03:010201:1248	0,5105	0,4870	Земли сельскохозяйственного назначения	Для ведения личного подсобного хозяйства	Петров Алексей Николаевич
3	08:03:010201:1249	1,2036	0,9512	Земли сельскохозяйственного назначения	Для сенокошения	Администрация Ольховского сельского поселения
4	08:03:010201:1250	0,3318	0,2745	Земли сельскохозяйственного назначения	Для ведения личного подсобного хозяйства	Сидорова Елена Викторовна
5	08:03:010201:1251	0,7762	0,5128	Земли сельскохозяйственного назначения	Для ведения личного подсобного хозяйства	Кузнецов Дмитрий Олегович
6	08:03:010201:1252	0,4490	0,3960	Земли сельскохозяйственного назначения	Для ведения личного подсобного хозяйства	Смирнова Ольга Петровна
7	08:03:010201:1253	0,6204	0,5487	Земли сельскохозяйственного назначения	Для ведения личного подсобного хозяйства	Васильев Николай Иванович
8	08:03:010201:1254	0,2150	0,1980	Земли сельскохозяйственного назначения	Для ведения личного подсобного хозяйства	Морозова Татьяна Ивановна
9	08:03:010201:1255	0,9876	0,7340	Земли сельскохозяйственного назначения	Для сенокошения	Администрация Ольховского сельского поселения
10	08:03:010201:1256	0,4033	0,3615	Земли сельскохозяйственного назначения	Для ведения личного подсобного хозяйства	Лебедева Ирина Анатольевна

Экспликация зданий, сооружений и инженерных коммуникаций

№	Наименование	Назначение	Этажность	Материал	Примечание
1	Жилой дом	Индивидуальное жилищное строительство	2	Кирпич	Снос
2	Хозяйственная постройка	Сарай	1	Дерево	Снос
3	Баня	Индивидуальное жилищное строительство	1	Дерево	Снос
4	Колодец	Водоснабжение	—	Бетонные кольца	Снос
5	Забор	Ограждение	—	Сетка-рабица	Снос
6	Опора ЛЭП	Электроснабжение	—	Железобетон	Перенос
7	Линия ЛЭП 10 кВ	Электроснабжение	—	Провод АС	Перенос
8	Телефонный кабель	Связь	—	Кабель в земле	Перенос
9	Газопровод	Газоснабжение	—	Сталь	Перенос
10	Водопровод	Водоснабжение	—	Полиэтилен	Перенос

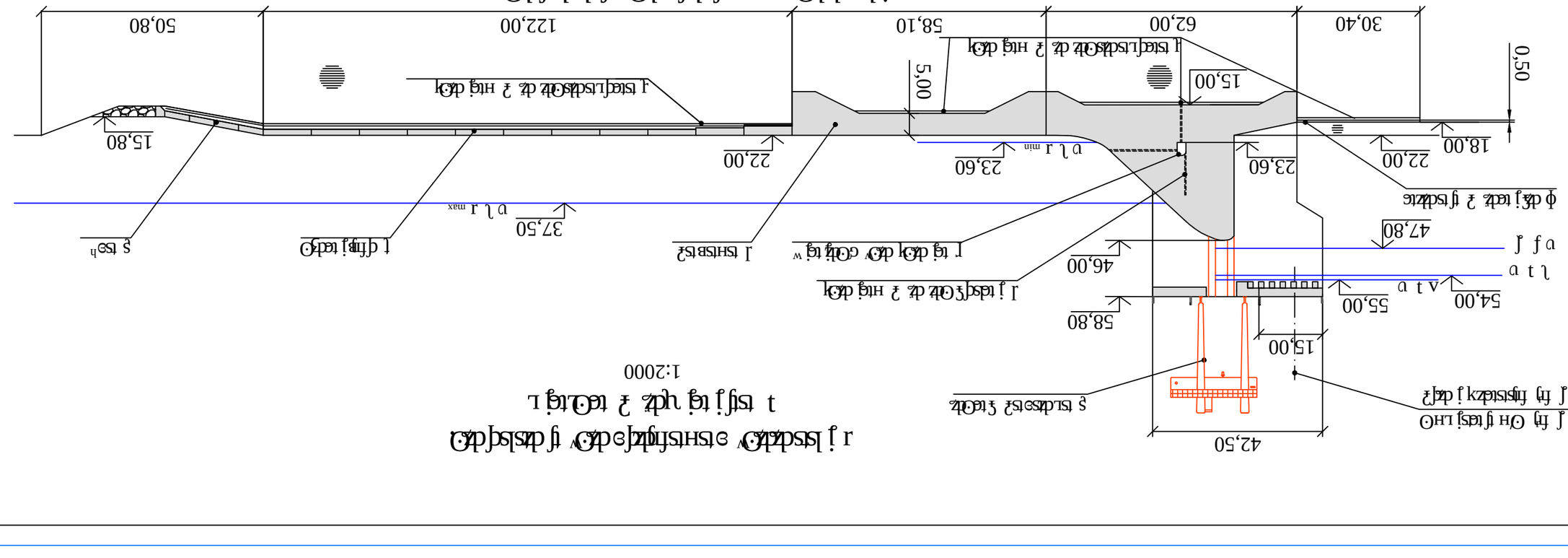
Ведомость зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, подлежащих переносу

№	Наименование	Назначение	Этажность	Материал	Примечание
1	Опора ЛЭП	Электроснабжение	—	Железобетон	Перенос
2	Линия ЛЭП 10 кВ	Электроснабжение	—	Провод АС	Перенос
3	Телефонный кабель	Связь	—	Кабель в земле	Перенос
4	Газопровод	Газоснабжение	—	Сталь	Перенос
5	Водопровод	Водоснабжение	—	Полиэтилен	Перенос

Ведомость переносимых зданий, сооружений и инженерных коммуникаций

№	Наименование	Назначение	Этажность	Материал	Примечание
1	Жилой дом	Индивидуальное жилищное строительство	2	Кирпич	Снос
2	Хозяйственная постройка	Сарай	1	Дерево	Снос
3	Баня	Индивидуальное жилищное строительство	1	Дерево	Снос
4	Колодец	Водоснабжение	—	Бетонные кольца	Снос
5	Забор	Ограждение	—	Сетка-рабица	Снос

Ведомость сносимых зданий, сооружений и иного имущества



Продольный профиль по оси трассы

Поперечный профиль земляного полотна

Ведомость объемов земляных работ

№	Наименование	Ед. изм.	Количество
1	Разработка грунта в выемке	м³	12 480
2	Насыпь из привозного грунта	м³	9 760
3	Срезка растительного слоя	м³	3 120
4	Планировка откосов	м²	6 540
5	Укрепление откосов посевом трав	м²	6 540
6	Устройство дренажа	м	1 250
7	Водоотводная канава	м	2 480
8	Перенос опоры ЛЭП	шт.	2
9	Перенос линии ЛЭП 10 кВ	м	1 250
10	Перенос телефонного кабеля	м	1 250
11	Перенос газопровода	м	1 250
12	Перенос водопровода	м	1 250
13	Снос жилого дома	шт.	1
14	Снос хозяйственной постройки	шт.	1
15	Снос бани	шт.	1
16	Снос колодца	шт.	1
17	Снос забора	м	180

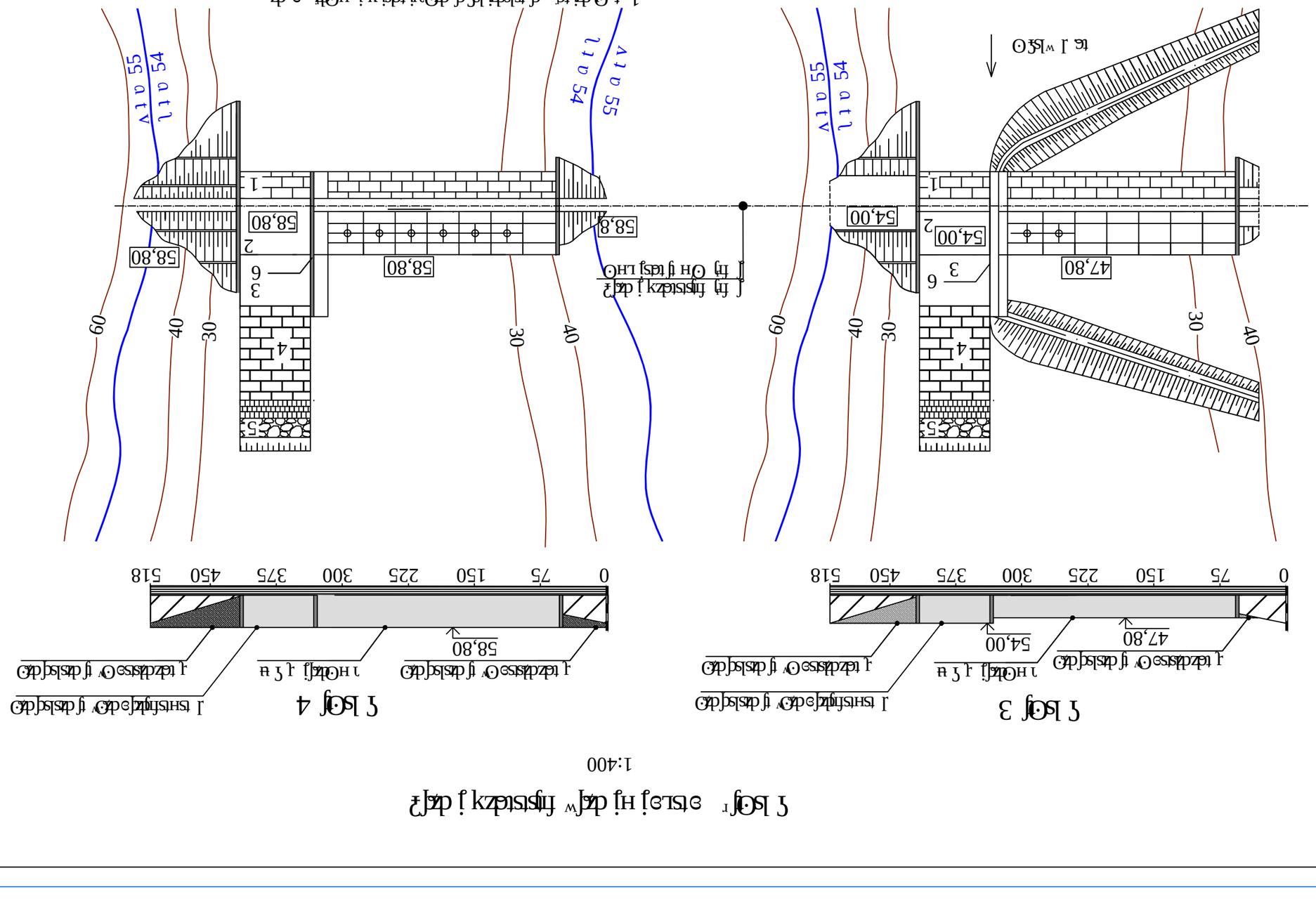
Ведомость переноса инженерных коммуникаций

№	Наименование	Назначение	Этажность	Материал	Примечание
1	Опора ЛЭП	Электроснабжение	—	Железобетон	Перенос
2	Линия ЛЭП 10 кВ	Электроснабжение	—	Провод АС	Перенос
3	Телефонный кабель	Связь	—	Кабель в земле	Перенос
4	Газопровод	Газоснабжение	—	Сталь	Перенос
5	Водопровод	Водоснабжение	—	Полиэтилен	Перенос

Ведомость переноса инженерных коммуникаций

ς lsOŋ[r] ɔtsL.ɔ j Hj dɑ[w fηpsτsɑzχ j dɑ[?

