

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

Кафедра Гидротехнических сооружений и гидравлических машин

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.А. Андрияс
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

08.04.01 Строительство

08.04.01.02 Гидротехническое строительство

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОГЭС ПРИ МАЛОМ РЯДЕ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Руководитель	_____	Доцент кафедры ГТС и ГМ Саяно-Шушенского филиала СФУ	<u>В.Б. Затеев</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.С. Глущенко</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	Руководитель группы режимов Оперативной службы Филиала ПАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»	<u>К.В. Терехов</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____		<u>А.А. Чабанова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Саяногорск, Черемушки 2020

АННОТАЦИЯ

Тема магистерской диссертации: Проектирование микроГЭС при малом ряде гидрологических наблюдений.

Объем диссертации составляет 54 страницы, 17 рисунка и 10 таблиц.

Предметом исследования является гидропотенциал водотока - ручей Черемуховый для выполнения водно-энергетических расчетов микроГЭС.

Ключевые слова: гидропотенциал, морфометрические характеристики, ГИС технологии, микроГЭС, деривационная ГЭС.

Магистерская диссертация состоит из аннотации, автореферата, содержания, введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и списка использованных источников.

Первая глава содержит общие сведения о состоянии малой гидроэнергетики и перспективах малых ГЭС.

Вторая глава посвящена определению и анализу морфометрических и гидрологических характеристик водотоков река Голубая и ручей Черемуховый.

В третьей главе рассмотрены варианты схем использования гидроэнергетического потенциала ручья Черемуховый.

В четвертой главе приведен пример использования полученных морфометрических и гидрологических характеристик при проектировании микроГЭС.

Заключение содержит основные выводы, в которых отражены достоинства предложенных способов определения морфометрических и гидрологических характеристик и дана оценка гидроэнергетического потенциала водотока. Приведены также схемы использования гидроэнергетического потенциала ручья Черемуховый и результаты расчетов для проектирования микроГЭС «Черемуховый лог».

АВТОРЕФЕРАТ

Актуальность. В настоящее время заметно усилился интерес к малой гидроэнергетике. Валовый гидроэнергетический потенциал малых рек России составляет свыше 1100 млрд. кВт*ч/год, а технический – 357 млрд. кВт*ч/год.

Гидроэлектростанции малой мощности обладают целым рядом преимуществ, которые делают их все более популярными. Прежде всего, стоит отметить экологическую безопасность микроГЭС – критерий, который становится все более важным в свете проблем защиты окружающей среды. Малые гидроэлектростанции не оказывают вредного влияния ни на свойства, ни на качество воды. Кроме того, для работы малых ГЭС нет необходимости в наличии больших водоемов. Они могут функционировать, используя энергию течения небольших рек и даже ручьев.

Использование микроГЭС, позволяет получить положительный эффект от их использования в экономической и социальной сферах на территориях, где строятся эти сооружения. Производство электрической энергии позволяет обеспечить энергетическую независимость и безопасность территории, отдельного предприятия или иного объекта. При строительстве не требуется сооружение больших гидротехнических сооружений, и как следствие, снижение стоимости строительно-монтажных работ.

Степень разработанности проблемы. При отсутствии единой методики оценки гидроэнергетического потенциала малых водотоков в силу многообразия природных условий эту проблему приходится решать индивидуально для каждого водотока. Таким же частным образом выбираются и оптимальные схемы использования гидроэнергетического потенциала.

Цель работы. Оценка гидроэнергетического потенциала водотока – ручья Черемуховый, и выбор оптимальной схемы использования этого потенциала. Дополнительная цель – предоставление морфометрических характеристик ручья Черемуховый, необходимых для проектирования микроГЭС «Черемуховый лог».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующий комплекс задач:

1. Определить морфометрические характеристики ручья Черемуховый, в том числе гидрологический ряд наблюдений за достаточный период.
2. Выполнить водно-энергетические расчеты для нескольких створов на ручье Черемуховый.
3. Рассмотреть различные варианты схем использования гидроэнергетического потенциала водотока – ручей Черемуховый.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является ручей Черемуховый, а предметом исследования - гидропотенциал ручья Черемуховый и возможные схемы его использования.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались следующие методы:

- метод гидрологической аналогии для определения гидрологического ряда достаточной продолжительности;
- гидрометрический метод определения расхода ручья Черемуховый;
- картографические методы и методы с использованием геоинформационных систем (далее ГИС-технологии) для нахождения морфометрических характеристик водотоков река Голубая и ручей Черемуховый.
- пакеты прикладных программ Word, AutoCad, Компас, Google Earth и другие программные комплексы.

Достоверность полученных результатов. Обоснованность и достоверность результатов проведенных расчетов определяется по большей части использованием методологии комплексного подхода к исследованию данной проблемы. В процессе работы над диссертацией были изучены и проанализированы отечественные и зарубежные источники. Полученная на основе результатов опубликованных исследований информация, была дополнена результатами собственных расчетов и исследований.

Научная новизна. Разработан комплекс методик для оценки гидроэнергетического потенциала малого водотока.

Практическая ценность работы. Предложены оригинальный способ определения гидрологического ряда ручья Черемуховый и варианты схем использования гидроэнергетического потенциала ручья Черемуховый. На основе полученных исходных данных выполнен водно-энергетический расчет микро-ГЭС «Черемуховый лог».

ABSTRACT

Relevance. Creation of a working model of a derivative hydroelectric station designed for educational purposes. Low power hydroelectric power plants have a number of advantages that make their equipment more and more popular. First of all, it is worth noting the environmental safety of micro hydropower plants - a criterion that is becoming increasingly important in the light of environmental protection problems. Small hydropower plants do not adversely affect either the properties or the quality of the water. In addition, for the operation of small hydropower plants there is no need for large reservoirs. They can function using the energy of the flow of small rivers and even streams.

The technical parameters of the micro hydroelectric power station depend on the hydraulic conditions: on the water flow rate - the volume of water in liters (or cubic meters) passing through the turbine in 1 second; from pressure - the distance from the upper to the lower point of water fall on the turbine. Depending on the characteristics of the pressure, high-pressure, medium-pressure and low-pressure micro HPPs are divided. Also, the structure of a micro hydroelectric power station depends on its layout.

The degree to which the problem is developed. Creation of the MicroHPP project with a small number of hydrological observations, as well as its suitability for scientific purposes, directly for laboratory work in the disciplines of the specialties 13.03.02 Electrical Power Engineering and Electrical Engineering, 08.02.01 Construction, and 15. 03.02 Technological Machines and Equipment in the direction of Hydroelectric Power Station, as well as for conducting research work by students and employees of the Sayano-Shushensky branch of the Siberian Federal University.

Purpose of work. Obtaining the hydrological characteristics of the Cheremukhovoy Creek, on which the construction of the micro-hydroelectric derivative type is supposed. The structure of the designed Micro hydroelectric station includes: a spillway dam with an unregulated spillway, a diversion water conduit, and a station part of the hydroelectric complex. The design head is 10 meters. Future power engineers - students of the Sayano-Shushensky branch of the Siberian Federal Uni-

versity, will be able to gain practical knowledge and skills for working at hydroelectric power stations at the Cheryomukhovoy Log Micro-hydroelectric Power Station.

Cheremukhovoy Creek is located near the working village of Cheremushki, the city of Sayanogorsk, the Republic of Khakassia, bordering the Krasnoyarsk Territory, the Kemerovo Region and the Republic of Tyva.

To achieve this goal it is necessary to solve the following set of tasks:

1. To analyze the basic methods for constructing a hydrological series.
2. Make the necessary technical calculations of the designed station.
3. Take into account the environmental aspects of the construction and further operation of such a structure.

Object and subject of research. The object of study is the projected MicroGES.

The subject of the study is the feasibility study for the construction of MicroGES.

Research Methods. To solve the set tasks, we used a set of previously studied and proven methods for calculating the technical and economic part of this work, application packages Word, AutoCad, Compass, Google Earth and other software system.

The reliability of the results. The validity and reliability of the results of the calculations is determined for the most part using the methodology of an integrated approach to the study of this problem. In the process of work on the dissertation, domestic and foreign sources were studied and analyzed. The information obtained on the basis of the results of published studies was supplemented by the results of our own calculations and studies.

Scientific novelty. A detailed technical and economic calculation of a particular decentralized settlement of the Republic of Khakassia was carried out, during the calculation of which:

1. The main technical nuances of the construction of MicroGES were taken into account.
2. Testing of new methods of designing, building, constructing and manufacturing equipment for small and micro hydroelectric power stations on the basis of the Sayano-Shushensky branch of the Siberian Federal University.
3. Created tech-

nical schemes necessary for construction. 4. The environmental aspects of construction in this region are taken into account.

The practical value of the work. One of the possible ways of determining the hydrological series of the Cheremukhovy stream is proposed using mathematical operations with the hydrological series of the Golubaya River.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 Общие сведения о состоянии малой энергетики и перспективах малых ГЭС.11	
2 Определение и анализ морфометрических и гидрологических характеристик водотоков река Голубая и ручей Черемуховый	19
2.1 Определение морфометрических характеристик ручья Черемуховый	19
2.2 Определение гидрологических характеристик ручья Черемуховый.....	21
3 Оценка гидропотенциала ручья Черемуховый и схемы его использования....	28
4 Проектирование микроГЭС	33
4.1 Определение максимальных расчетных расходов	33
4.2 Кривые обеспеченности стока.....	35
4.3 Выбор расчетного маловодного и средневодного года.....	36
4.4 Определение типа регулирования.....	37
4.5 Определение установленной мощности на основе водно-энергетических расчетов.....	38
4.5.1 Перераспределение стока маловодного года.....	38
4.5.2 Водно-энергетические расчеты по условию маловодного года.....	39
4.5.3 Водно-энергетические расчеты по условиям средневодного года.....	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	43
ПРИЛОЖЕНИЯ А-Б	45-54

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время заметно усилился интерес к малой гидроэнергетике. Гидроэлектростанции малой мощности обладают целым рядом преимуществ, которые делают их все более популярными. Прежде всего, стоит отметить экологическую безопасность малых ГЭС – критерий, который становится все более важным в свете проблем защиты окружающей среды. Малые ГЭС не оказывают вредного влияния ни на свойства, ни на качество воды. Кроме того, для работы малых ГЭС нет необходимости в наличии больших водоемов. Они могут функционировать, используя энергию течения небольших рек и даже ручьев.

Использование малых ГЭС позволяет получить положительный эффект от их использования в экономической и социальной сферах на территориях, где возводятся эти сооружения. Производство электрической энергии позволяет обеспечить энергетическую независимость и безопасность территории, отдельного предприятия или иного объекта. При строительстве не требуется сооружение больших гидротехнических сооружений, и как следствие, снижение стоимости строительно-монтажных работ.

Перспективными направлениями является применение малых ГЭС на реках в предгорных и горных районах, где сам ландшафт создает необходимый напор воды.

Использование малых ГЭС – для России вовсе не новое, а хорошо забытое старое: в 50-60-х. годах у нас работало несколько тысяч малых ГЭС. В настоящее время их количество едва достигает нескольких сотен штук. Между тем, постоянный рост цен на органическое топливо приводит к значительному удорожанию электрической энергии, доля которой в себестоимости производимой продукции достигает более 20%. На этом фоне малая гидроэнергетика приобретает новую жизнь.

1 Общие сведения о состоянии малой энергетики и перспективах

малых ГЭС

Россия — одна из наиболее водообеспеченных стран мира. Поверхностные воды занимают 12,4% территории России. Гидроэнергетический потенциал России колоссален, но на сегодняшний день используется слабо. Неосвоенными остаются 80% гидроресурсов. Использование энергии малых рек представляется одним из наиболее актуальных направлений в деле освоения гидроэнергоресурсов России.