1:400



ς lsOŋ 3

1 tsHτsfηqɔdɑ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[

ŋ HɑfJ ɹ ς ʉ

1 tɑzdɑssɔ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[

1 tɑzdɑssɔ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[

ς lsOŋ 4

1 tsHτsfηqɔdɑ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[

ŋ HɑfJ ɹ ς ʉ

1 tɑzdɑssɔ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[

1 tɑzdɑssɔ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[

ς ξfηqdɑ[ξOɑq[w LHɑfɑ[? q fηpsτsɑzχ j dɑ[?

l	OɑfɑdɑJ dɑssɔOfɑcJ	Γ dɑ[dɑ[ɔ dʒ
1.	ŋ tsdɑzτɑ	30,40
2.	ŋ dɑslsɑ[dɑO	64,00
3.	J tsHτsBτsʔ dɑO[w ŋ dɑ[JsO	58,10
4.	ŋ t qfηpJ ŋɑdʒO	121,00
5.	ʂ ŋsɔh	50,80
6.	ŋ t O.HJ dɑ[JsJ dɑ dʒ ʔ bɑfηpsʔ	20,00

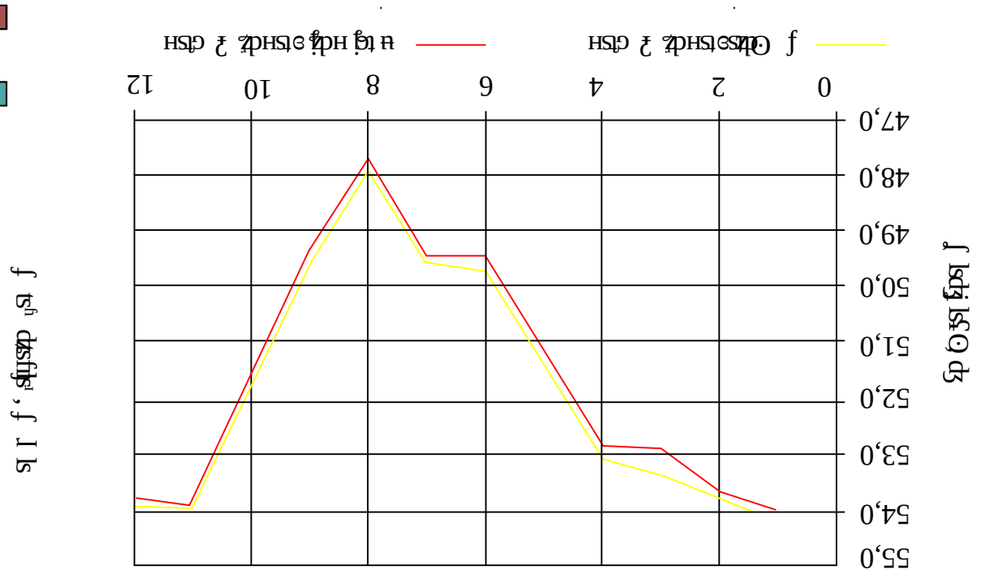
1. ŋ OɑdʒJ ŋɑ[ɑ[ʃ ɑ[sJɑdʒJ sɛq dɑɔ-ɥ ŋɑsJ χ J ɥOfɑ ɔ dʒ.
2. J JηHsdʒsfηpʷ ŋ ŋɑsJ ξJsOfηqʒ dɑɔ-ɥ ŋɑsJ χ J J ʂ ŋ -08.03.01-1203258-ɻ ŋ .

R ɑdʒ	ʂ ɹsbbzɥ	J dɑfηpʂ	¯ HτsɛJ.	ŋ ɪsɯɪf dfη	Γ OsɔO

Ŋ OɑdʒJ ɑ[sJɑdʒJ sɛq dɑɔ-ɥ ŋɑsJ χ J ɥOfɑ ɔ dʒ.			
1 ʂ ŋ -08.03.01-1203258.ŋ J ɥ			
ɥ Oʷdɑssʔɻ bzʰ J dɑfηpʂʔ ʷʷ qfɑdʒObz ɥ qfɑfɑfηpʂɑτs ʷJ ηj ɥɔObz dɑsɔτs bzɑdɑ[ɔj ɥɑfηpʂ[sj lsO			
R ɑdʒ	ʂ ɹsbbzɥ	J dɑfηpʂ	¯ HτsɛJ.	ŋ ɪsɯɪf dfη	Γ OsɔO
Ŋ OɑdʒJ ɑ[sJɑdʒJ sɛq dɑɔ-ɥ ŋɑsJ χ J ɥOfɑ ɔ dʒ.			
1 ʂ ŋ -08.03.01-1203258.ŋ J ɥ			
ɥ Oʷdɑssʔɻ bzʰ J dɑfηpʂʔ ʷʷ qfɑdʒObz ɥ qfɑfɑfηpʂɑτs ʷJ ηj ɥɔObz dɑsɔτs bzɑdɑ[ɔj ɥɑfηpʂ[sj lsO			
R ɑdʒ	ʂ ɹsbbzɥ	J dɑfηpʂ	¯ HτsɛJ.	ŋ ɪsɯɪf dfη	Γ OsɔO
T Oɹɑɔɔɑ.		J bɑsɔɑdɑɔO			
ŋ ɹɑssɔj ɪɛ.		ŋ dɛʷdɑssʔO			
ɒ.ʂ ɪsɑbbɛɛ.		ŋ ɪɑdʒʷʂ ɪsɔO			
ŀ .ʂ ɪsɑbbɛɛ.		s qfɑɛJɥ dɑɛs			
υ ɪɑs.		J Onɥɥ dɑdɛʂ ɪsɔO			

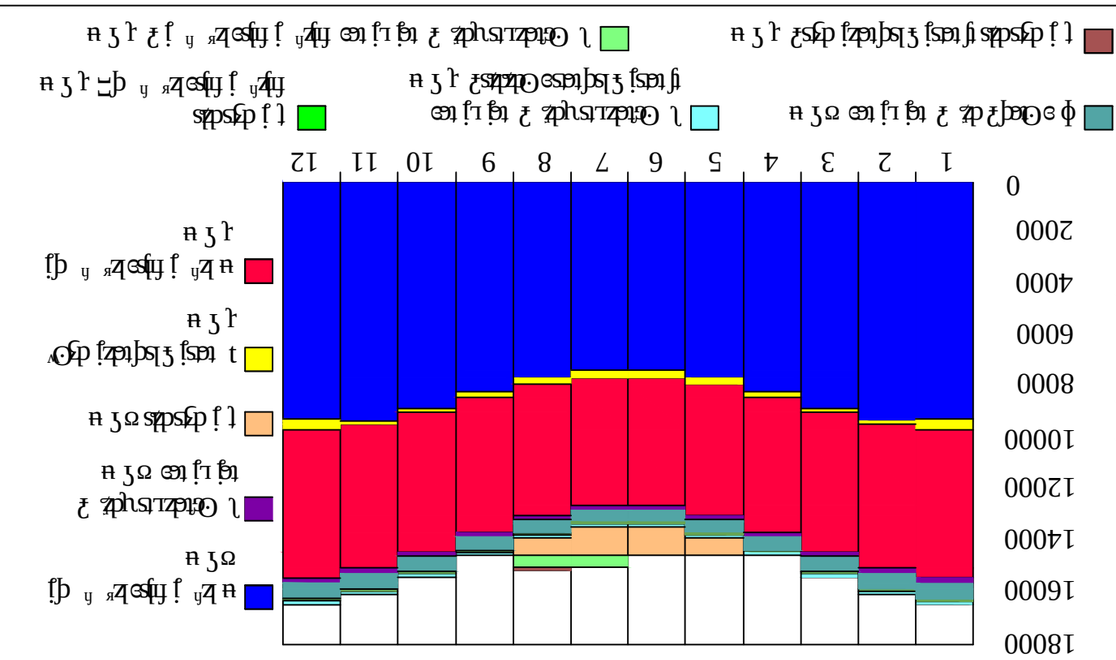
ʂ Qɣj ɥɛɔOɛfɥɛɑsfηpsɹsɹɑzχ j dɑ[? q ɑfɥɛɑsdʊ? qfdz		
ŋ ɪsɔɥɑ[w	J qfηpʂ	4
	3	

ς ɪsɔfηqɛ ɔɹsL.ɔ j Hj dɑ[w fηpsτsɑzχ j dɑ[? 1:400		
1 tsHτsfηqɛɔdɑ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[		
ŋ HɑfJ ɹ ς ʉ		
1 tɑzdɑssɔ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[		
1 tɑzdɑssɔ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[		
ς ɪsɔfηqɛ ɔɹsL.ɔ j Hj dɑ[w fηpsτsɑzχ j dɑ[?		
1 tsHτsfηqɛɔdɑ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[		
ŋ HɑfJ ɹ ς ʉ		
1 tɑzdɑssɔ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[		
1 tɑzdɑssɔ[w ŋ dɑslsɑ[dɑ[		



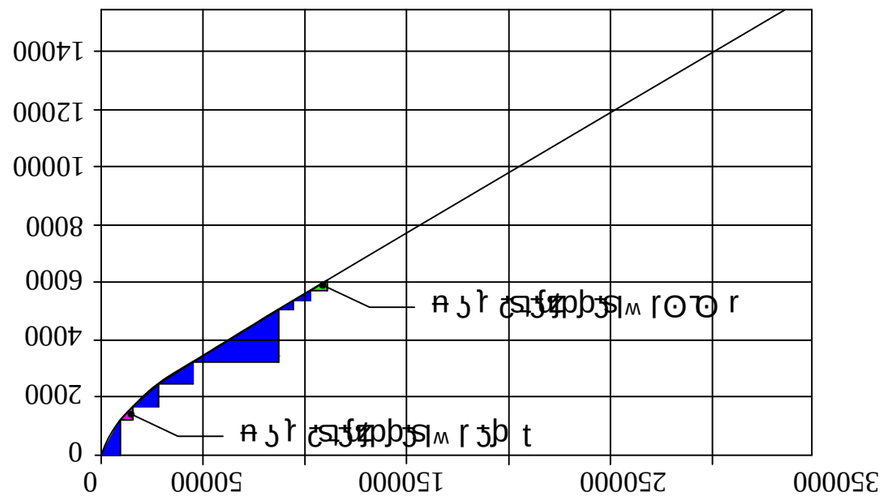
u ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ

ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ



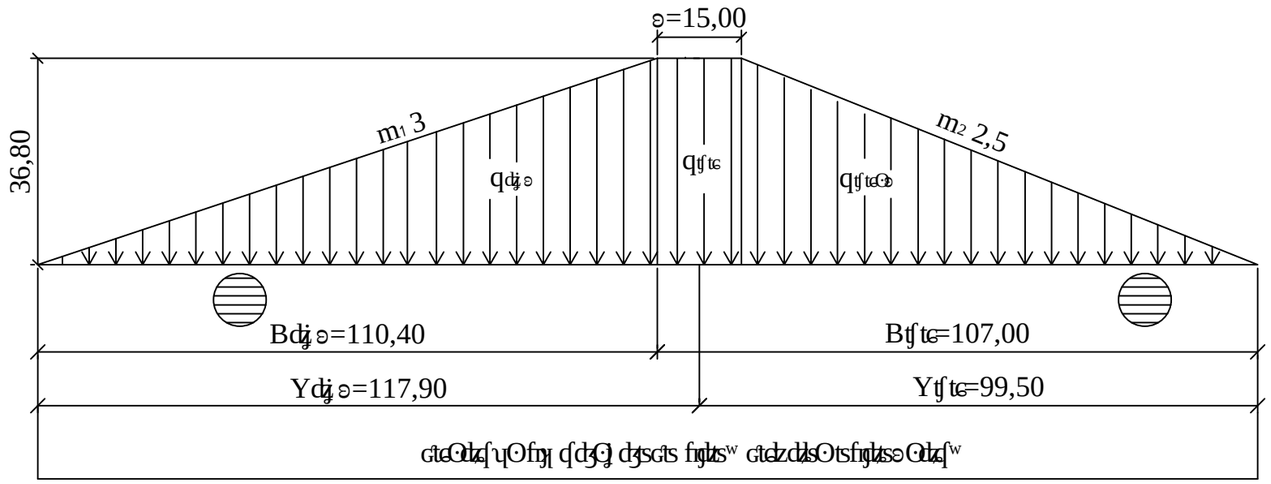
f ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ

ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ



u ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ u ΔΔ≤≤ΣΔΔ≥ ? σΣΣΗ

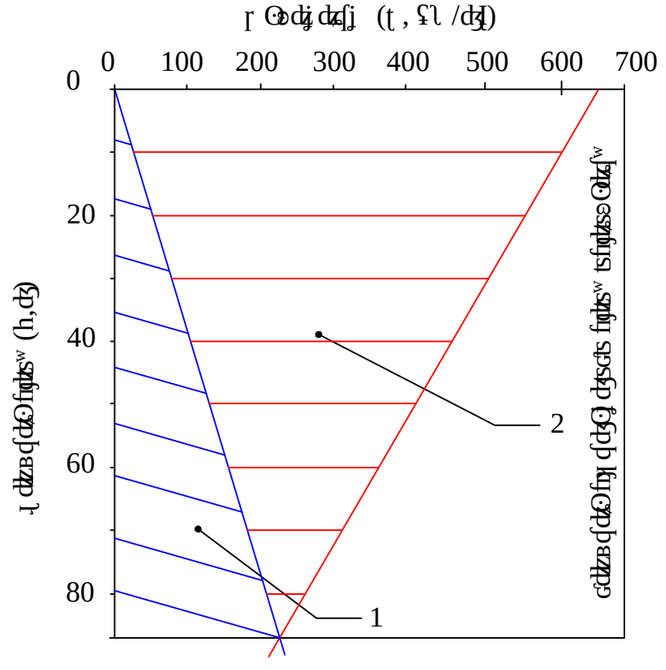
Поперечный профиль насыпи



Расчетные характеристики грунтов основания

Наименование грунта	Удельный вес грунта, кН/м³	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, кПа
Суглинок тугопластичный	145,7	337,76	662,4
Суглинок мягкопластичный	72,86		
Суглинок текучепластичный	119,2		

Расчетная схема устойчивости откоса насыпи

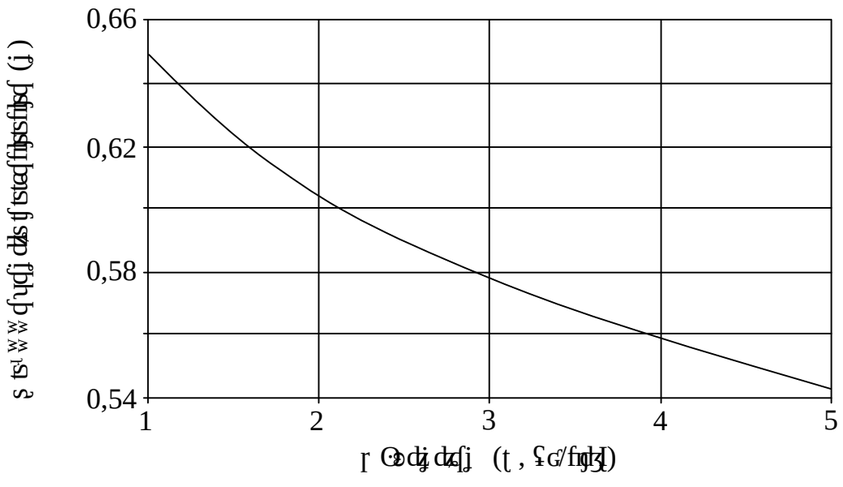


1 — Суглинок тугопластичный (0,2 м)

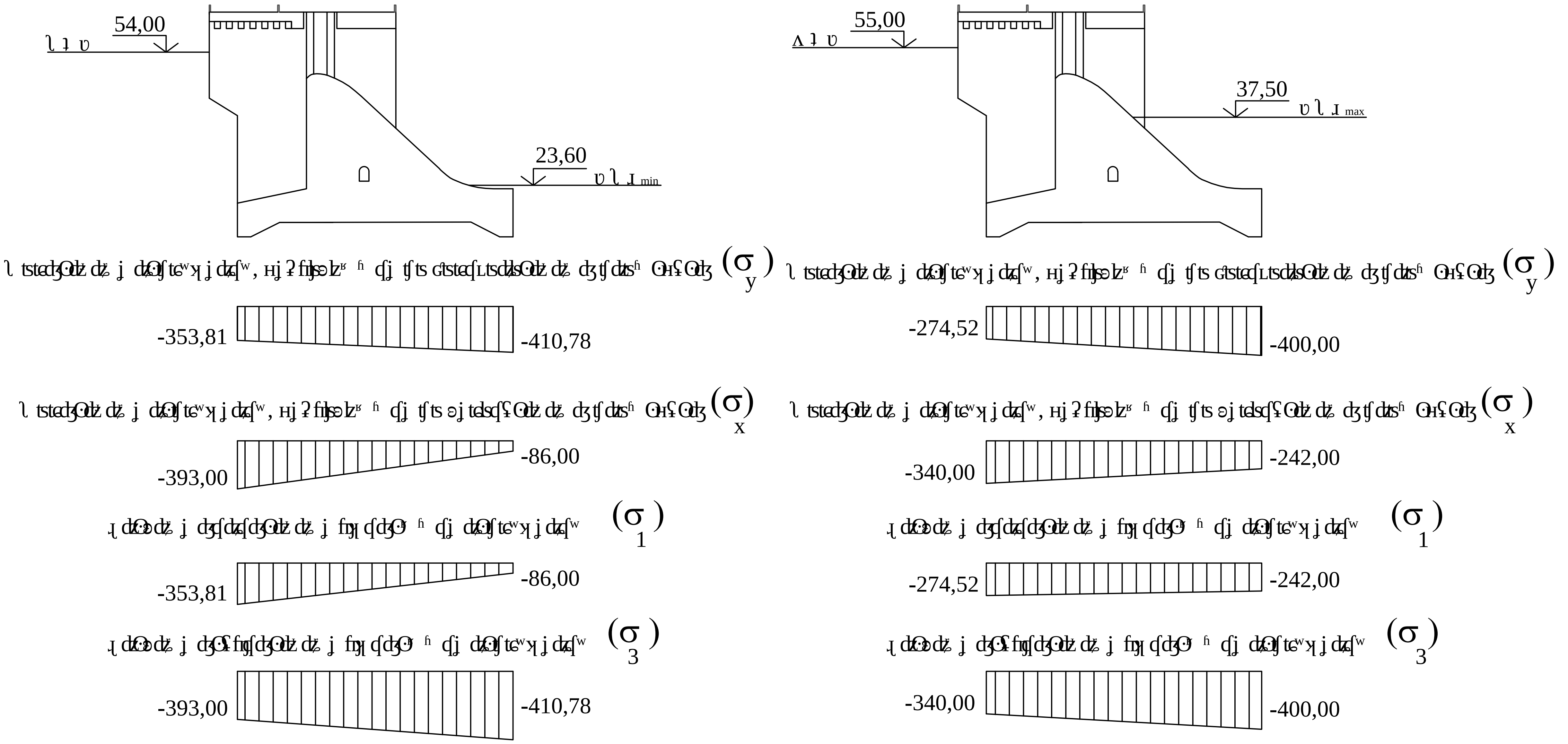
2 — Суглинок текучепластичный

1. Грунтовые воды отсутствуют.
2. Лист 2 из 2 Пояснительная записка 1203258-ТХ

Зависимость коэффициента устойчивости от угла внутреннего трения



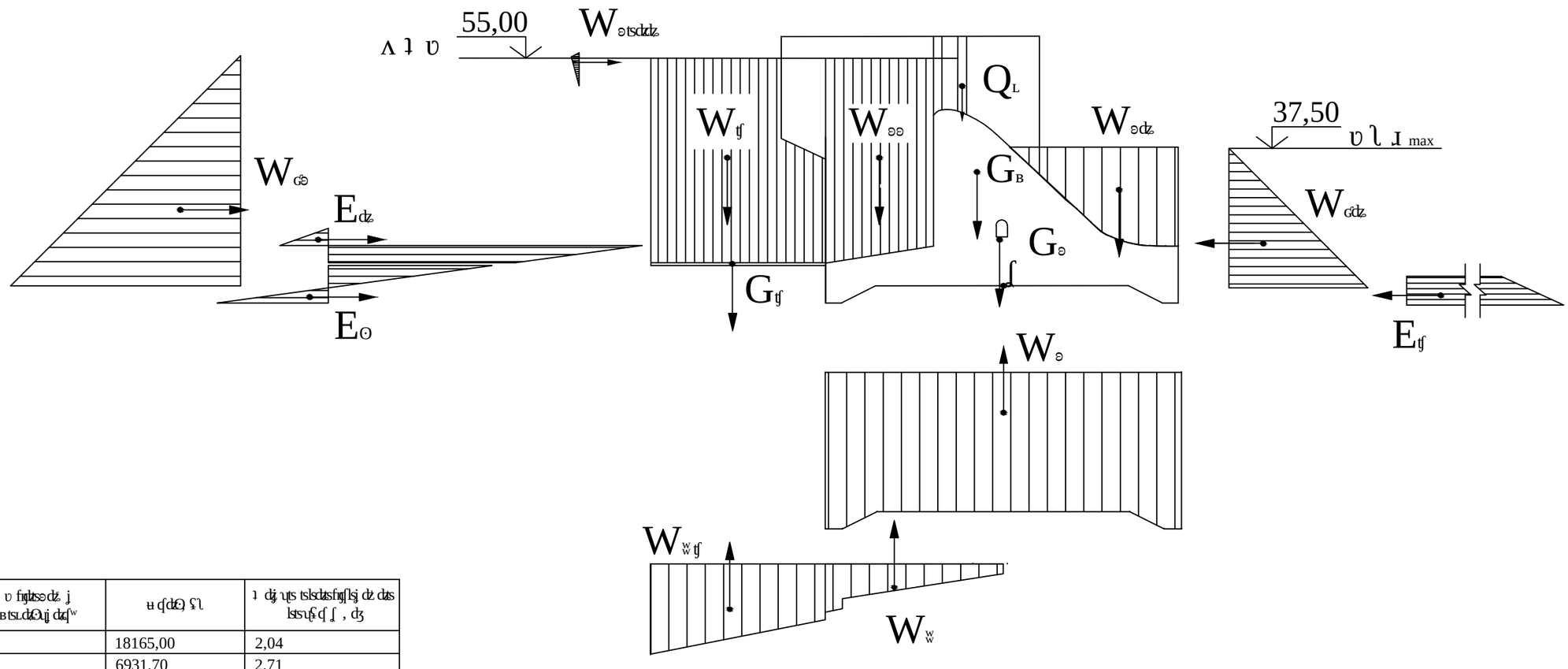
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	1203258 - ТХ	
Разраб.						Основание насыпи. Расчет устойчивости откоса насыпи методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения			
Пров.							Стадия	Лист	Листов
Н.контр.								1	4
Утв.						Пояснительная записка. Расчетная схема. Зависимость коэффициента устойчивости от угла внутреннего трения			



1.
2. -08.03.01-1203258-

-08.03.01-1203258 -	
3	4

ɭ Ɵɑʔɑɖzʟʕʂɑʃ, ʜjʝʔfɳʂɔlzᵍˁ ʰ ɑʃj ɖɑƟʃɑɖɑsʟsɑʃɑɖzɑ ʃ tsfɳɑɑɑsɔƟɖɑɑʃj ʃʃtɑɑʃ tsfɳʂʂʙtsɖʒfɳʂʃuj ʟsƟɖɑɑʃɑ ɖɑƟʔɑɖzʟtsʕ ɑʃ ɔtsʟʜjʝʔfɳʂɔɑʃʔ



υ fɳɑɑɑsɔɖz. j tsʙʈsʟɖƟɑuj ɖɑʃʷ	ʜ ɑʃɖɑƟ ʕʅ	ɭ ɖjˌuʈs tslsɖɑsfɳɳʃlsˌj ɖz ɖɑs lsʈsʅʕʃɑʃ ˌ, ɖʒ
G	18165,00	2,04
G	6931,70	2,71
Q	910,00	2,59
W	8000,00	13,33
W	2928,20	7,67
W	6349,10	20,03
W	3404,10	20,24
W	15365,40	0,00
W	2326,80	19,04
ʃ	33,08	1,00
ʃ	31,32	2,41
ʃ	1204,50	1,33
W	7,90	39,03

1. ʈ Ɵɭɖʒjʈɑᵍ ɑʃ tslsɖʒjlsˌʃɑʃ ɖɑƟɔuj ʈɑɑsjˌxɭjˌ ʜƟɔɖzˌ ɘ ɖʒ.
2. Ɪˌjˌ ʜʈsɖʒʝsfɳʂᵍ ʃʃʈɑɑsjˌʕlsƟfɳɳʒˌ ɖɑƟɔuj ʈɑɑsjˌxɭjˌɪ ʂ ʈ -08.03.01-1203258-ɻɭ