Общая протяжённость российских рек превышает 8 млн. км. При этом 90% рек имеют длину менее 100 км всего в России более 2,5 млн. малых рек. Они формируют около половины суммарного объема речного стока (более 1000 км³).

Валовый гидроэнергетический потенциал малых рек России оценивают более чем в 1100 млрд. кВт*ч/год, а технический – 357 млрд. кВт*ч/год. Реальное использования этого потенциала в настоящее время составляет примерно 2,2 млрд. кВт*ч/год.

В российских условиях использование энергии небольших водотоков является одним из наиболее эффективных направлений развития возобновляемых источников энергии, одной из реальных возможностей решения проблемы электроснабжения отдалённых энергодефицитных регионов, занимающих до 40% ее территории. Там, где нет распределительных линий электропередач, и куда доставка органического топлива сопряжена с большими временными, техническими и финансовыми проблемами. В то же время гидроэнергетический потенциал малых рек сосредоточен как раз в таких районах (рисунок 1.1).

Строить малые ГЭС рационально там, где социально-экономические условия и перспективы развития местного производства недостаточны для большой энергетики. Роль малых ГЭС особенно велика в отдалённых регионах (Восточная Сибирь, Камчатка, Дальний Восток, горные районы) с рассредото-

ченными потребителями энергии. Преобладающие здесь электростанции работают на дизельном топливе, а оно с каждым годом дорожает.

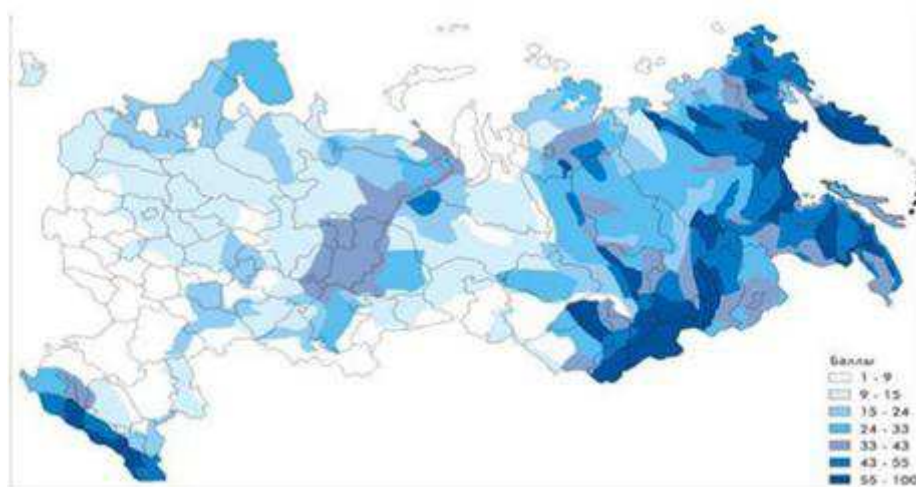


Рисунок 1.1 – Распределение гидроресурсов малых рек по территории РФ

Возобновление интереса к малым ГЭС обусловлено следующими преимуществами малой энергетики:

- Современная гидроэнергетика, по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики, является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии;

- В отличие от других экологически безопасных возобновляемых источников электроэнергии, таких как солнце, ветер, малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю;

- Быстрый прогресс в области создания миниатюрных автономных электронных устройств по контролю и регулированию технологических процессов, в том числе и по дистанционному управлению малыми гидрогенераторами, работающими в сети автономно;

- Еще одно преимущество малой энергетики – экономичность. В условиях, когда природные источники энергии – нефть, уголь, газ – истощаются, постоянно дорожают, использование дешевой, доступной, возобновляемой энер-

гии рек, особенно малых, позволяет вырабатывать дешевую энергию. К тому же сооружения объектов малой гидроэнергетики характеризуется низкой затратностью и быстро окупается, отсутствуют проблемы, характерные для крупной энергетики (строительство сложных и дорогостоящих гидросооружений, затопление местности и т.п.).

Малая энергетика занимает довольно значительное место в мировой гидроэнергетике. В Западной Европе, насчитывается около 4 тыс. малых ГЭС, в Китае – более 45 тыс. На рисунке 1.2 представлена доля производства электроэнергии вырабатываемой малыми ГЭС в разных странах.

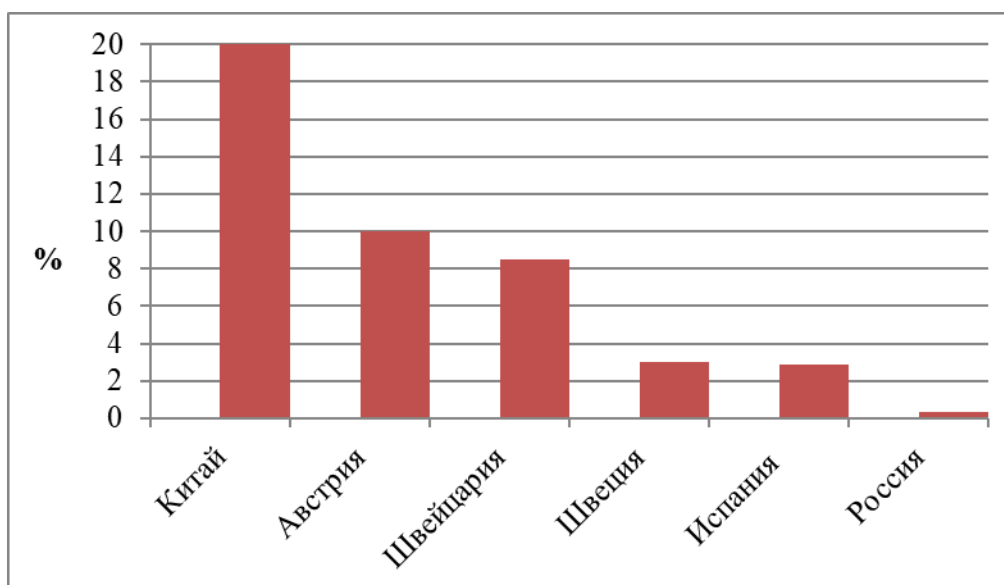


Рисунок 1.2 – Доля производства электроэнергии, вырабатываемой МГЭС

В России развитие малой гидроэнергетики было очень стремительным в 1920-х гг. (план ГОЭЛРО) и 1950-1960-х гг. В это время было возведено более 6000 МГЭС. Это явилось одной из причин быстрого восстановления народного хозяйства и развития отраслей горнодобывающей промышленности и тяжелого машиностроения (рисунок 1.3).

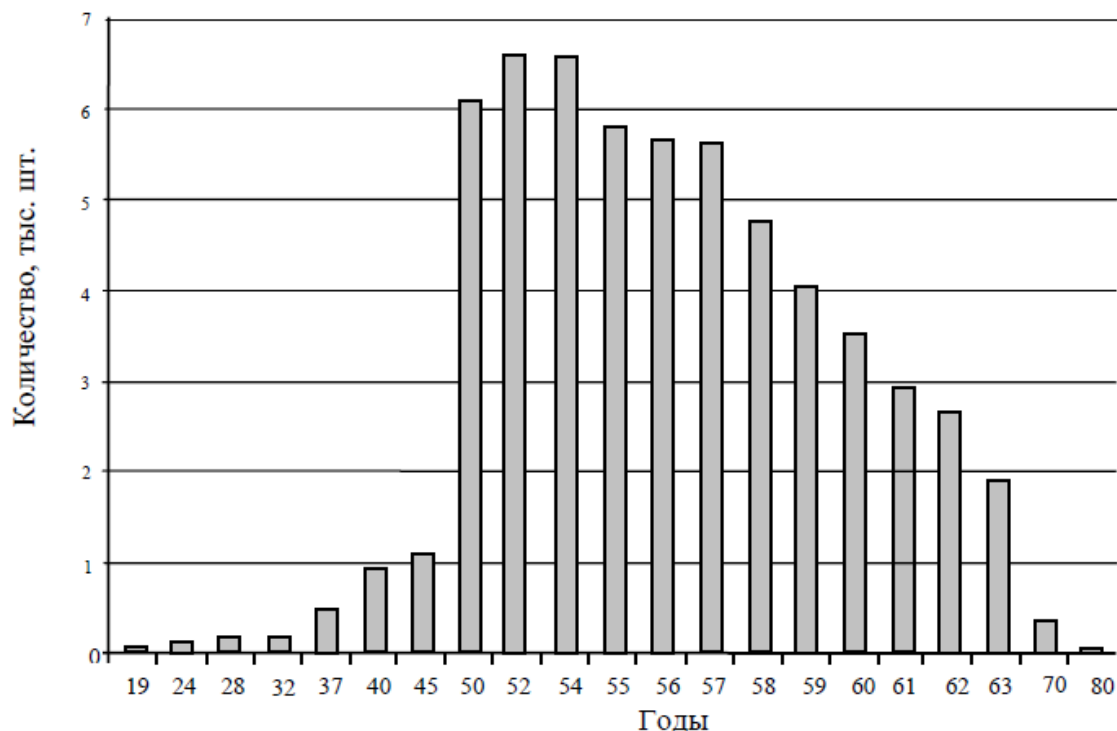


Рисунок 1.3 - Действующие малые ГЭС в России с 1919 по 1980 гг.

В дальнейшем планы на строительство ГЭС большой мощности, способные обеспечивать централизованное электроснабжение, привели к прекращению выпуска оборудования для МГЭС, а большинство малых станций было остановлено и закрыто. В настоящее время интерес к малой энергетике вызван постоянным ростом тарифов на электроэнергию и нефтепродукты, а также использованием малоэффективных дизельных электростанций в удаленных, децентрализованных населенных пунктах. Затраты на транспортировку топлива в эти районы приводят к существенному увеличению себестоимости вырабатываемой электроэнергии на ДЭС. В связи с вышесказанным, очевидно, что малая гидроэнергетика для изолированных районов рассматривается как один из альтернативных источников энергии, способный уменьшить проблему транспортировки дизельного топлива, а в отдельных случаях и вовсе ее снять. Строительство малых ГЭС так же может повысить надежность энергоснабжения и энергетическую независимость отдельных регионов.

В 90-е годы прошлого века в связи с нестабильной экономической ситуацией в стране и ограничением финансовой поддержки со стороны государства, а также тенденцией на передачу государственных активов в энергетическом секторе в частные руки внимание многих потребителей вновь обратилось к малым ГЭС. Потенциальными заказчиками таких станций являются удаленные поселки, малые производства, туристические базы и т.п.

Помимо выше перечисленных достоинств, у малой гидроэнергетики есть и свои недостатки:

- прямая зависимость выработки энергии от гидрологического режима реки;
- быстрое заиливание небольших приплотинных водохранилищ;
- недостаточная изученность гидрологического режима стока малых водотоков;
- высокие удельные затраты на строительство (ГЭС до 1 МВт в среднем 5000 долл/кВт, в ценах 2008 г.).

Опираясь на мировой опыт, можно сделать вывод о том, что удельные затраты могут быть снижены в случае организации серийного производства оборудования, доля которого 40-60% от общей стоимости МГЭС. В комплект поставки оборудования для малой ГЭС входят турбина, генератор и система автоматического управления (САУ). Современные САУ не требуют постоянного присутствия персонала.

В России к малой гидроэнергетике относят гидроэлектростанции, мощность которых не превышает 30 МВт, а мощность единичного гидроагрегата составляет менее 10 МВт. Такие ГЭС, в свою очередь, делятся на:

- малые ГЭС (мощностью от 100 кВт до 30 МВт);
- микро-ГЭС (мощностью от 1.5 до 100 кВт).

В зарубежных странах градация малых ГЭС иная (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Градация малых ГЭС в зарубежных странах

Германия	Франция	Люксембург	Китай
до 5 МВт	до 12 МВт	до 3 МВт	до 50 МВт

Стоимость оборудования для малых ГЭС в настоящее время в России лежит в диапазоне от 800 до 2000 долл/кВт.