						Ɪ ʂ ʈ -08.03.01-1203258 - ʈ ʈ
						ʜ Ɵɔʏɖɑʝs-zˌ ʮʰ jˌɖɑɳʃʕɑʃʔ ʷ ʷ ɑʃɖɑɑʃƟɖɑz ʜ ɑʃʙɑʃɑɑʃɑʃʃtsɑʈs ʷ jˌʜjˌʈɑƟɖɑzˌɖɑʝsɑʈs ʮɖɑɑʃɑɔjˌʈɑfɳʃʃlsjˌlsƟ
ʀ ʟɑʒˌ	ʂ tsɖɑʮzɻˌ	ʃ ɑʃfɳʂ	¯ ʜʈsʕ.	ɭ tsʜʜʃɑʃfɳ	ɾ ƟʝƟ	
ʈ ƟɭʈɑƟʙ.		ʃ ʮlʝlsɔɑʃɖƟ				ɭ ʈɑʈsjˌʕʃɑʃsɔƟɖɑʝʃj ɪ ʷlʝlsˌʃɑʃɖɑʃɳʃʈsʔ ɻʕ ɭ ʕ ʜ ɖɑƟɔʈɑ. ɪ ʷlʝlsˌʃƟ
ɭ ʈɑʈsjˌʈɑ.		ɭ jˌʈɑɖʒʷʕʈsɔƟ				
ʊ.ʕʈsɖɑʝʈɑ.		ɭ jˌʈɑɖʒʷʕʈsɔƟ				
ɭ .ʕʈsɖɑʝʈɑ.		ʂ ɑʃʈɑɑʃuj ɖɑˌʈs				
υ ʝsɔ.		ʃ ƟɳɳɖjˌɖɑɳʃʕʈsɔƟ				

ʜ ʝsƟʜɑʃʷ	ʃ ɑʃfɳʂ	ʃ ɑʃfɳʂʝsɔ
	2	4

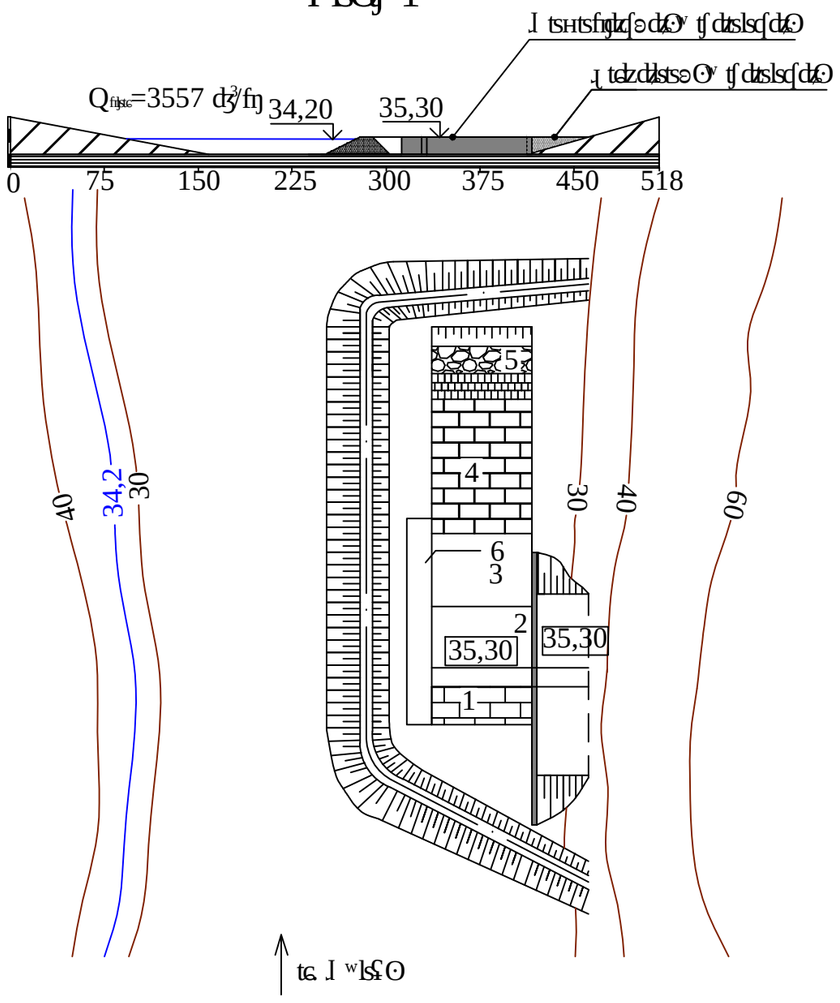
ɭ Ɵɑʔɑɖzʟʕʂɑʃ, ʜjʝʔfɳʂɔlzᵍˁ ʰ ɑʃj ʃʃtɑɑʃ tsfɳʂʂʙtsɖʒ fɳʂuj ʝsƟɖɑɑʃɑʃ ɖɑƟɔʈɑɖzʟtsʕ ɑʃ ɔtsʟʜjʝʔfɳʂɔɑʃʔ

ʂ ƟʷjˌʜʈɑƟɔɑʃɑʜʈɑɑsfɳʂʈsʈɑɖzʏjˌɖɑɳʃʔ ɑʃ ɑʃʜʈɑɑsɖʏƟ ɑʃɖɑz.

Ϛ lsGϑʃ r ɵtsLɵj.нj dʑϚʃʷ fɱststɵdzʏ¡ j.dʑϚʃ?

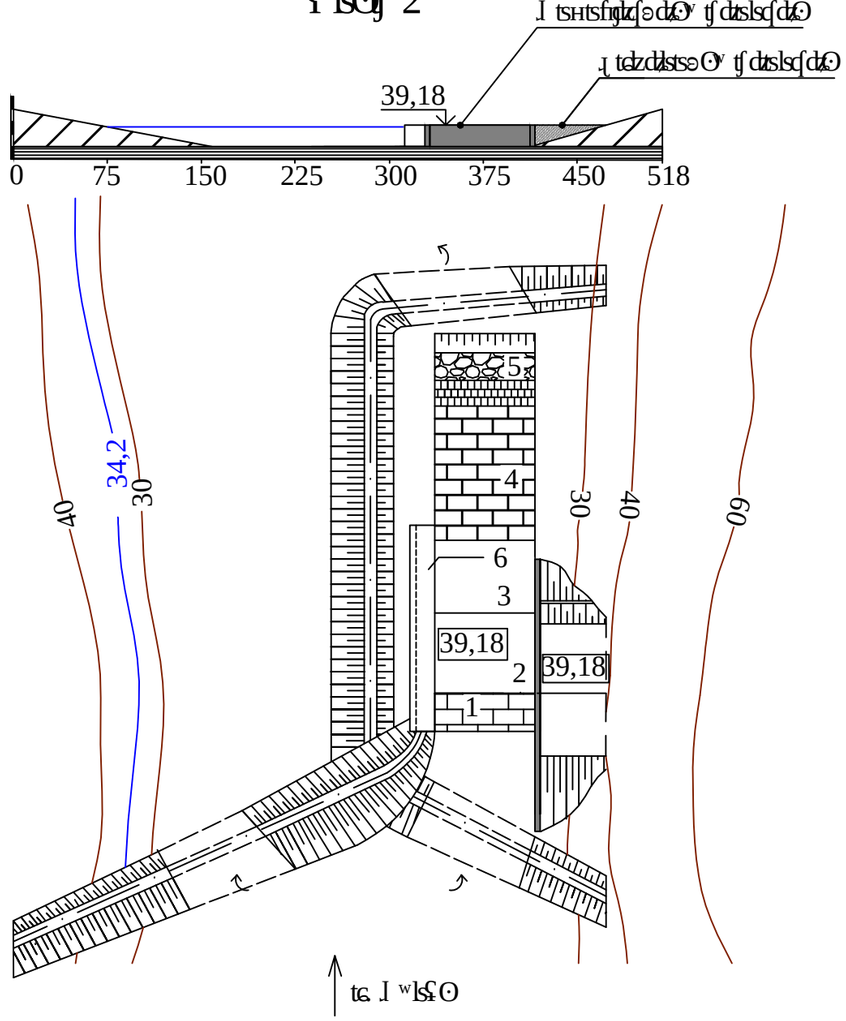
1:400

Ϛ lsGϑʃ 1



tɕ. Ɪ ʷlsϚΘ

Ϛ lsGϑʃ 2



tɕ. Ɪ ʷlsϚΘ

Ϛ ϚfɱʃdʑϚϚΘ¡ϚϚʷ LнGdʑϚʃ? Ϛʃfɱststɵdzʏ¡ j.dʑϚʃ?

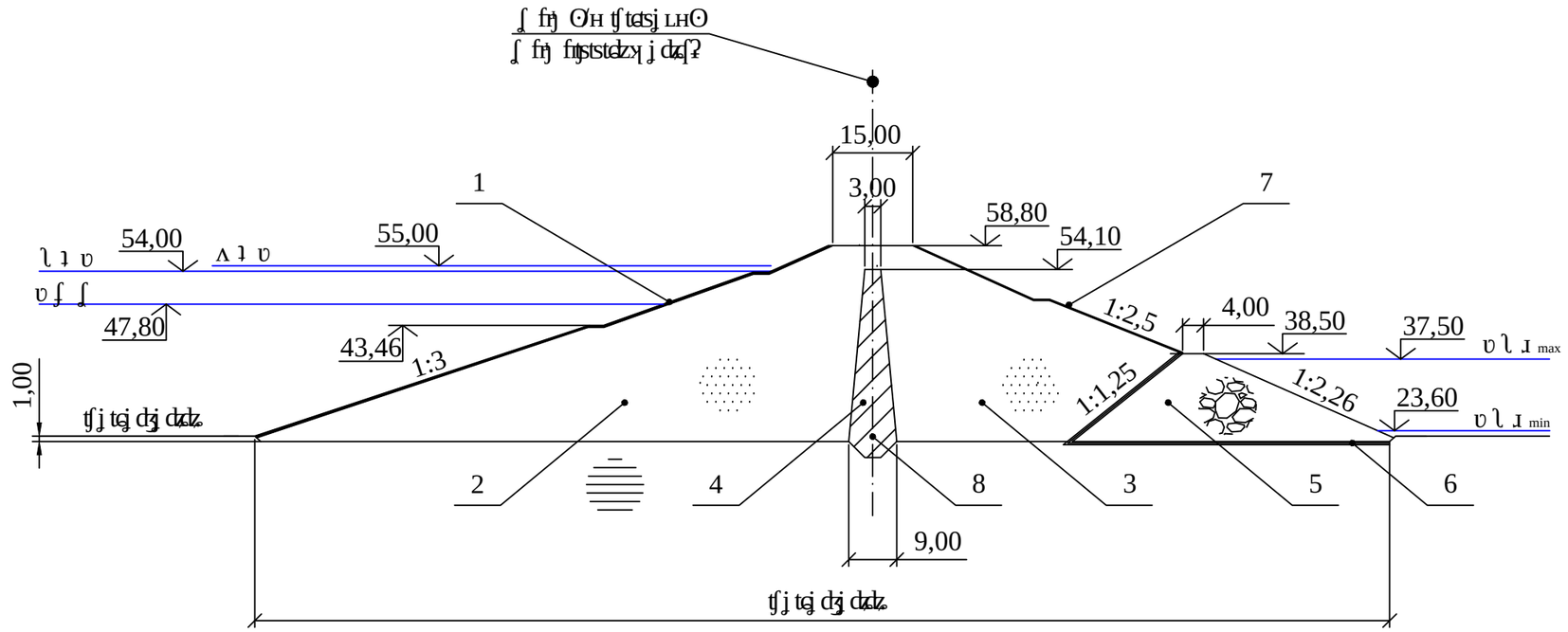
ϒ GϬϚdzj.dʑsɵGdʑϚ¡j	ʃ dʑϚdʑΘ; dʒ
1. ɪ tsdʑztɕ	30,40
2. ɪ dʑslsϚdʑΘ	64,00
3. Ɪ tsнtsвts?dʑΘʸ tʃ dʑϚʃlsΘ	58,10
4. ʈ Ϛfɱвj.tɵdʒΘ	121,00
5. ʂ tsɵʰ	50,80
6. ʈ GϬLнj.dʑϚʃlsj.dz dz. ? ɮ lzfɱststɵ?	20,00

1. ʈ GϬLdʒj tɕʳ Ϛʃtslsdʒj lsϚϚʃ dʑΘʷuj tɵtsj ɤ¡ j. нGϬdz. ɵ dʒ.
2. Ɪ j.нtsdʒtsfɱʃsʲ tʃ tɵtsj.ϚlsΘfɱϬʒ. dʑΘʷuj tɵtsj ɤ¡ j. Ɪ ʂ ʈ -08.03.01-1203258-ɻɪ .