Гидрогенераторы в России производят:

- «Силовые машины» (г.Санкт-Петербург);
- НПО «ЭЛСИБ» (г.Новосибирск);
- «РУСЭЛПРОМ-Инжиниринг» (г.Санкт-Петербург);
- «Электротяжмаш-Привод» (г.Лысьва).

Основным заказчиком оборудования является ПАО «РусГидро». В последнее время компания обратила свое внимание на перспективы малой гидроэнергетики в России.

Некоторые предприятия-производители оборудования для малых ГЭС успешно ведут свою деятельность и за пределами нашей страны:

- 1) «Тяжмаш» - заказ на поставку турбин в Эквадор.
- 2) «РУСЭЛПРОМ-Инжиниринг» - поставка оборудования в Бразилию и Швецию.
- 3) АО МНТО «ИНСЭТ» - сотрудничество с Японией, Швецией, Бразилией и странами ближнего зарубежья.

Следует отметить, что и в нашей стране начали появляться иностранные производители и совместные предприятия (СП). ОАО «РусГидро» и французская компания «Alston» заключили контракт на строительство завода по производству гидросилового оборудования в Башкирии. Известно о планах создания СП с «Voith hydro» (Австрия), строительство завода по производству турбин в Саратовской области, а также ПАО «РусГидро» подписало два соглашения о сотрудничестве с Китайскими компаниями «PowerChina» и «Dongfang Electric».

Таким образом, на российском рынке создаются благоприятные условия для «здоровой» конкуренции. Качество оборудования, произведенного в нашей стране, соответствует международным стандартам. Главным недостатком является отсутствие серийного производства, но в этом направлении уже работают многие производители (МНТО «ИНСЭТ», «МАГИ-Э» и др.).

Проектированием и разработкой оборудования для МГЭС занимаются многие российские научно-производственные организации и фирмы. Одна из крупнейших – межотраслевое научно-техническое объединение «ИНСЭТ» (г. Санкт-Петербург). Специалистами «ИНСЭТ» разработаны и защищены патентами оригинальные технические решения систем автоматического управления малыми и микро-ГЭС. Использование таких систем не требует постоянного присутствия на объекте обслуживающего персонала – гидроагрегат надежно работает в автоматическом режиме. Система управления может быть выполнена на базе программируемого контроллера, который позволяет визуально контролировать параметры гидроагрегата на экране компьютера. В комплект поставки входят, как правило, турбина, генератор и система автоматического управления гидроагрегатом. Проточные части всех турбин разработаны с использованием методов математического моделирования.

Темпы развития Российских предприятий тормозит отсутствие нормативной базы для создания оборудования по передовым технологиям, а также проблемы инвестирования данной отрасли.

В Китае, где производство ориентировано на модульный принцип и генераторы являются полностью автоматизированными, инвестиции окупаются уже через 1,5-2 года. По данным на 2010 год Китай построил более 40 тыс. малых ГЭС суммарной мощностью 55 ГВт.

В России планируется как строительство малых ГЭС, так и восстановление и модернизация существующих станций, в основном, это объекты в Сибири, Дальнем Востоке и Северном Кавказе.

На Дальнем Востоке в работе находятся более 3 тысяч дизельных станций, мощностью от 100 до 500 кВт. Снабжение региона электроэнергией на-

прямою зависит от поставок дизельного топлива. На Дальнем Востоке на сегодняшний день предложено строительство 7 малых ГЭС. Строительство их и других ВИЭ позволит существенно снизить затраты на энергоносители, снять нагрузку с автодорог и сделать регион более энергонезависимым.

На юго-западе Сибири, в республике Алтай уже имеется опыт строительства малых ГЭС. В 2002 году ввели МГЭС на реке Кайру с установленной мощностью 200 кВт.

В Дагестане с 1990 по 2007 год было введено 5 малых ГЭС. Разработана технология «Прометей» строительства унифицированных МГЭС. По технологии «Прометей» в 2007 году было построено три малых ГЭС – Амсарская, Аракульская и Шиназская.

По инвестиционной программе на 2012-2020 год, компания РусГидро собирается вложить в возобновляемые источники энергии (ВИЭ) около 12 млрд. рублей.

Важную роль играет государственная поддержка данного направления. Наиболее эффективные формы стимулирования ВИЭ, с учетом опыта России и других стран:

- выделение субсидий для инвестиций, вкладываемых в ВИЭ;
- снижение ставок по налогам для владельцев ВИЭ;
- финансовая поддержка научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР);
- введение налога на ископаемые с учетом эмиссии CO₂;
- создание нормативно правовой базы для ВИЭ;
- политика поддержки со стороны правительства;
- и прочее.

В некоторых странах применяется «зеленый тариф», эффективная мера поддержки ВИЭ. Идея состоит в том, что электроэнергию вырабатываемую ВИЭ покупают по более высокой цене, а завышение цены финансируется государством.

2 Определение и анализ морфометрических и гидрологических характеристик водотоков река Голубая и ручей Черемуховый

2.1 Определение морфометрических характеристик ручья Черемуховый

Ручей Черемуховый протекает в Черемуховом логу, который находится вблизи рабочего поселка Черемушки, г. Саяногорска, Республики Хакасия (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Площадь водосбора участка ручья Черемуховый

Информация о гидрографических исследованиях ручья Черемуховый не обнаружено, по-видимому, такая работа и не проводилась.

Морфометрические характеристики участка ручья Черемуховый от истока до створа № 1 и соответствующего водосборного бассейна были определены с использованием картометрических работ по топографическим картам масштаба 1:100 000, а также ГИС-технологий с помощью программного комплекса Google Earth [4].

Створ № 1 находится в 1225 м от устья ручья Черемуховый (отметка дна 418.00) и является фактически самым нижним створом, в котором может быть возведено подпорное сооружение, по следующим причинам. Сразу за створом № 1 начинается спортивный комплекс, вдоль которого ручей Черемуховый протекает в железобетонной трубе. Ниже по течению на пологой террасе расположен рабочий поселок Черемушки и проходит автомобильная трасса, связывающая Саяно-Шушенскую ГЭС и г. Саяногорск (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Местоположение створа № 1 на ручье Черемуховый

В результате проведенных гидрографических исследований были получены следующие результаты:

- Длина исследуемого участка водотока – 5600 м;
- Средний уклон водотока – 0,13;
- Максимальный уклон водотока – 0,85;
- Извилистость водотока (отношение длины участка водотока к прямой, соединяющей исток и конечную точку участка – 1.1);
- Площадь водосбора – 5,6 км²;

- Средняя высота водосбора – 811.50;
- Средний уклон склонов – 0.84;
- Густота речной сети (длина русловой сети, приходящаяся на единицу площади водосбора) – 0,18.

2.2 Определение гидрологических характеристик ручья Черемуховый

В связи с тем, что сведения о гидрологических изысканиях на ручье Черемуховый отсутствуют, для определения гидрологических характеристик в створе № 1 был организован гидрометрический пост. Створ был оборудован деревянным лотком прямоугольного поперечного сечения длиной 1 м, шириной 1,5 м и высотой 0.30 м. Измерение скорости потока проводилось поверенным расходомером марки ГР-100.

Измерения были начаты 16.06.2019 и проводились по мере возможности ежедневно. Значения текущих расходов приведены в приложении А, значения среднемесячных расходов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Значения среднемесячных расходов р. Черемуховый в створе № 1

Год	2019						
Месяц	Июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Q, м ³ /с	0,075	0,217	0,239	0,064	0,08	0,067	0,018
Год	2020						
Месяц	январь	февраль	март	апрель	май		
Q, м ³ /с	0,009	0,009	0,010	0,033	0,033		

Основным методом гидрологических расчетов характеристик речного стока, необходимых для водохозяйственных и водно-энергетических расчетов, а также определения условий работы гидротехнических сооружений, является обобщение материалов гидрометрических наблюдений на водотоке в течение

длительного периода. Только длительный ряд наблюдений может служить надежной базой для расчетов, так как воздействие климатических и физико-географических факторов приводит к значительным колебаниям как годового, так и внутригодового стока по отдельным сезонам. Таким рядом могут быть наблюдения за период не менее 20–25 лет.

На базе короткого ряда наблюдений водно-энергетические расчеты микроГЭС «Черемуховый лог» с приемлемой точностью выполнить невозможно. Для решения этой проблемы был построен расчетный гидрологический ряд необходимой продолжительности с использованием метода гидрологической аналогии. Этот метод состоит в выборе реки-аналога, для которой существует ряд гидрологических наблюдений необходимой продолжительности, и в создании расчетного гидрологического ряда для рассматриваемого водотока.

За реку-аналог принимают реку, удовлетворяющую требованиям, приведенным в СП 33-101-2007 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» [3]:

- географическая близость расположения водосборов;
- однородность условий формирования стока, сходство климатических условий, однотипность почв (грунтов) и гидрологических условий, близкую степень озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;
- средние высоты водосборов не должны существенно отличаться, для горных и полугорных районов;
- отсутствие факторов существенно искажающих речной сток.

Вышеуказанным условиям отвечает река Голубая, находящаяся в том же регионе, на удалении 16 километров от ручья Черемуховый (рисунок 2.3). Река Голубая также горного типа.



Рисунок 2.3 – Взаиморасположение ручья Черемуховый и реки-аналога Голубая

Для реки Голубая морфометрические характеристики участка от истока до гидрометрического поста, расположенного в 2,7 км выше деревни Сизая и соответствующего водосборного бассейна были также определены с использованием картометрических работ и ГИС-технологий (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Площадь водосбора участка реки Голубая

В результате проведенных гидрографических исследований для реки Голубая и водосборного бассейна были получены следующие результаты:

Длина участка водотока – 11500 м;

Средний уклон водотока – 0,015;

Максимальный уклон водотока – 0,68;

Извилистость водотока (отношение длины участка водотока к прямой, соединяющей исток и конечную точку участка – 1,16);

Площадь водосбора – 138,36 км²;

Средняя высота водосбора – 447,50;

Средний уклон склонов – 0,64;

Густота речной сети (длина русловой сети, приходящаяся на единицу площади водосбора) – 0,36.

Сопоставляя морфометрические характеристики ручья Черемуховый и реки Голубая можно сделать вывод о том, что река Голубая, действительно может быть принята в качестве аналога ручью Черемуховый.

Гидрологический ряд среднемесячных расходов реки Голубая за период с 1954 по 1994 годы был предоставлен Хакасским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (приложение Б).

Для получения расчетного гидрографа ручья Черемуховый в створе № 1 была предложена следующая методика. Из имеющегося ряда многолетних наблюдений на реке Голубая был выбран год-аналог, для которого соотношения расходов в реке Голубая и в ручье Черемуховый в июне, июле и августе наиболее близки. Таким годом-аналогом был выбран 1987 год. Соотношения расходов для ручья Черемуховый и реки Голубая приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Соотношения расходов по месяцам для ручья Черемуховый и реки Голубая

Водоток	Июнь/Июль	Июнь/Август	Июль/Август
р.Черемуховый 2019 г.	0,345	0,314	0,908
р. Голубая 1987 г.	0,44	0,370	0,85

Затем из соотношения расходов в июне, июле и августе реки Голубая в 1987 году и ручья Черемуховый в 2019 году был получен коэффициент перехода от расходов реки Голубая к расходам ручья Черемуховый (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Расчет коэффициента перехода от расходов реки Голубая к расходам ручья Черемуховый

Водоток	Июнь	Июль	Август
Расход р. Черемуховый 2019 г., м ³ /с	0,075	0,217	0,239
Расход р. Голубая 1987 г., м ³ /с	2,37	5,29	6,40
Коэффициент перехода	31,6	24,4	26,8

Средняя величина найденных отношений была принята как коэффициент перехода от расходов реки Голубая к расходам ручья Черемуховый. Таким образом, коэффициент перехода равен 27,6.

Интересно и полезно отметить, что значение рассчитанного коэффициент перехода близко по величине к отношению площадей водосбора двух рассмотренных водотоков:

$$\frac{S_{\text{Голубая}}}{S_{\text{Черемуховый}}} = \frac{138,6}{5,6} = 24,75, \quad (2.1)$$

Это вполне логичный результат, поскольку площадь водосбора в наибольшей степени определяет расход водотока. В связи с этим для приближенных расчетов можно использовать это соотношение.

Разделив значения среднемесячных расходов, замеренных в створе гидрометеопоста реки Голубая, на коэффициент перехода был получен расчетный гидрологический ряд для створа № 1 ручья Черемуховый за период 1954-1993 гг (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Расчетный гидрологический ряд для створа №1 ручья Черемуховый за период 1954-1993 гг.

Годы	Средние месячные расходы воды, м ³ /с											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1954	0,017	0,014	0,012	0,017	0,053	0,185	0,250	0,078	0,083	0,055	0,058	0,036
1955	0,027	0,021	0,021	0,034	0,160	0,091	0,068	0,072	0,040	0,027	0,021	0,023
1956	0,009	0,007	0,007	0,019	0,079	0,074	0,061	0,051	0,066	0,030	0,023	0,013
1957	0,009	0,007	0,009	0,021	0,175	0,172	0,088	0,159	0,132	0,085	0,046	0,031
1958	0,020	0,018	0,016	0,031	0,177	0,213	0,117	0,093	0,045	0,032	0,019	0,017
1959	0,011	0,009	0,016	0,042	0,156	0,119	0,218	0,096	0,065	0,050	0,027	0,017
1960	0,017	0,015	0,015	0,031	0,089	0,091	0,089	0,091	0,078	0,038	0,027	0,019
1961	0,014	0,012	0,015	0,083	0,143	0,238	0,109	0,132	0,090	0,062	0,036	0,023
1962	0,015	0,009	0,016	0,032	0,091	0,092	0,076	0,042	0,036	0,033	0,016	0,015
1963	0,011	0,010	0,011	0,015	0,039	0,056	0,063	0,048	0,051	0,051	0,028	0,016
1964	0,011	0,004	0,008	0,031	0,073	0,069	0,044	0,122	0,074	0,035	0,024	0,015
1965	0,013	0,011	0,011	0,022	0,112	0,051	0,058	0,046	0,078	0,048	0,023	0,015
1966	0,011	0,011	0,011	0,028	0,241	0,205	0,086	0,088	0,041	0,030	0,017	0,012
1967	0,011	0,010	0,011	0,041	0,075	0,173	0,173	0,226	0,091	0,056	0,034	0,022
1968	0,013	0,010	0,015	0,030	0,098	0,067	0,047	0,160	0,120	0,063	0,030	0,021
1969	0,013	0,011	0,012	0,044	0,160	0,159	0,101	0,069	0,078	0,116	0,042	0,022
1970	0,018	0,015	0,014	0,051	0,231	0,220	0,129	0,092	0,070	0,074	0,038	0,020
1971	0,015	0,013	0,011	0,055	0,098	0,090	0,268	0,166	0,099	0,073	0,040	0,022
1972	0,015	0,014	0,015	0,093	0,126	0,128	0,278	0,145	0,097	0,066	0,051	0,029
1973	0,021	0,018	0,017	0,106	0,249	0,205	0,113	0,128	0,054	0,038	0,028	0,019
1974	0,013	0,010	0,011	0,046	0,093	0,058	0,038	0,025	0,061	0,058	0,045	0,019
1975	0,017	0,014	0,013	0,027	0,196	0,157	0,069	0,044	0,073	0,043	0,025	0,013
1976	0,012	0,011	0,010	0,029	0,200	0,085	0,066	0,117	0,053	0,040	0,024	0,015
1977	0,011	0,013	0,013	0,058	0,171	0,098	0,055	0,108	0,050	0,046	0,029	0,024
1978	0,019	0,015	0,013	0,042	0,123	0,110	0,045	0,042	0,047	0,029	0,019	0,018
1979	0,015	0,013	0,012	0,019	0,194	0,103	0,077	0,045	0,051	0,039	0,053	0,026
1980	0,017	0,015	0,013	0,042	0,254	0,199	0,077	0,107	0,149	0,079	0,058	0,031
1981	0,026	0,020	0,022	0,072	0,132	0,059	0,038	0,057	0,112	0,079	0,054	0,035

Продолжение таблицы 2.4

Годы	Средние месячные расходы воды, м ³ /с											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1982	0,029	0,021	0,016	0,131	0,269	0,138	0,158	0,154	0,064	0,079	0,048	0,031
1986	0,025	0,012	0,020	0,044	0,123	0,141	0,097	0,091	0,087	0,057	0,045	0,026
1987	0,021	0,017	0,021	0,058	0,240	0,135	0,103	0,048	0,043	0,064	0,036	0,015
1988	0,014	0,013	0,017	0,079	0,139	0,096	0,214	0,259	0,078	0,056	0,032	0,016
1989	0,017	0,017	0,016	0,036	0,078	0,135	0,109	0,044	0,036	0,037	0,019	0,016
1990	0,015	0,018	0,019	0,029	0,067	0,127	0,071	0,162	0,082	0,065	0,034	0,029
1991	0,025	0,024	0,017	0,034	0,153	0,155	0,123	0,090	0,055	0,072	0,060	0,026
1992	0,017	0,018	0,015	0,050	0,122	0,082	0,067	0,259	0,191	0,092	0,056	0,027
1993	0,019	0,019	0,024	0,082	0,140	0,202	0,166	0,100	0,079	0,076	0,047	0,029
Ср	0,017	0,014	0,014	0,045	0,143	0,129	0,110	0,106	0,078	0,056	0,035	0,022

Расчетный гидрограф среднемноголетних расходов ручья Черемуховый в створе №1 за период 1954-1993 гг., представлен на рисунке 2.5.

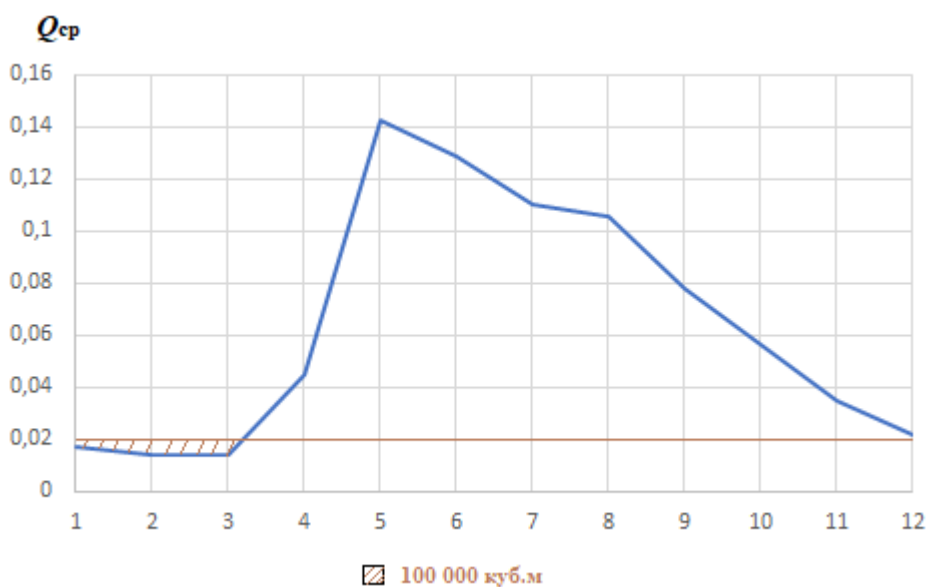


Рисунок 2.5 – Расчетный гидрограф среднемноголетних расходов ручья Черемуховый за период 1954-1993 гг.

3 Оценка гидропотенциала ручья Черемуховый и схемы его использования

Во второй главе были получены морфометрические характеристики ручья Черемуховый. Анализ показывает, что отличительной их особенностью является большая крутизна русла и склонов. Это практически исключают возможность использования плотинной концентрации напора и сезонного регулирования стока. В связи с этим для оценки гидропотенциала ручья Черемуховый была рассмотрена деривационная схема концентрации напора.

Для оценки валового гидроэнергетического потенциала водоток был разделен створами на пять участков примерно равной длины.



Рисунок 3.1 – Продольный профиль ручья Черёмуховый

Изменение величины среднего расхода было принято по линейному закону. В таблице 3.1 для каждого створа показаны его основные характеристики и рассчитанные мощность и выработка микроГЭС.

Таблица 3.1 – Характеристики деривационных ГЭС на ручье Черемуховый

Створ	ГЭС	Расстояние от истока	Отметка	Расход, куб.м/с	Напор, м	Мощность, кВт	Выработка, тыс. кВт*ч
1	1	5600	408.00	0,053	78	40,6	355
2	2	4600	486.00	0,041	74	29,8	261
3	3	3600	560.00	0,03	150	44,1	387
4	4	2600	710.00	0,018	160	28,3	247
	Итого:					142,7	1250

Таким образом, валовый гидроэнергетический потенциал ручья Черемуховый на участке от истока до створа № 2 составил 1,25 млн. кВт*ч/год.

Такая выработка может быть достигнута если все микроГЭС будут работать весь год с постоянным среднегодовым расходом, приведенным в таблице 3.1. Для этого необходимо обеспечить регулирование стока.

Однако, как уже отмечалось, топографические особенности ручья Черемуховый практически исключают возможность регулирования стока. Покажем это на примере створа № 1.

С использованием ГИС-технологий для створа № 1 были построены зависимости площади и объема потенциального водохранилища по следующей методике. С помощью программного комплекса Google Earth были вычислены значения площади водного зеркала на различных отметках – от дна отм.418.00 до самой высокой точки створа на отметке 520.00. Зависимость площади зеркала водохранилища от отметки УВБ представлена на рисунке 3.2.

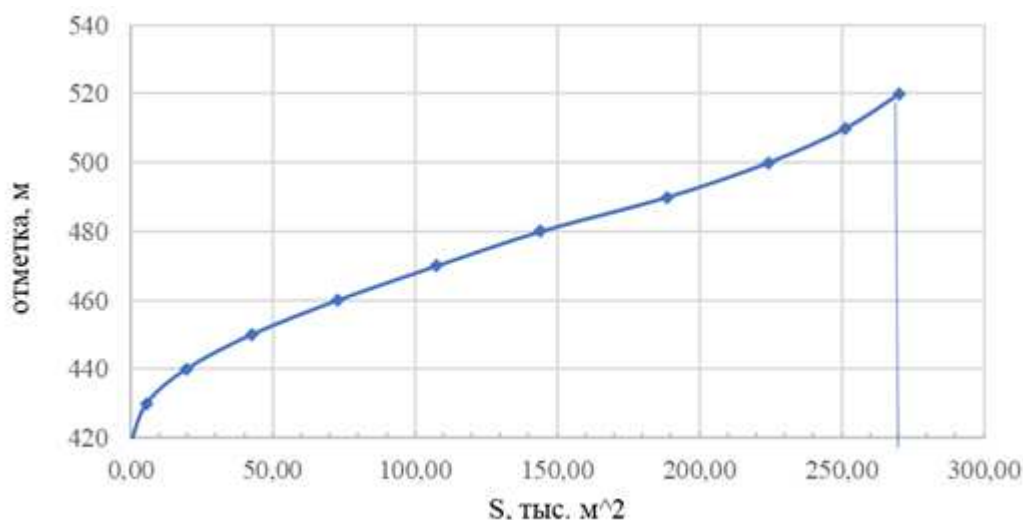


Рисунок 3-2 Зависимость площади зеркала водохранилища от УВБ для створа № 1

Затем по полученным данным была рассчитана объемная характеристика водохранилища. Алгоритм расчеты объема следующий.