						Ɪ ʂ ʈ -08.03.01-1203258 - ɪ ʃ ʉ		
						ʉ GʸdʑϬs-z¸ lzʰ j.dʑϚʃϚ? ʷʷ ϚʃdʑϚϬdz ʉ ϚʃвϚʈɵfɱʃϚtsϚϬtsʷʷj нj tɵGϬdz dʑsϚϬts lzdʑϚɵj tɵfɱϬʃsj lsΘ		
ʀ LdʒϬ	ʂ tsdʑlzʏ¡	ʃ Ϛfɱls	¯ нtsϚ.	ɪ tsнtʃ Ϛʃfɱ	ʃ GϬsΘ			
ʈ GϬLtɵΘɜ.		ʃ lzlstsɵϚdʑΘ				ɪ tɵtsj.ϚlsϚʃtɵtsɵGϬdʑϚʃj Ɪ ʷlsϚϚʃdʑfɱʃϚts? ɻϚ ʉ dʑΘtɕ. Ɪ ʷlsϚΘ	ʉ lsΘнϚʷ	ʃ Ϛfɱls	ʃ Ϛfɱlstsɵ
ɪ tɵtsɵj tɕ.		υ dz.ʷdʑtsɵΘ						2	4
ʊ.Ϛtsdʑstɕ.		ɪ j tɵdʒϚϚtsɵΘ							
ϒ .Ϛtsdʑstɕ.		ʂ ϚʃtɵϚuj dʑϚts				Ϛ lsGϑʃ r ɵtsLɵj.нj dʑϚʃʷ fɱststɵdzʏ¡ j.dʑϚʃ? (1-2). Ϛ ϚfɱʃdʑϚϚΘ¡ϚϚʷ LнGdʑϚʃ? Ϛʃfɱststɵdzʏ¡ j.dʑϚʃ?	ʂ GʸjнtɵΘϬϚʃнtɵsfɱststɵdzʏ¡ j.dʑϚʃ? ϚʃϬϚʃнtɵsdʒΘʲ Ϛʃdz.		
υ lsɵ.		ʃ GɱjdʑϚʃϚtsɵΘ							

ɪ tstʃj tɕj ʋɖʑ ʔ tɛʘʟtɕj ʟ ɕʈɛlzɖʑʂtsɔtsʔ tʃ ɖʐslsɕʃɖʑ

1:2000



ʕ ʕ fɲʃ ɖʐʃʕ ʘ ɯ ʃ ɖʐʃʷ ɻ ɖʑj ɖʤj ɖʐstsɔ fɲʂtstɛlzʏɨj ɖʐʃʷ

-	ɭ ʘɯʃɖʤj ɖʐsɔʘɖʐʃj
1	ɾ j ɖʑj ʟtsʙj lstsɖɖʑ. j tʃ ɖʐʃlsʳ tsfɲɖʐsɔ ɖʐsɕts ʕ tɕj tʃ ɖʑj ɖʐʃʷ tslsʕ tsfɲʘ 10□10□0,35 ɖʤ
2	ɻ tɛʃʟɖʤʘɔj tɕ□tsɔʘʸ lztʃtstɛɖʐʘʸ ɕʃʟ tʃj fɲʕʘ
3	ɻ tɛʃʟɖʤʘɖʐʃʟtsɔʘʸ lztʃtstɛɖʐʘʸ ɕʃʟ tʃj fɲʕʘ
4	ʗ ʜtɛts ɕʃʟ fɲʐɕɖʐʃɖʕʘ
5	ɾ tɕj ɖʐʘɻ ɖʑ. ʔ ʙʘɖʐʕj ls ɕʃʟ ʕtɛlzʃ ɖʐstsʙ ɖʐsɖʤs ʏɖʐsɕts ɕtɛlzɖʐsʘ
6	ɾ ɔlz□fɲɖʐs?ɖʑ. ʔ tsʙtɛʘsɖʑ. ʔ ʷ ɕʃɖʑ lstɕtsʙʰ j ʔ lstsɖᶠ ɕʃɖʐs? 0,60 ɖʤ
7	ɹ ʘɖʐʏɨj ɖʐʃj fɲtɛʘfɲʂɕʃlsʕj ɖʑ ɖʑ. ɖʤ fɲɖʐsʕj ɖʤʟʕj ɖʤɖʐʃ lstsɖᶠ ɕʃɖʐs? 0,15 ɖʤ
8	ɹ ʘɖʤtsʕ

ɻ ɖʐʃɖʘ

ʂ tɛlzʃ ɖʐs-tsʙ ɖʐsɖʤtsʏɕʑ. ʔ ɕtɛlzɖʐs

ɯ lzɕɖʐʃɖʐsʕ

ɹ j fɲʂʕ

1. ʈ ʘʟɖʤj tɛʳ ɕʃ tslsɖʤj lsʕɕʃ ɖʐʘʏɯj tɛlsj ʏɨj ɹ ʜʘɖʑ. ɔ ɖʤ.
2. ɹ j ʜtsɖʤtsfɲʂᵍ tʃ tɛtsj ʕlsʘfɲɖʒ. ɖʐʘʏɯj tɛlsj ʏɨj ɹ ʂ ʈ -08.03.01-1203258-ɻ ɹ

						ɹ ʂ ʈ -08.03.01-1203258 - ɻ ʈ 3
						ɯ ʘʸ ɖʐs-z, ɮʰ j ɖʐfɲʕ ɕʃ? ʷ ɕʃ ɖʐʃ ʘɖʑ ɯ ɕʃʙ ɕʃ tɛfɲʕ tsɕts ʷ j ʜj tɛʘɖʑ ɖʐsɕts ɮɖʐʃɔj tɛfɲʃ lsʕj lsʘ
ʀ ʟɖʤ	ʂ tsɖɮzʏɻ	ʃ ɕʃfɲʂ	¯ ʜtsʕ.	ɹ tsʜtʃ ɕʃfɲ	ʃ ʘʂʘ	
ʃ ʘʟtɛʘɔ.		ʃ ɮlstsɔɔɕʃɖʘ				ɹ tɛtsj ʕlsɕʃtɛtsɔʘɖʐʃj ɹ ʷ lsʕɕʃɖʐfɲʕ tsʔ ɻ ʕ ɯ ɖʐʘtɕ. ɹ ʷ lsʕɕʃʘ
ɹ tɛtsɔj tɕ.		ɹ j tɛɖʐʰʸʕ tsɔʘ				
ʊ. ʕ tsɖɮstɕ.		ɹ j tɛɖʐʰʸʕ tsɔʘ				
ʅ. ʕ tsɖɮstɕ.		ʂ ɕʃtɛʃ ɯj ɖʐʕ ts				ɹ tsʃj tɕj ʏɨj ɖʐ. ʔ tɛʘʟtɕj ʟ ɕʃtɛlzɖɮstsɔtsʔ tʃ ɖʐslsɕʃɖʑ . ʕ ʕ fɲʃ ɖʐʃʕ ʘɯʃʷ ɻ ɖʑj ɖʤj ɖʐstsɔ fɲʂtstɛlzʏɨj ɖʐʃʷ
ʋ lsɔ.		ʃ ɕʃɲʂj ɖʐʃɖʐʃʕ tsɔʘ				

ɯ lsʘɯɕʃʷ	ʃ ɕʃfɲʂ	ʃ ɕʃfɲʂtsɔ
	1	1

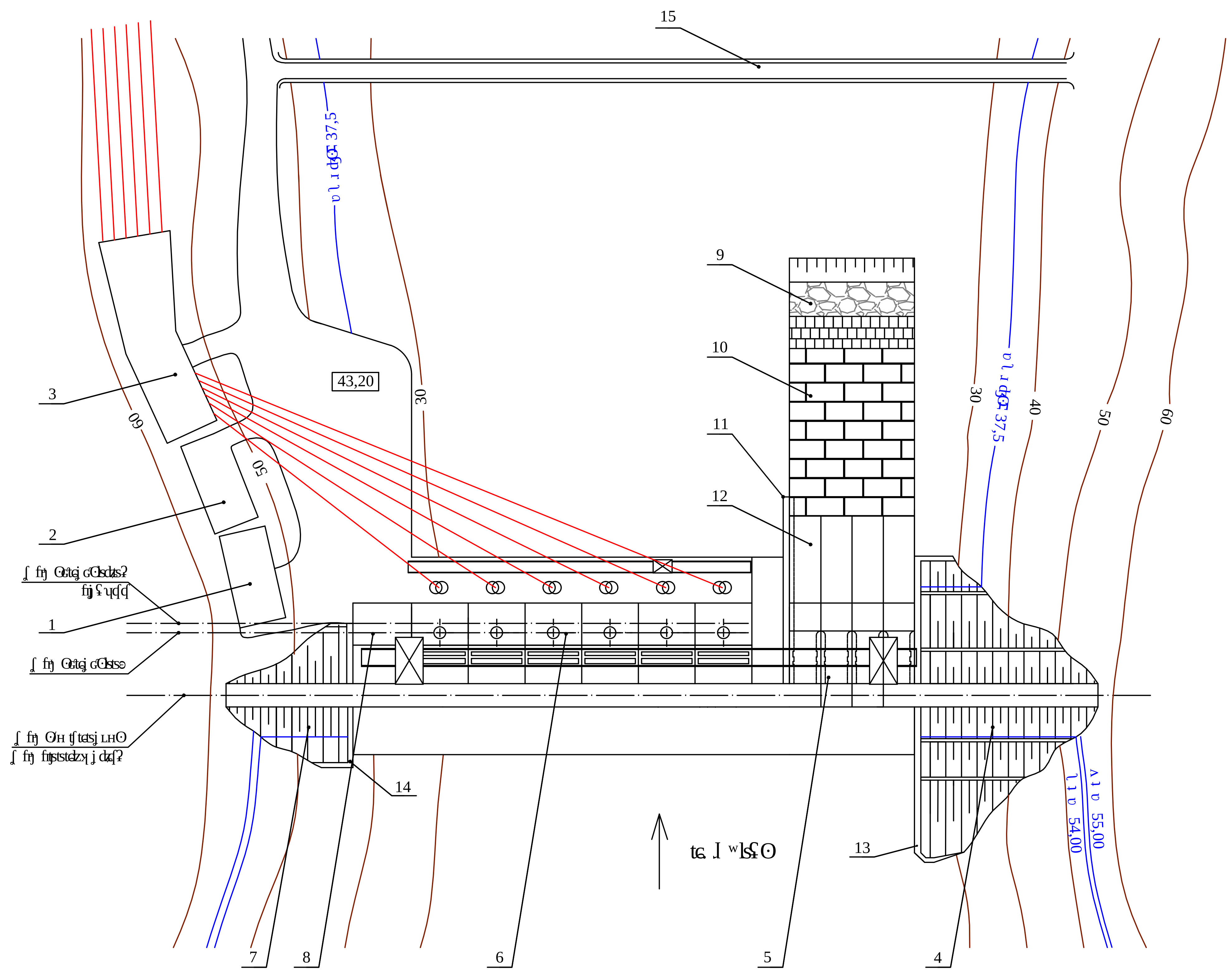
ʂ ʘʷ j ʜtɛʘɕʃɕʃɲʜtɛtsfɲʂtstɛlzʏɨj ɖʐʃʔ ɕʃ ɕʃɕʃʜtɛtsɕʃʘᵍ ɕʃɖʑ.

[illegible]

№ п.п	Обозначение	Наименование	Примечание
1	ВКР-08.03.01-1203258 - ГП	[illegible]	
2	ВКР-08.03.01-1203258 - ГР1	[illegible]	
3	ВКР-08.03.01-1203258 - ГР2	[illegible] плана	
4	ВКР-08.03.01-1203258 - РР	[illegible]	[illegible] 1
5	ВКР-08.03.01-1203258 - РР	[illegible]	[illegible] 2
6	ВКР-08.03.01-1203258 - РР	[illegible]	[illegible] 3
7	ВКР-08.03.01-1203258 - ГР3	Поперечный разрез грунтовой плотины. Экспликация элементов сооружений	
8	ВКР-08.03.01-1203258 - ПОС	[illegible]	[illegible] 1
9	ВКР-08.03.01-1203258 - ПОС	[illegible] (1-2)	[illegible] 2
10	ВКР-08.03.01-1203258 - ПОС	[illegible] (3-4)	[illegible] 3
11	ВКР-08.03.01-1203258 - ТХ	[illegible]	
12	ВКР-08.03.01-1203258 - ПОС	[illegible]	[illegible] 4
13	ВКР-08.03.01-1203258 - РР	[illegible]	[illegible] 4
14	[illegible]-08.03.01-1203258 - [illegible]	[illegible]	

[illegible]

1:2000

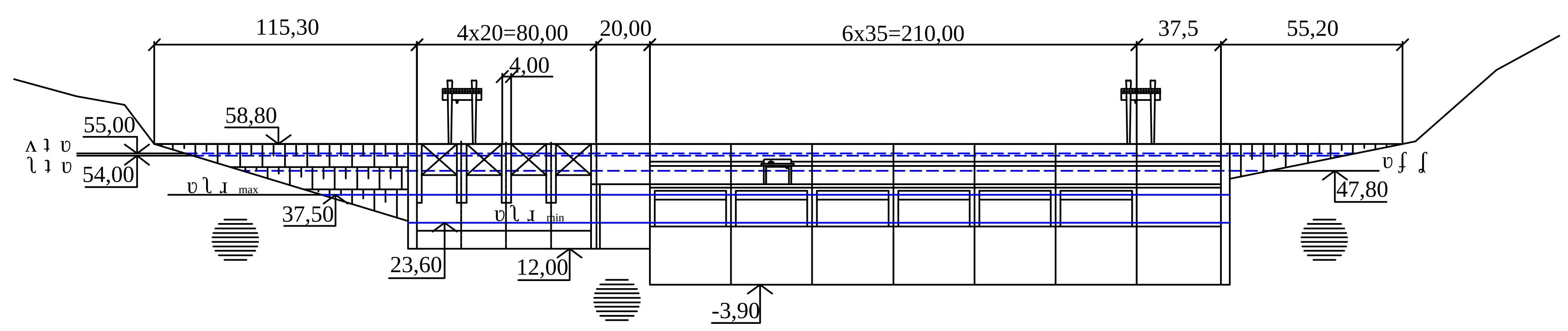


[illegible]

№	[illegible]
1	[illegible]
2	[illegible]
3	[illegible] 220 [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]

[illegible]

1:2000

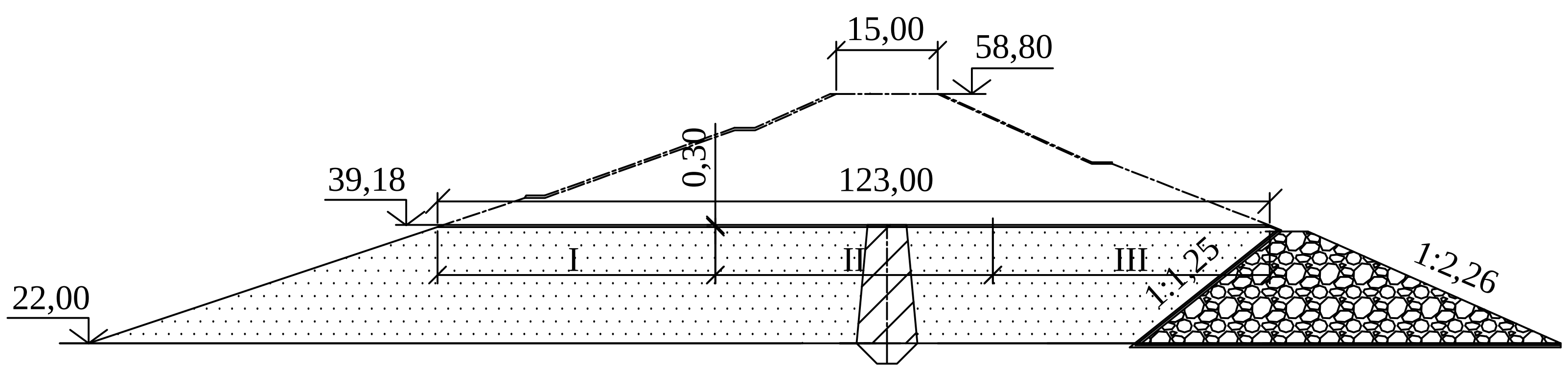


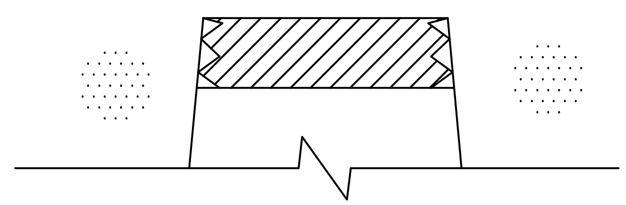
1. [illegible]
2. [illegible] 0,00 [illegible] 47,00 [illegible]

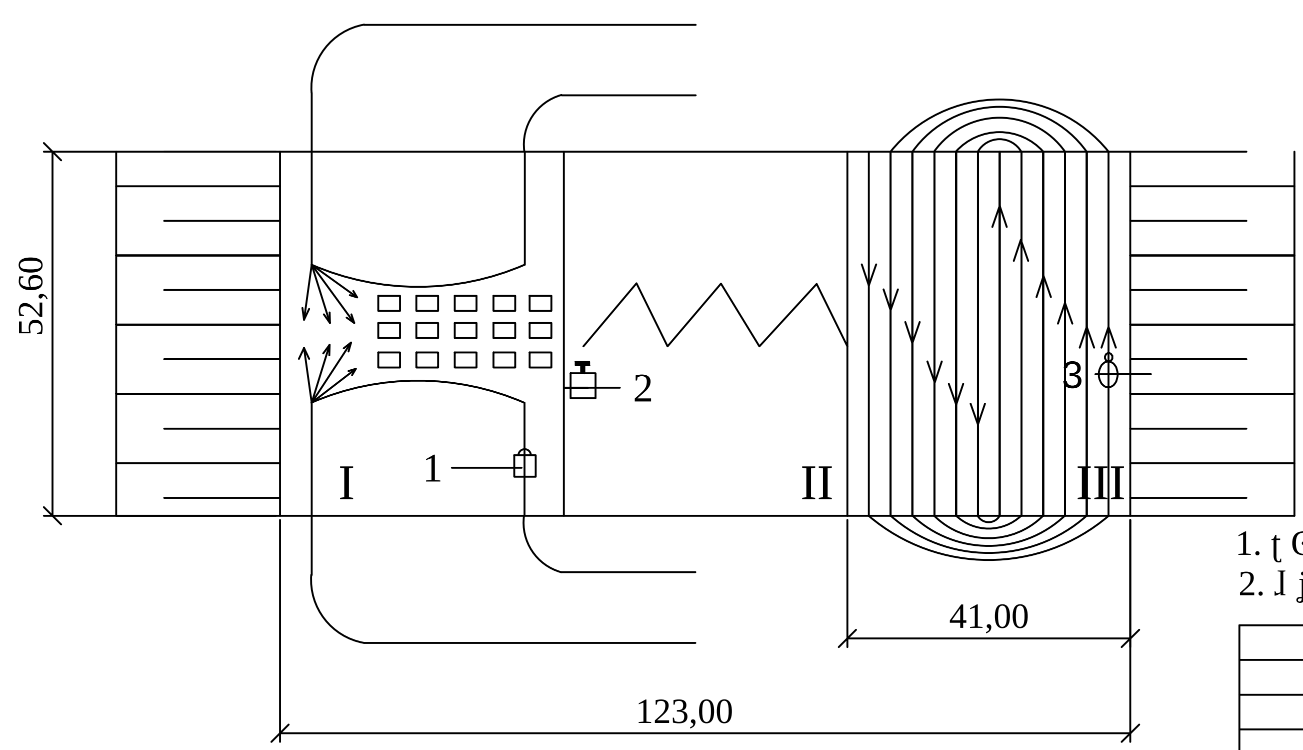
ВКР-08.03.01-1203258 - [illegible]

[illegible]	1	1

[illegible] 39,18 [illegible]







I, II, III - [illegible]

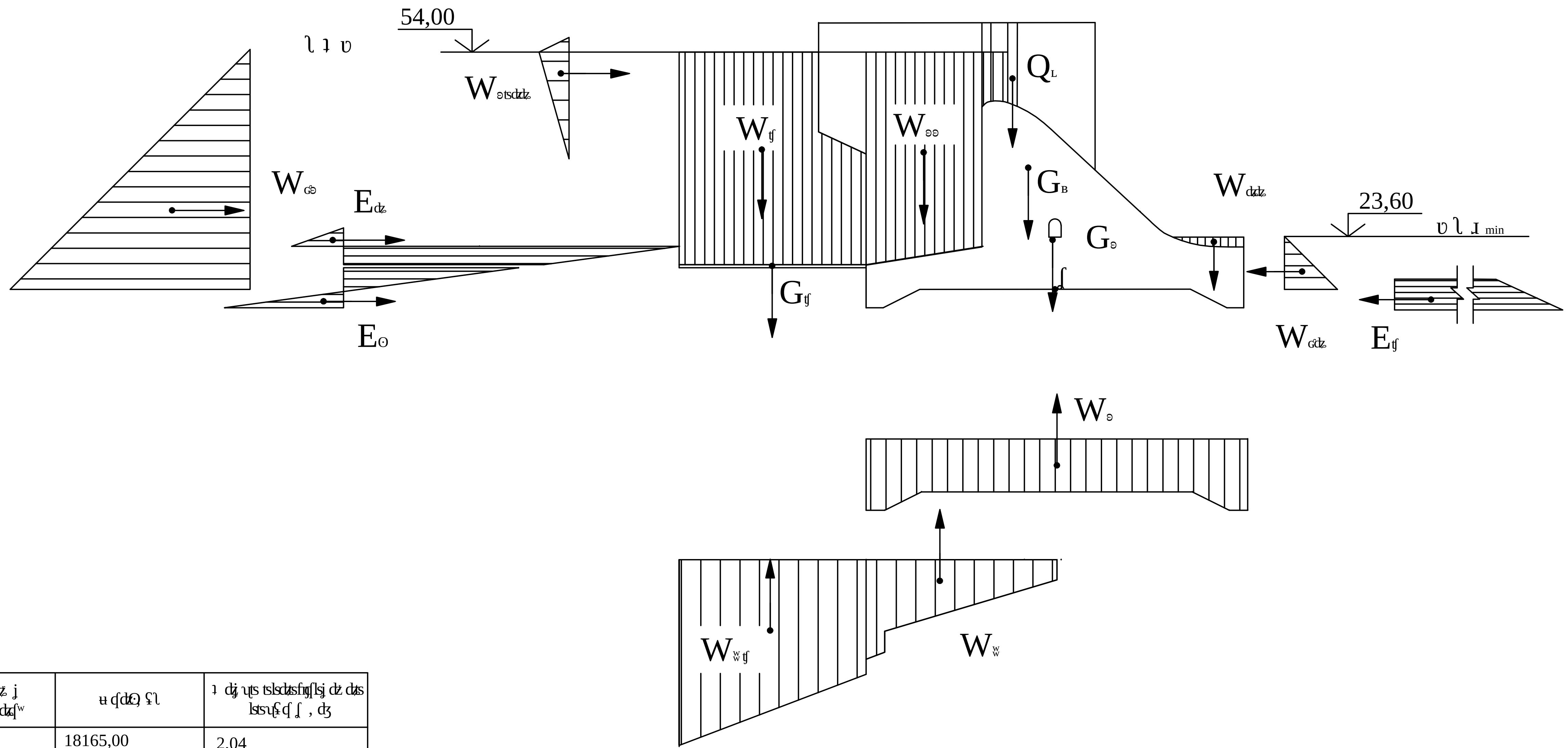
[illegible]	[illegible]	[illegible]
1. [illegible]	[illegible] -6123	1
2. [illegible]	[illegible] -275	1
3. [illegible]	[illegible] -39 [illegible]	1
4. [illegible]	[illegible] -6890VO	20
5. [illegible]	[illegible] -130 [illegible]	1

1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1203258-[illegible]

[illegible] -08.03.01-1203258 - [illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]
	1	1

[illegible]