1. Объём части водохранилища, заключенный между горизонтальными плоскостями на разных отметках – δV , вычисляют по формуле:

$$\delta V = H_0(F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 \cdot F_2}), \quad (3.1)$$

где H_0 – разница отметок горизонтальными плоскостями, м; F_1 и F_2 – площади зеркала водохранилища на уровне смежных горизонталей.

2. Начиная от дна, и задавшись определенным шагом по высоте последовательно вычисляют объем водохранилища.

Таким образом, для створа № 1 была построена зависимость объема водохранилища от отметки УВБ (рисунок 3.3). В таблице 3.2 приведены вычисленные значения объема водохранилища и соответствующие им отметки УВБ.

Таблица 3.2 - Значения объема водохранилища и соответствующие им отметки УВБ для створа № 1

Отметка	500.00	490.00	480.00	470.00	460.00	450,00	440.00	430.00	418.00
V, тыс.м³	4 242	3 087	2 158	1 455	752	250	80	13	0

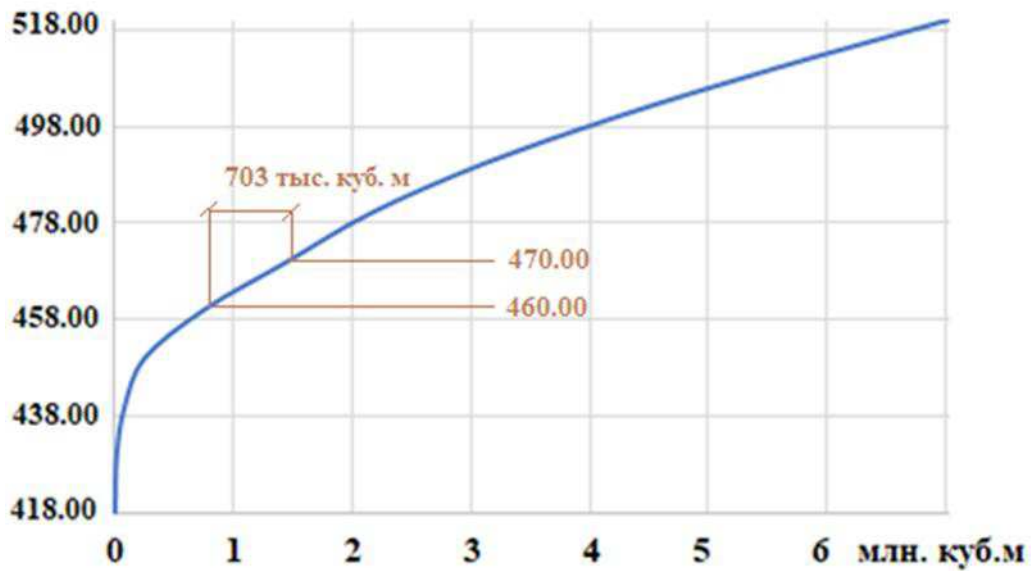


Рисунок 3.3 – Зависимость объема водохранилища от отметки УВБ

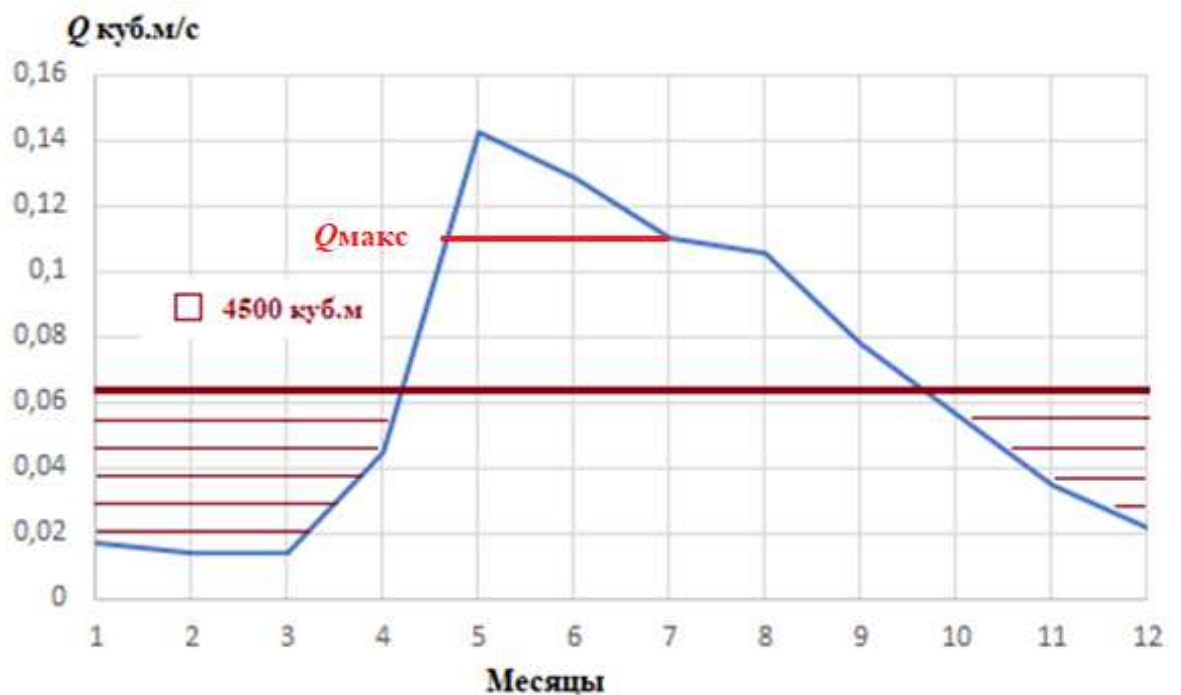


Рисунок 3.4 – Расчетный гидрограф ручья Черемуховый в створе № 1

Анализ расчетного гидрографа ручья Черемуховый в створе № 1 показал, что для работы со средним напором $Q = 0.06 \text{ м}^3/\text{с}$ необходимо иметь полезный объем водохранилища около 700 тыс. куб.м. На зависимости объема от отметки

УВБ (рисунок 3.2) показано, что для этого необходимо возвести плотину высотой 54 м.

Возведение такой высокой плотины нецелесообразно. В связи с этим можно предложить такую схему использования гидропотенциала – увеличить установленную мощность ГЭС и работать по водотоку.

$$N_{\text{форс}} = 9.81 * H * Q_{\text{макс}} * \eta = 9.81 * 78 * 0,11 * 0,95 = 80 \text{ кВт}$$

Используя ГИС-технологии, был построен профиль створа № 1 (рисунок 3.4).

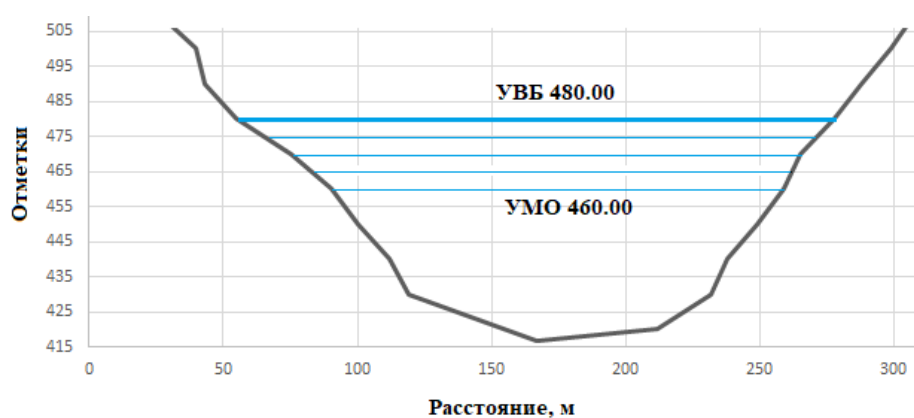


Рисунок 3.5 – Профиль створа № 1

4 Проектирование микроГЭС «Черемуховый лог»

4.1 Определение максимальных расчетных расходов

В состав гидротехнических сооружений микроГЭС «Черемуховый лог» входят: бетонная водосбросная плотина с автоматическим водосливом и водоприемником ГЭС, деривационный водовод, здание микроГЭС.

Класс гидротехнических сооружений назначаем в соответствии критериями, приведенными в Постановление Правительства РФ от 02.11.2013 № 986 «О классификации гидротехнических сооружений» [19].

1. Бетонная плотина (на скальном основании) высотой 3,85 м - IV класс
2. ГЭС мощностью менее 50 МВт. - IV класс
3. Характеристика территории распространения чрезвычайной ситуации, возникшей в результате аварии ГЭС в пределах одного муниципального образования IV класс.

Назначаем IV класс сооружения.

Таким образом, максимальные расчетные расходы составляют:

- для основного расчетного случая расход 5% обеспеченности.
- для поверочного расчетного случая расход 1% обеспеченности.

Из расчетного гидрологического ряда в створе № 1 ручья Черемуховый (таблица 4.1) для каждого года выбирается максимальный расход. Для определения параметров кривой обеспеченности определяем модульный коэффициент:

$$k = \frac{Q_n^{max}}{Q_{ср}^{max}}, \quad (4.1)$$

где Q_n^{max} – n -ый член ряда максимальных годовых расходов;

$Q_{ср}^{max}$ - среднее значение многолетнего максимального расхода.

Коэффициент вариации для ряда максимальных расходов:

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum(k-1)^2}{n}} = \sqrt{\frac{4,196}{40}} = 0,324, \quad (4.2)$$

где n - число членов ряда максимальных расходов (количество лет наблюдений).

Среднеквадратичная ошибка вычисления коэффициента вариации для ряда максимальных расходов:

$$\delta_{C_V} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1+3 \cdot C_V^2}{2 \cdot (n-1)}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1+3 \cdot 0,324^2}{2 \cdot (40-1)}} = 12,98 \%. \quad (4.3)$$

Ошибка является допустимой.

Коэффициент асимметрии для ряда максимальных расходов:

$$C_S = \frac{\sum(k-1)^3}{C_V^3 \cdot n} = \frac{-0,319}{0,324^3 \cdot 40} = -0,235. \quad (4.4)$$

Среднеквадратичная ошибка коэффициента асимметрии для ряда максимальных расходов:

$$\delta_{C_S} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{6 \cdot (1+6 \cdot C_V^2+5 \cdot C_V^4)}{n}}}{C_S} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{6 \cdot (1+6 \cdot 0,324^2+5 \cdot 0,324^4)}{n}}}{-0,235} = -214,35\%. \quad (4.5)$$

Ошибка является недопустимой, поэтому принимаем $C_S = 2C_V$.

$$C_S = 0,648.$$

Для этого необходимо найти параметры обеспеченности:

$$M_S = C_V \cdot \varphi, \quad (4.6)$$

$$k_S = M_S + 1, \quad (4.7)$$

$$Q_S = Q_{\text{ср}}^{\text{max}} \cdot k_S, \quad (4.8)$$

Результаты представлены в таблице 4.1:

Таблица 4.1 – Результаты расчета максимальных расходов

p, %	φ	M_S	k_S	Q_S	Расход
5,0	1,8	0,583	1,583	0,405	основной
1,0	2,78	0,9	1,9	0,485	поверочный

4.2 Кривые обеспеченности стока

Для водно-энергетических расчетов необходимо определить расчетные значения расходов 50% обеспеченности (средневодный год) и 90% обеспеченности (маловодный год). Для этого в первом приближении в половодье попадают месяцы, у которых расходы больше или равно среднегодовому расходу. Эти расходы ранжируются по убыванию. Далее кривые обеспеченности строятся по эмпирической формуле:

$$p(m) = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \quad (4.9)$$

где $p(m)$ - обеспеченность стока;

m - порядковый номер элемента ряда расходов, ранжированный по убыванию.