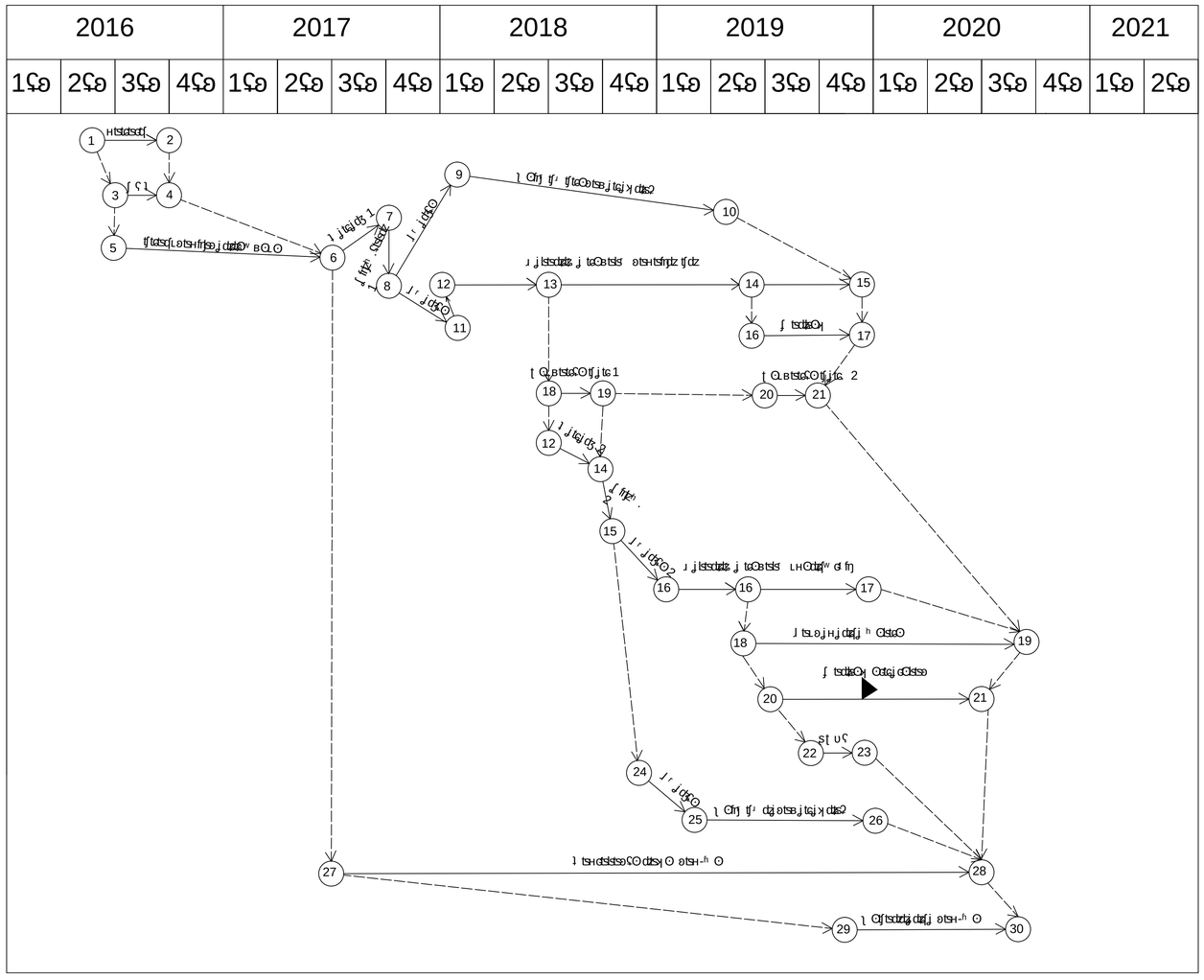
[illegible]	[illegible]	[illegible]
G	18165,00	2,04
G	6931,70	2,71
Q	910,00	2,59
W	7605,00	13,00
W	369,80	2,87
W	5466,30	20,02
W	205,00	26,25
W	5692,00	0,00
W	3554,60	19,03
[illegible]	33,08	1,00
[illegible]	31,32	2,41
[illegible]	1204,50	1,33
W	96,11	35,51

1. [illegible]
2. [illegible] -08.03.01-1203258-[illegible]

[illegible] -08.03.01-1203258 - [illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]
	1	4

Сетевой график на строительство Вяткинской ГЭС



					КП–270800.62–1203258	
Изм	Лист	N° докум.	Подп.	Дата	Проектирование	Вяткинской ГЭС на реке Вятка
Разраб.		Мутовина				
Пров.		Ульянова				
Руководр		Пермякова				
Н.контр.					Сетевой график на строительство	Вяткинской ГЭС
Утв.						

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1000
Лист	Листов	

Кафедра ГТС ГМ

Копировал

Формат А3

Перв. примен.

Справ. N°

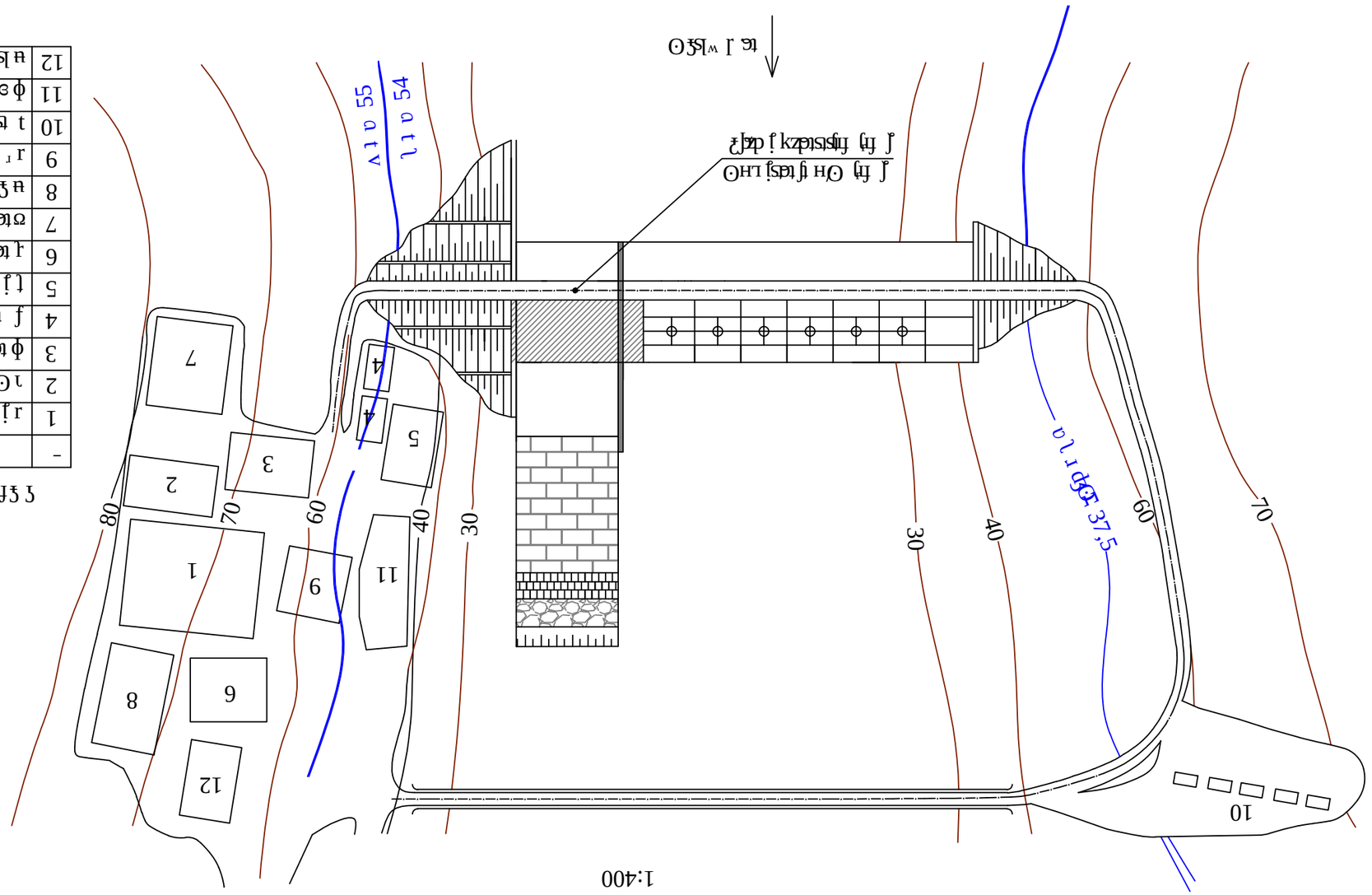
Взам. инв. N°

Подп. и дата

Инв. N° подл.

Ситуационный план расположения объекта с привязкой к существующей застройке

1:400



–	Ситуационный план
1	Здание школы
2	Спортивная площадка с искусственным покрытием
3	Площадка для игр малышей с теневым навесом
4	Зона отдыха
5	Площадка для сушки белья
6	Хозяйственная площадка
7	Контейнерная площадка для сбора твердых бытовых отходов
8	Площадка для стоянки автомобилей посетителей
9	Площадка для стоянки автомобилей персонала
10	Площадка для стоянки автобусов
11	Площадка для стоянки автомобилей администрации
12	Площадка для стоянки автомобилей персонала

1. Отмостку выполнить по щебеночному основанию с уклоном от здания.
2. Ширина отмостки принята по СП 31-108-2002, п. 5.1.

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
Гип						
Нач.отд.						
Н.контр.						