Построим эмпирические кривые обеспеченности среднегодовых расходов, расходов в половодье и расходов в межень (рисунок 4.1)

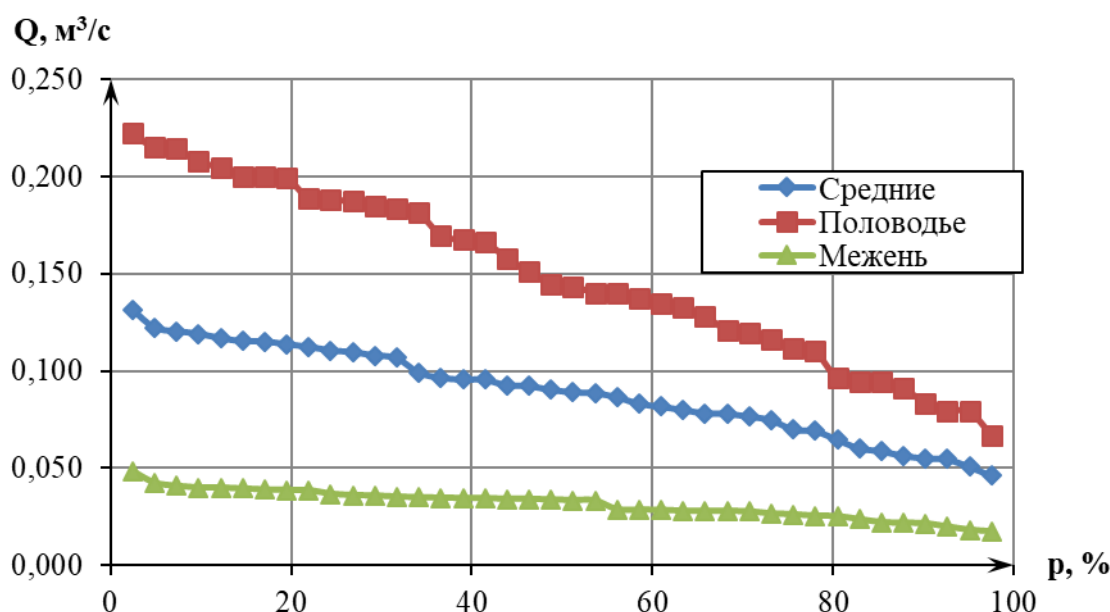


Рисунок 4.1 – Эмпирические кривые обеспеченности стока

4.3 Выбор расчетного маловодного и средневодного года

Проанализировав эмпирическую кривую обеспеченности, получаем, что маловодный год (90% обеспеченности) соответствует 1974 год (90%). Средневодный год соответствует двум годам – это 1966 и 1983 года (49% и 51%).

Рассмотрим маловодный год:

- Для 1974 года:

Коэффициенты приведения по межени и половодью соответственно:

$$K_M = \frac{Q_{1974}}{Q_{1963}} = \frac{0,014}{0,012} = 0,863, \quad (4.10)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{1962}}{Q_{1974}} = \frac{0,05}{0,049} = 1,03, \quad (4.11)$$

Рассмотрим средневодный год:

- Для 1966 года:

Коэффициенты приведения по межени и половодью соответственно:

$$K_M = \frac{Q_{1984}}{Q_{1966}} = \frac{0,019}{0,012} = 1,63, \quad (4.12)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{1966}}{Q_{1987}} = \frac{0,092}{0,085} = 0,93, \quad (4.13)$$

- Для 1983 года:

Коэффициенты приведения по межени и половодью соответственно:

$$K_M = \frac{Q_{1969}}{Q_{1983}} = \frac{0,018}{0,019} = 0,96, \quad (4.14)$$

$$K_{II} = \frac{Q_{1983}}{Q_{1983}} = \frac{0,08}{0,08} = 1, \quad (4.15)$$

Отсюда принимаем, что средневодным годом является 1983 год, т.к. коэффициенты приведения по половодью и межени ближе к единице.

После определения маловодного и средневодных годов, построим гидрографы, проведя необходимые корректировки. Результаты представлены в таблице 4.2 и на рисунке 4.2.

Таблица 4.2 – Расчетные гидрографы маловодного и средневодного года

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее
$Q_{\text{нал}}$	0,017	0,014	0,016	0,033	0,140	0,090	0,060	0,050	0,090	0,079	0,042	0,026	0,055
$Q_{\text{сред}}$	0,040	0,025	0,021	0,066	0,240	0,190	0,120	0,087	0,091	0,081	0,062	0,040	0,089

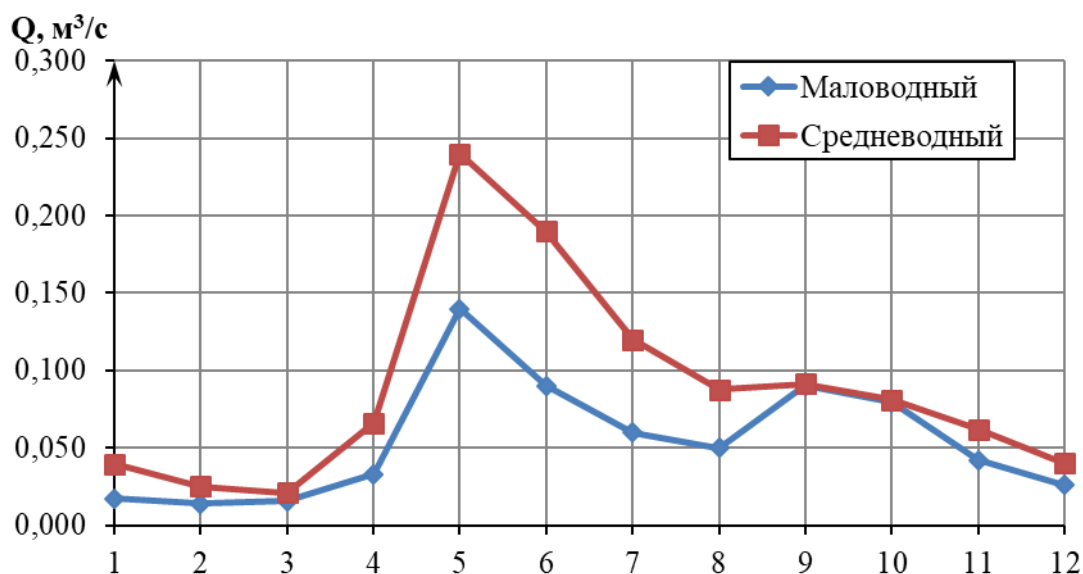


Рисунок 4.2 – Гидрографы маловодного и средневодного года

4.4 Определение типа регулирования

Для того, чтобы найти полезный объем водохранилища, нужно задаться приблизительной отметкой уровня мёртвого объема (УМО). Для этого принимается, что УМО соответствует снижению уровня верхнего бьефа на 33%. Отсюда приблизительная отметка УМО:

$$\begin{aligned} \text{УМО}_{\text{пр}} &= \text{ВНПУ} - (\text{ВНПУ} - \text{ВДНО}) \cdot 0,33 = 420 - (420 - 417,2) \cdot \\ &\cdot 0,33 = 419,08 \text{ м.}, \end{aligned} \quad (4.16)$$

Объем водохранилища при отметке НПУ и приблизительной отметкой УМО определяем по зависимости отметки верхнего бьефа от объема водохранилища (рисунок 4.5).

$$W_{\text{НПУ}} = 377 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{УМО}_{\text{пр}}} = 148 \text{ м}^3.$$

Полезный объем водохранилища:

$$W_{\text{полезный}} = W_{\text{НПУ}} - W_{\text{УМО}_{\text{пр}}} = 377 - 148 = 229 \text{ м}^3., \quad (4.17)$$

Среднегодовое количество стока:

$$\bar{W}_{\text{многолетний}} = \bar{Q}_{\text{многолетний}} \cdot T = 0,089 \cdot 31536000 = 2806704 \text{ м}^3, \quad (4.18)$$

где $\bar{Q}_{\text{многолетний}}$ – среднегодовое количество стока;

T – число секунд в году.

Коэффициент зарегулированности стока:

$$\beta = \frac{W_{\text{полезный}}}{\bar{W}_{\text{многолетний}}} = \frac{229}{2806704} = 8,16 \cdot 10^{-5}., \quad (4.19)$$

Принимаем регулирование по водотоку, так как коэффициент зарегулированности стока меньше 0,05.

4.5 Определение установленной мощности на основе водно-энергетических расчетов

4.5.1 Перераспределение стока маловодного года

Определим среднемесячные мощности для маловодного года. Это можно сделать, имея гидрограф маловодного года, требования ВХК и сведения о потере воды из водохранилища.

Полезный бытовой расход определяется по формуле:

$$Q_{п.быт}^t = Q_{90\%}^t - Q_{н}^t - Q_{л}^t - Q_{ф}^t, \quad (4.20)$$

где t – порядковый номер месяца;

$Q_{90\%}^t$ - среднемесячный расход маловодного года t -го месяца (таблица 4.4);

$Q_{н}^t, Q_{л}^t, Q_{ф}^t$ - потери воды из водохранилища: испарение, льдообразование, фильтрация t -го месяца. Потери воды из водохранилища близко к нулю, так как потери на фильтрацию ликвидируются прокладкой гидроизоляции в ложе водохранилища, потери на льдообразование равны нулю, так как отсутствует сработка водохранилища, а потери на испарение малы.

Напор на ГЭС определяется с учетом потерь, как разность отметок верхнего бьефа, который принимается равной отметке НПУ гидроузла и отметки нижнего бьефа, определяемая по зависимости отметки нижнего бьефа от расхода (рисунок 4.3).

Полезная мощность, вырабатываемая станцией:

$$N_{пол}^t = k_N \cdot Q_{п.быт}^t \cdot H^t, \quad (4.21)$$

где H^t – напор, соответствующий расчетному расходу в t -ом месяце.

4.5.2 Водно-энергетические расчеты по условию маловодного года

Задачей водно-энергетического расчета (ВЭР) является определение гарантированных мощностей для каждого месяца работы ГЭС и среднесуточной выработки. На основе ВЭР производится определение рабочих и установленных мощностей проектируемой станции.

Водохранилище наполнено до уровня НПУ.

Расход через турбины ГЭС определяем по формуле:

$$Q_{ГЭС}^t = Q_{п.быт}^t + Q_{вдхр}^t, \quad (4.22)$$

где $Q_{вдхр}^t$ - расход воды из водохранилища в t -ом месяце (при отсутствии регулирования равно 0).

Расход воды в нижнем бьефе определяем суммой расхода воды через ГЭС и расхода через автоводослив (в ВЭР маловодного года равен 0):

$$Q_{НБ}^t = Q_{ГЭС}^t - Q_{АВ}^t, \quad (4.23)$$

При этом расход в нижний бьеф должен быть не меньше расхода минимального (равен $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$).

Принимаем допущение, что расход в течение месяца постоянный и от месяца к месяцу изменяется мгновенно, отметка нижнего бьефа в течение месяца постоянна и так же, как и в верхнем бьефе, изменяется мгновенно, переходя от месяца к месяцу.

Отметка уровня воды в верхнем бьефе в конце месяца определяется зависимостью отметки ВБ от объема водохранилища (рисунок 4.2).

Напор на ГЭС рассчитываем по формуле:

$$H^t = z_{ВБ.ср}^t - z_{НБ}^t - \Delta h, \quad (4.24)$$

где $z_{ВБ.ср}^t$ - среднее значение отметки уровня ВБ в t -ом месяце;

$z_{НБ}^t$ - отметка уровня нижнего бьефа, соответствующая расходу в нижний бьеф в t -ом месяце;

Δh - потери напора в деривационном трубопроводе (равный $0,584 \text{ м}$).

Мощность ГЭС в t -ом месяце:

$$N^t = k_N \cdot Q_{ГЭС}^t \cdot H^t, \quad (4.25)$$

Результаты сработки-наполнения водохранилища по условию маловодного года приведены в Приложении Б, таблица Б.1.

Результатом сработки-наполнения являются:

- гарантированная мощность: $N_{\text{гар}}=16,93$ кВт.

Исходя из ВЭР по маловодному году, можно принять установленную мощность микроГЭС равную 16,95 кВт.

4.5.3 Водно-энергетические расчеты по условиям средневодного года

Задачей ВЭР по условиям средневодного года является определения среднемноголетней выработки. Для этого необходимо провести такой же расчет, как и по маловодному году, но заменяются расходы 90% обеспеченности на расходы 50% обеспеченности.

Выработка станции в t -ом месяце определяется по формуле:

$$\mathcal{E}^t = N^t \cdot T_{\text{мес}}, \quad (4.26)$$

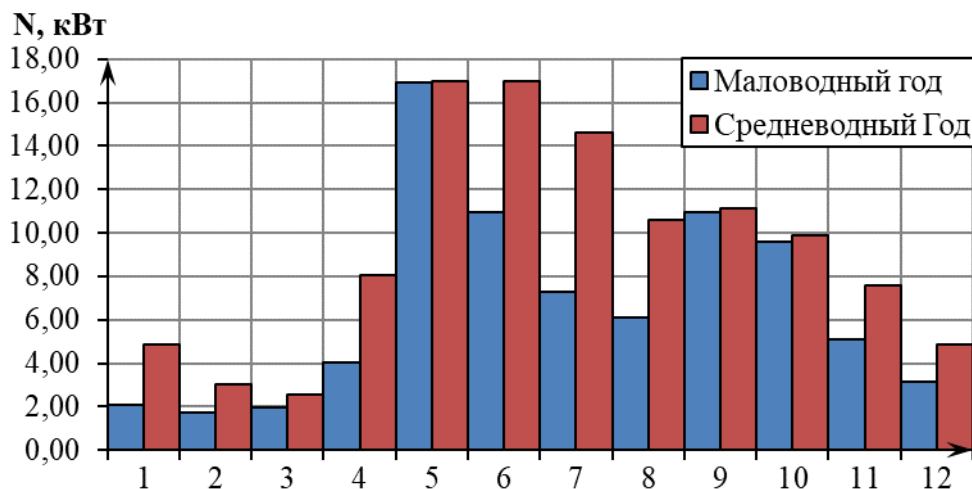
где $T_{\text{мес}}$ – число часов в месяце.

Среднемноголетняя выработка определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.мн.лет}}^{\text{ГЭС}} = \sum_{t=1}^{12} \mathcal{E}^t; \quad (4.27)$$

Результаты расчетов приведены в Приложении В.1, таблица В.1 и В.2.

По результатам расчетов было определено, что среднемноголетняя выработка равна 81,52 тыс. кВт·ч.



На рисунке 4.3 представлен график обеспечения мощностей для маловодного и средневодного года микроГЭС «Черемуховый лог».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 С использованием современных технологий были собраны и проанализированы гидрологические и морфометрические характеристики ручья Черемуховый.

2 Получен расчетный гидрологический ряд для ручья Черемуховый длительностью 40 лет и выполнена оценка гидроэнергетического потенциала данного водотока.

3 Выполнены водно-энергетические расчеты микроГЭС и установлены ее основные параметры и режим работы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Февралев, А.В. Проектирование гидроэлектростанций на малых реках [Текст]: Учебное пособие / А.В. Февралев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород: ННГАСУ. – 2014. – 181 с.;
2. Гидротехническое бюро – Компоновка и диаметр напорных водоводов малых ГЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gidroburo.ru/index.php/a-proektirovanie/a-4-malye-ges/50-a-4-11-optimalnyj-diametr-napornykh-vodovodov-malykh-ges>;
3. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Издание официальное. — М.: Госстрой России, 2004. ;
4. Google. Планета Земля [Электронный ресурс].- URL: <https://www.google.com/earth.>;
5. Рождественский А.В., Лобанова А.Г Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. 2009 г.;
6. Спириин, Е.А. О выборе типа микроГЭС и ее оптимальной мощности в зависимости от гидрологических параметров. / А.А. Никитин, М.П. Головин, В.В. Карпенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. № 1–2. С. 543–547.;
7. Chao Ma. Short-term hydropower dispatching optimization of cascaded hydropower 162 stations based on two-stage optimization / Chao Ma // 2nd International Conference on Industrial and Information Systems. IEEE Press – 2010. – Vol. 1. – P. 230–233.;
8. Jizhong Zhu. Optimization of Power System Operation / Jizhong Zhu. – New Jersey : Published by John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2009. – 623 p;
9. Евгений Григорьевич Попов. Гидрологические прогнозы. Ленинградская типография № 8 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете

СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 1979., Ленинград, Прачечный пер., 6. -252с.;

10. Госдоклад [Электронный ресурс].- <https://water.ru/water/gosdoc/353.html>;

11. Тариф на электроэнергию России [Электронный ресурс].- <https://energybase.ru/tariff/electricity/2019/>;

12. Пономаренко А.С. Классификация и перспективы минигидроэлектростанции [текст]/ Пономаренко А.С. // Научный журнал КубГАУ, №89(05), 2013-10с.;

13. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Папдаров Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанции / Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Папдарова Е.Б.// Томск, 2001-104с.;

14. Затеев В.Б. Введение в специальность гидроэлектроэнергетика: Учеб.пособие. /Затеев В.Б.// Саяногорск: СШФ СФУ, 2007-156с.;

15. Е.Ю. Затеева . Методические указания к курсовому проектированию / сост. В.Е. Кожемякин,; под ред. /Е.Ю. Затеевой// Саяногорск; Черемушки: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал, 2018.-36с.;

16. А.С. Плотникова., А.О. Харитоновна – Выделение границ водосборных бассейнов рек на локальном пространственном уровне., Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Россия;

17. Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Нарожняя А.Г. Применение бассейновой концепции природопользования для почво-водоохранного обустройства агроландшафтов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1 (9). С. 2432-2435.;

18. Гидротехнические сооружения (речные): Учебное пособие/ Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехов, Н.А. Анискин, В.В. Малаханов и др. - М. : АСВ, 2011. - Ч.2. - 536 с.

19. Постановление Правительства РФ от 02.11.2013 № 986 [Электронный ресурс].- «О классификации гидротехнических сооружений».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Значения среднемесячных расходов

Таблица А.1 - Значения среднемесячных расходов р. Черемуховый

Дата	Ширина, м	Глубина, м	Скорость	Расход, м ³ /с	Погодные условия	Осадки, мм
12.06.2019	1,8	0,12	0,49	0,053	гроза	
13.06.2019	1,8	0,13	1,047	0,122	ясно	
14.06.2019	1,8	0,12	0,56	0,06	ясно	2,4
15.06.2019	1,78	0,12	0,54	0,058	гроза, ливневой дождь	7,6
16.06.2019	1,9	0,12	0,619	0,071	слабый ливневой дождь	1,6
17.06.2019	1,85	0,13	0,595	0,072	слабый ливневой дождь	11,4
18.06.2019	1,84	0,14	0,636	0,082	ясно	
19.06.2019	1,95	0,18	0,795	0,14	ливневой дождь	5,4
20.06.2019	1,85	0,15	0,655	0,091	слабый ливневой дождь	0,6
21.06.2019	1,8	0,14	0,779	0,098	ясно	
22.06.2019	1,9	0,15	0,568	0,081	слабый ливневой дождь	0,9
23.06.2019	1,8	0,15	0,471	0,064	слабый ливневой дождь	0,8
24.06.2019	1,85	0,14	0,444	0,057	слабый ливневой дождь	1,6
25.06.2019	1,8	0,14	0,423	0,053	ясно	
26.06.2019	1,76	0,14	0,424	0,052	ясно	
28.06.2019	1,56	0,1	0,652	0,051	ясно	
Среднее за июнь 0,075						78,7
01.07.2019	1,75	0,17	1,312	0,195	ливневой дождь	44,4
02.07.2019	2	0,19	1,754	0,333	слабый ливневой дождь	4,6
03.07.2019	2	0,17	1,667	0,283	ясно	
04.07.2019	1,95	0,17	1,672	0,277	слабый ливневой дождь	
05.07.2019	1,93	0,15	1,553	0,225	слабый ливневой дождь	10,4
06.07.2019	1,85	0,11	1,409	0,143	ясно	1,1
07.07.2019	1,8	0,1	1,444	0,13	ясно	
08.07.2019	1,78	0,08	1,415	0,101	слабый ливневой дождь	1,6

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Дата	Ширина, м	Глубина, м	Скорость	Расход, м ³ /с	Погодные условия	Осадки, мм
09.07.2019	1,83	0,16	0,645	0,094	гроза, ливневой дождь	0,6
10.07.2019	1,8	0,135	1,438	0,175	слабый ливневой дождь	2,4
13.07.2019	1,83	0,15	0,932	0,128	слабый ливневой дождь	9,7
16.07.2019	1,72	0,1	0,684	0,059	ясно	3,5
18.07.2019	1,78	0,14	0,713	0,089	гроза, ливневой дождь	9
19.07.2019	1,79	0,12	0,664	0,071	слабый ливневой дождь	
20.07.2019	1,7	0,08	0,783	0,053	слабый ливневой дождь	5,2
21.07.2019	1,72	0,1	0,809	0,07	слабый ливневой дождь	5,2
22.07.2019	1,76	0,12	0,673	0,071	дымка, туман	
23.07.2019	1,74	0,11	0,886	0,085	ясно	
25.07.2019	2,1	0,3	1,548	0,488	слабый ливневой дождь	50,9
26.07.2019	2,15	0,33	1,538	0,546	слабый ливневой дождь	0,4
27.07.2019	2,1	0,28	1,223	0,36	дымка, туман	7,9
28.07.2019	2,2	0,31	1,466	0,5	ясно	1,3
29.07.2019	2,11	0,28	1,135	0,335	ясно	
30.07.2019	2,1	0,26	1,126	0,307	ясно	
31.07.2019	2,1	0,27	1,115	0,316	слабый ливневой дождь	2,9
Среднее за июль 0,217						174,4
01.08.2019	1,74	0,23	1,206	0,241	ясно	
03.08.2019	1,79	0,22	1,197	0,236	ясно	
04.08.2019	1,74	0,2	0,986	0,172	гроза без осадков	
06.08.2019	1,78	0,24	1,245	0,266	гроза, ливневой дождь	11,7
07.08.2019	1,75	0,22	1,196	0,23	гроза, ливневой дождь	15,7
08.08.2019	1,74	0,23	1,135	0,227	ясно	
10.08.2019	1,75	0,25	1,467	0,321	слабый ливневой дождь	10,7
11.08.2019	1,78	0,25	1,523	0,339	слабый ливневой дождь	3,7
12.08.2019	1,73	0,23	1,489	0,296	слабый ливневой дождь	0,6