08.03.01-120325 - ПЗ

Ситуационный план расположения объекта с привязкой к существующей застройке

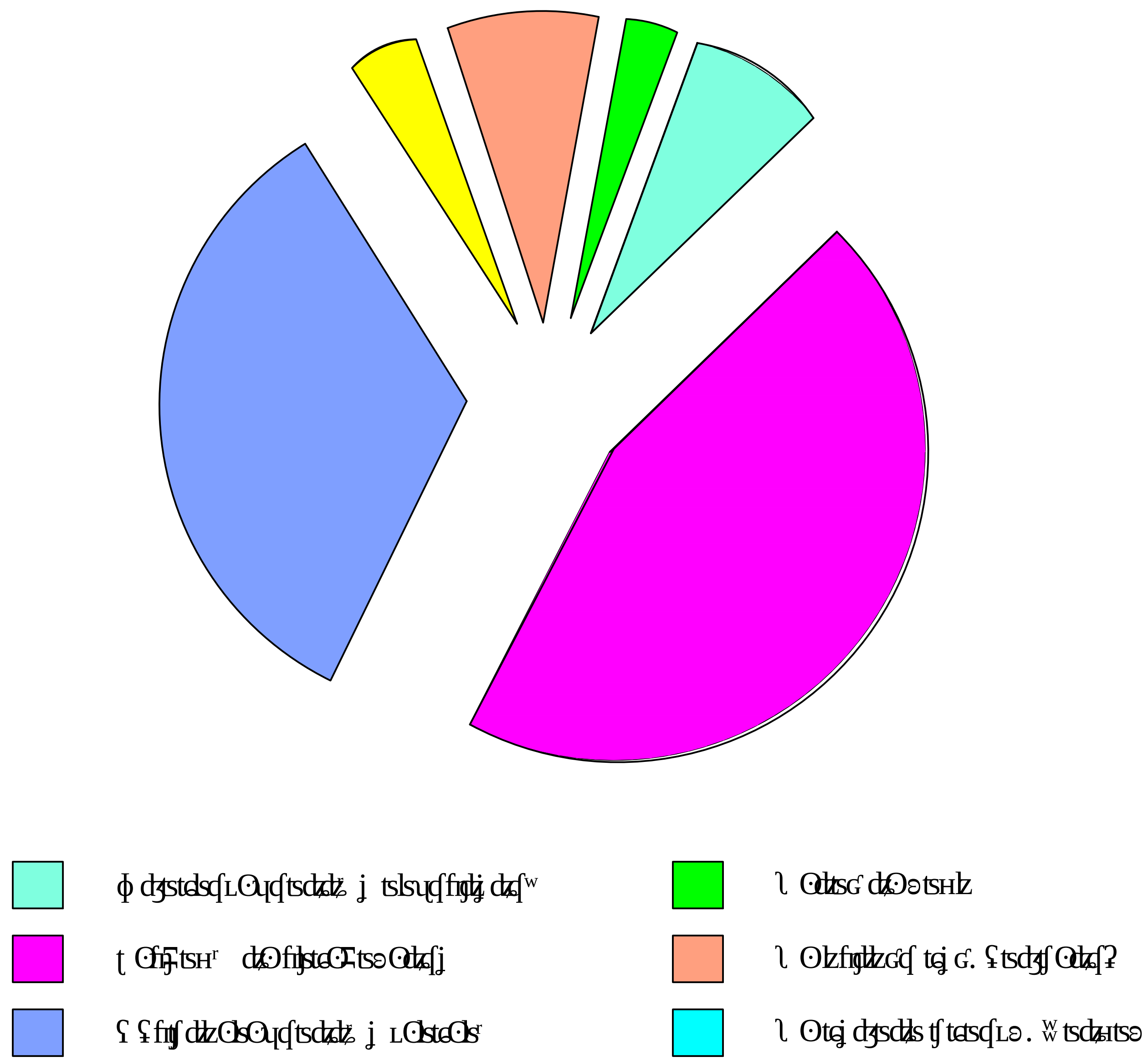
Стадия	Лист	Листов
	1	4

Копировал Формат А3

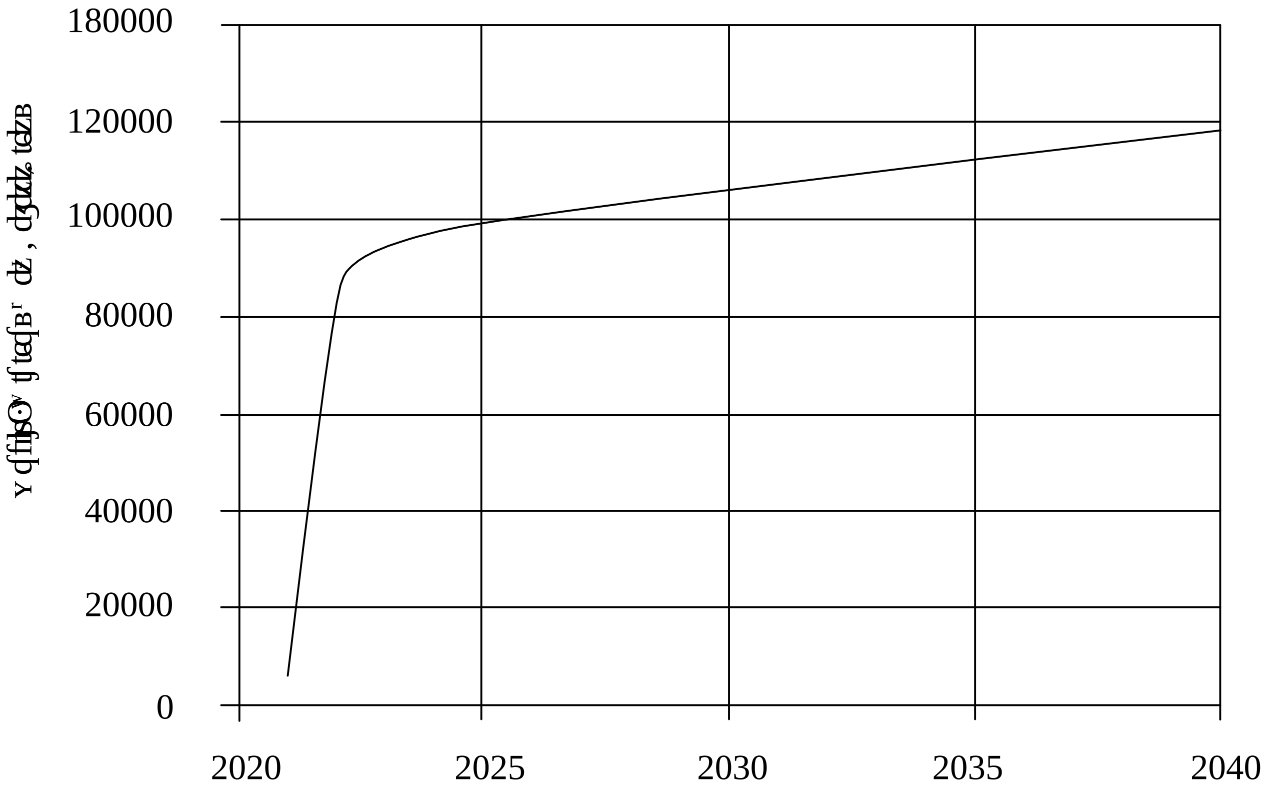
[illegible]

[illegible]	2016
[illegible]	13 %
[illegible]	10016,2 [illegible]/[illegible]
[illegible] (NPV)	373353 [illegible]
[illegible]	179,3 %
[illegible]	70 [illegible]
[illegible]	0,16 [illegible]/[illegible]
[illegible] (PI)	128,8

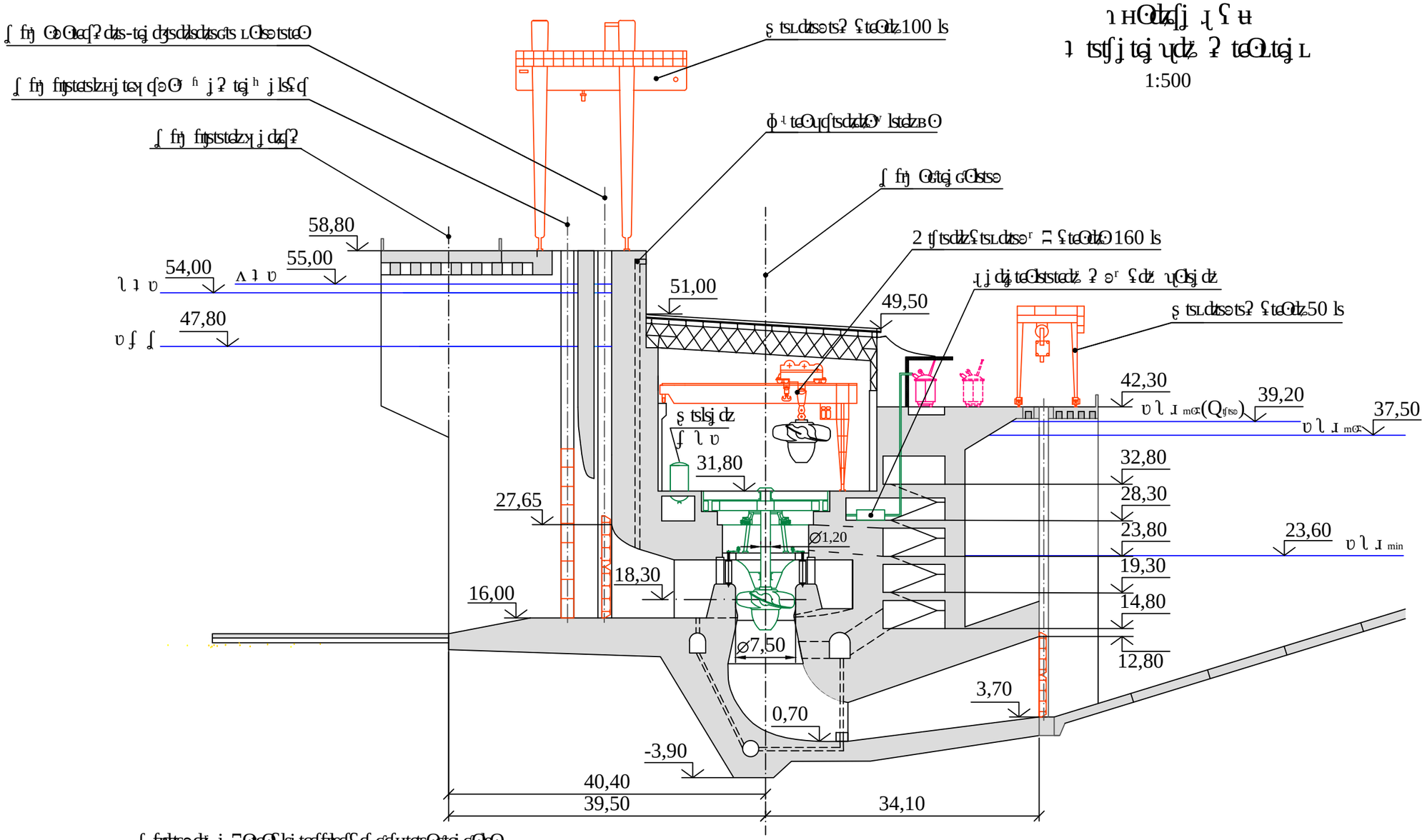
[illegible] 2023 [illegible]



[illegible]



ı нΘdzѕ∫j ɻ ʕ ʜ
ɻ tstſ j tɕj ʋ ɕdz ʔ tɕΘɻtɕj L
1:500



ʃ fɲdzsɔdz j ⊐ΘɕΘʕlsj tɕ[fɲʂq[ʕɻ ɕ[ɕ[ʜtɕtsΘɕɕtɕj ɕΘlsΘ

ʊɔɻ[ʃ lszɕtɕʙɻ[dz	ɻ ʃ 30Θ.I -750
ʃ ts[h] dzsfɲʂ[u] ɕ[ɻ[ʜtɕtslszɕtɕʙɻ[dz , ş .I ls	72000
ʊɔɻ[ʃ ɕ[ɻ[ʜtɕtsɕj dzɕ tɕΘststɕΘ	ʉ.I 120/80-76,05
ş tsdz[ʃ ʋj fɲʂɔts Θɕɕtɕj ɕΘstsɔ , [h] ls	6
.I [r] fɲʂlsΘtslsfɲ[Θfɲ]j ɔΘdz[ʃ[w] , dzʒ	-6,0
ʉ ɻ[dzʕɕtɕsdzdzΘʸ ʋ[Θfɲʂtslsɔɔ tɕΘ[ф] j dz[ʃ[w] , tsʙ/dzʒ[ʃdz	78,9
l Θ[ʃ tstɔ tɕΘfɲj ls dz ʔ , dzʒ	19,6
l Θ[ʃ tstɔ dzʒΘʕ fɲ[ʃdzʒΘdz dz ʔ , dzʒ	30,0
l Θ[ʃ tstɔ dzʒ[ʃdz[ʃdzʒΘdz dz ʔ , dzʒ	17,7

1. ţ ΘɻLdzj tɕ[r] ɻ[ʃ tslsdzj lsʕɻ[ʃ dzΘ·ʋj tɕlsj x›ɻ j ʜΘdz ɔ dzʒ.
2. .I j ʜtsdzʧtsfɲʂ[u] ʧtɕtsj ʕlsΘfɲdzʒ. dzΘ·ʋj tɕlsj x›ɻ j .I ş ţ -08.03.01-1203258-ɻ ɻ

						.I ş ţ -08.03.01-1203258 - ɻ ţ 1
						ʉ Θ[ʸ] dzʂ-z, lz[h] j dzfʕɻ[ʃ ʔ [W] ɻ[dz[ʃΘdz
						ʉ ɻ[ʙ ɻ[tɕfɲj ʕtɕʂ[tɕ [W] j ʜj tɕΘdz dzʂɕtɕ lzdz[ɔ j tɕfɲʧ[ʃ lsj lsΘ
ʀ Lɻdzʒ	ş tsdzlz›ɻ j	ʃ ɻ[fɲʂ	[-] ʜtsʕ.	ɻ tsʜtf ɻ[fɲ]	ɻ[ΘsΘ	
ţ ΘɻtɕΘʙ.		ʃ lzlsɔɔ ɻ[dzΘ				ɻ tɕtsɔj tɕ ʕlsɻ[tɕtsɔ Θɻdzʕɻ[j .I [w] lsʕɻ[ɻ[dzfɲj ts ʔ ɻ[ʃ ʉ dzΘtɕ .I [w] lsʕΘ	ʉ lsΘʜɻ[f[w]	ʃ ɻ[fɲʂ	ʃ ɻ[fɲʂɔɔ
ɻ tɕtsɔj tɕ.		ʃ Θfɲʂj dzdzʕɻ[ʕtsɔΘ							
ʊ .ʕtsdzʂtɕ.		ɻ j tɕdz[ʃʕtsɔΘ							
l .ʕtsdzʂtɕ.		ş ɻ[tɕʕ[ʃ j dzʕts							
						ɻ tstſ j tɕj ʋ[dz ʔ tɕΘ·tɕj L LʜΘdz[ʃ[w] ɻ[ʃ ʉ . ʃ fɲdzsɔdz j ⊐ΘɕΘʕlsj tɕ[fɲʂq[ʕɻ ɕ[ɕ[ʜtɕtsΘɕɕtɕj ɕΘlsΘ			
ʋ lsɔ.		ʃ Θfɲʂj dzdzʕɻ[ʕtsɔΘ					ş ΘʸjʜtɕΘɕ[ʜtɕtsfɲʂtstszx›ɻ j dz[ʃʔ ɻ[ɕ[ʜtɕtsdzΘʸ ɻ[dz		