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Дата	Ширина, м	Глубина, м	Скорость	Расход, м ³ /с	Погодные условия	Осадки, мм
13.08.2019	1,72	0,2	1,138	0,196	ясно	
15.08.2019	1,74	0,18	1,133	0,177	слабый ливневой дождь	10,2
16.08.2019	1,78	0,2	1,432	0,255	слабый ливневой дождь	5,4
18.08.2019	1,75	0,17	1,367	0,203	ясно	
19.08.2019	1,68	0,16	1,386	0,186	ясно	1
23.08.2019	1,77	0,2	1,568	0,278	слабый ливневой дождь	4,6
26.08.2019	1,89	0,23	1,478	0,321	ясно	
27.08.2019	1,58	0,21	1,175	0,195	ясно	
30.08.2019	1,49	0,19	1,115	0,158	ясно	
Среднее за август 0,239						76,9
01.09.2019	1,8	0,14	0,771	0,097	ливневой дождь	1,7
02.09.2019	1,54	0,12	0,78	0,072	гроза, ливневой дождь	6,8
03.09.2019	1,5	0,12	0,602	0,054	ливневой дождь	7,9
04.09.2019	1,57	0,14	0,516	0,057	слабый ливневой дождь	2,1
05.09.2019	1,56	0,16	0,715	0,089	слабый ливневой дождь	5
06.09.2019	1,5	0,16	0,515	0,062	ясно	
09.09.2019	1,5	0,14	0,523	0,055	ясно	
10.09.2019	1,5	0,15	0,493	0,055	ясно	
14.09.2019	1,47	0,15	0,803	0,089	ливневой дождь	1,2
15.09.2019	1,47	0,16	0,715	0,084	ливневой дождь	15,4
17.09.2019	1,42	0,07	0,579	0,029	ясно	2,9
19.09.2019	1,4	0,08	0,498	0,028	ясно	
Среднее за сентябрь 0,064						75,8
02.10.2019	1,5	0,13	0,472	0,046	ясно	
03.10.2019	1,54	0,12	0,806	0,074	ясно	
20.10.2019	1,5	0,1	0,283	0,021	слабый ливневой дождь со снегом	4,2
22.10.2019	1,52	0,11	0,297	0,025	ясно	

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Дата	Ширина, м	Глубина, м	Скорость	Расход, м ³ /с	Погодные условия	Осадки, мм
28.10.2019	1,5	0,06	0,555	0,05	ясно (установлен лоток)	
29.10.2019	1,5	0,08	0,691	0,083	слабый ливневой дождь	
30.10.2019	1,7	0,14	0,962	0,114	слабый ливневой дождь со снегом	8,2
31.10.2019	1,74	0,16	1,61	0,224	ясно	
Среднее за октябрь 0,08						32,3
01.11.2019	1,5	0,08	1,088	0,131	ясно	
03.11.2019	1,5	0,08	0,811	0,097	слабый ливневой дождь со снегом	3,3
04.11.2019	1,5	0,07	0,917	0,096	ясно	
06.11.2019	1,5	0,07	0,722	0,076	слабый ливневой дождь со снегом	0,7
11.11.2019	1,5	0,06	0,626	0,056	слабый ливневой снег	1
15.11.2019	1,5	0,06	0,326	0,029	слабый ливневой снег	1,4
17.11.2019	1,5	0,07	0,515	0,054	снег, метель	1
20.11.2019	1,5	0,05	0,51	0,038	слабый ливневой снег	4,9
26.11.2019	1,5	0,04	0,4	0,024	ясно	
Среднее за ноябрь 0,067						42,5
02.12.2019	1,5	0,04	0,307	0,018	ясно	
03.12.2019	1,5	0,04	0,544	0,033	позёмок, метель	
04.12.2019	1,5	0,03	0,633	0,028	ясно	
05.12.2019	1,5	0,02	0,467	0,014	ясно	
07.12.2019	1,5	0,02	0,685	0,021	снег	2
08.12.2019	1,5	0,02	0,677	0,02	снег	3,5
28.12.2019	1,5	0,04	0,336	0,016	слабый снег	0,2
30.12.2019	1,5	0,04	0,202	0,012	ясно	
Среднее за декабрь 0,018						19,2
02.01.2020	1,5	0,025	0,262	0,01	слабый ливневой снег	
04.01.2020	1,5	0,025	0,265	0,01	слабый ливневой снег	
09.01.2020	1,5	0,02	0,23	0,007	ясно	
10.01.2020	1,5	0,02	0,26	0,008	слабый ливневой снег	

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Дата	Ширина, м	Глубина, м	Скорость	Расход, м ³ /с	Погодные условия	Осадки, мм
13.01.2020	1,5	0,02	0,17	0,005	ясно	
14.01.2020	1,5	0,02	0,33	0,01	ясно	
20.01.2020	1,5	0,02	0,32	0,01	позёмок	
23.01.2020	1,5	0,02	0,24	0,007	ливневой снег	
24.01.2020	1,5	0,02	0,23	0,007	ливневой снег	
27.01.2020	1,5	0,02	0,394	0,012	ливневой снег	
30.01.2020	1,5	0,02	0,303	0,009	метель	
Среднее за январь 0,009						4,7
01.02.2020	1,5	0,02	0,19	0,006	ясно	
02.02.2020	1,5	0,02	0,233	0,007	ясно	
04.02.2020	1,5	0,02	0,364	0,011	слабый снег, метель	
05.02.2020	1,5	0,02	0,225	0,007	позёмок	
07.02.2020	1,5	0,02	0,348	0,01	слабый ливневой снег	
08.02.2020	1,5	0,02	0,296	0,009	позёмок	
10.02.2020	1,5	0,02	0,248	0,007	слабый ливневой снег	
11.02.2020	1,5	0,02	0,278	0,008	слабый ливневой снег	
13.02.2020	1,5	0,02	0,28	0,008	ясно	
16.02.2020	1,5	0,02	0,348	0,01	ясно	
18.02.2020	1,5	0,02	0,297	0,009	слабый ливневой снег	
20.02.2020	1,5	0,02	0,316	0,009	слабый ливневой снег	
22.02.2020	1,5	0,02	0,322	0,01	слабый ливневой снег	
25.02.2020	1,5	0,02	0,355	0,011	слабый ливневой снег	
Среднее за февраль 0,009						8,96
05.03.2020	1,5	0,02	0,137	0,004	ясно	
07.03.2020	1,5	0,02	0,273	0,008	слабый ливневой снег	
10.03.2020	1,5	0,02	0,222	0,007	слабый ливневой снег	
12.03.2020	1,5	0,02	0,311	0,009	поземок	
14.03.2020	1,5	0,02	0,298	0,009	ясно	

Продолжение приложения А

Окончание таблицы А.1 - Значения среднемесячных расходов

Дата	Ширина, м	Глубина, м	Скорость	Расход, м ³ /с	Погодные условия	Осадки, мм
15.03.2020	1,5	0,02	0,176	0,005	ясно	
18.03.2020	1,5	0,04	0,265	0,016	слабый ливневой дождь	
19.03.2020	1,5	0,04	0,321	0,019	ясно	
20.02.2020	1,5	0,04	0,222	0,013	ясно	
23.03.2020	1,5	0,05	0,365	0,027	слабый ливневой снег	
24.03.2020	1,5	0,05	0,311	0,023	слабый ливневой снег	
26.03.2020	1,5	0,05	0,367	0,028	слабый ливневой снег	
28.03.2020	1,5	0,06	0,327	0,025	ясно	
29.03.2020	1,5	0,06	0,299	0,022	ливневые осадки	
30.03.2020	1,5	0,07	0,398	0,030	ясно	
31.03.2020	1,5	0,07	0,325	0,024	ясно	
Среднее за март 0,010						9,7
1.04.2020	1,5	0,08	0,369	0,066	ясно	
2.04.2020	1,5	0,1	0,377	0,028	ясно	
4.04.2020	1,5	0,11	0,439	0,036	ясно	
8.04.2020	1,5	0,14	0,635	0,067	ясно	
17.04.2020	2	0,22	0,811	0,178	ясно (уплыл лоток)	
20.04.2020	2	0,22	1,538	0,338	ливневой дождь	
23.04.2020	2	0,22	1,22	0,268	ясно	
26.04.2020	2	0,18	0,089	0,016	ясно	
Среднее за апрель 0,033						
2.05.2020	2	0,18	0,078	0,014	ясно	
5.05.202	2	0,18	0,065	0,012	ясно	
9.05.2020	2	0,18	0,074	0,013	ясно	
14.05.2020	1,5	0,18	0,089	0,012	слабый дождь	
17.05.2020	1,5	0,18	0,063	0,009	ясно	
21.05.2020	1,5	0,18	0,099	0,013	ясно	
Среднее за май 0,033						

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Гидрологический ряд

Таблица Б.1 - Средние месячные расходы воды м³/с р.Голубая

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1954	0,41	0,35	0,30	0,41	1,32	4,57	6,18	1,93	2,05	1,37	1,44	0,89
1955	0,670	0,52	0,52	0,83	3,96	2,26	1,68	1,77	0,98	0,68	0,52	0,58
1956	0,230	0,18	0,18	0,48	1,96	1,83	1,51	1,25	1,64	0,75	0,56	0,31
1957	0,220	0,18	0,22	0,52	4,33	4,25	2,17	3,93	3,27	2,11	1,13	0,77
1958	0,500	0,45	0,39	0,76	4,37	5,28	2,90	2,30	1,11	0,80	0,48	0,41
1959	0,260	0,23	0,39	1,05	3,86	2,95	5,40	2,38	1,60	1,23	0,67	0,42
1960	0,410	0,36	0,37	0,76	2,20	2,25	2,20	2,25	1,93	0,940	0,66	0,47
1961	0,350	0,30	0,36	2,05	3,55	5,89	2,69	3,26	2,23	1,54	0,88	0,57
1962	0,380	0,22	0,40	0,79	2,24	2,27	1,88	1,04	0,89	0,81	0,40	0,36
1963	0,260	0,24	0,28	0,36	0,97	1,39	1,56	1,19	1,27	1,27	0,70	0,40
1964	0,280	0,09	0,19	0,76	1,80	1,70	1,09	3,01	1,83	0,87	0,59	0,38
1965	0,320	0,26	0,27	0,55	2,77	1,25	1,44	1,13	1,94	1,20	0,58	0,38
1966	0,260	0,26	0,26	0,69	5,97	5,08	2,14	2,17	1,02	0,75	0,42	0,30
1967	0,270	0,25	0,28	1,02	1,86	4,29	4,27	5,59	2,24	1,39	0,83	0,54
1968	0,310	0,27	0,29	1,09	3,97	3,93	2,49	1,71	1,93	2,88	1,04	0,55
1969	0,45	0,37	0,34	1,25	5,71	5,45	3,20	2,27	1,74	1,84	0,94	0,50
1970	0,37	0,32	0,26	1,35	2,43	2,23	6,64	4,12	2,45	1,80	0,98	0,54
1971	0,38	0,34	0,38	2,29	3,11	3,17	6,87	3,60	2,41	1,63	1,27	0,73
1972	0,53	0,44	0,42	2,63	6,16	5,07	2,79	3,17	1,33	0,95	0,70	0,48
1973	0,31	0,25	0,28	1,14	2,30	1,43	0,95	0,62	1,51	1,43	1,11	0,47
1974	0,41	0,34	0,33	0,68	4,86	3,88	1,72	1,09	1,80	1,07	0,62	0,33
1975	0,29	0,26	0,25	0,71	4,95	2,11	1,63	2,90	1,32	0,99	0,60	0,38
1976	0,28	0,33	0,32	1,44	4,23	2,43	1,37	2,68	1,23	1,13	0,72	0,59
1977	0,46	0,38	0,31	1,03	3,04	2,73	1,12	1,04	1,16	0,71	0,48	0,45
1978	0,37	0,33	0,30	0,46	4,79	2,56	1,91	1,11	1,25	0,96	1,32	0,65
1979	0,41	0,38	0,32	1,05	6,28	4,93	1,91	2,66	3,68	1,95	1,44	0,76
1980	0,64	0,50	0,55	1,79	3,26	1,45	0,95	1,40	2,77	1,96	1,34	0,87
1981	0,71	0,53	0,39	3,24	6,65	3,42	3,91	3,81	1,58	1,96	1,20	0,76
1982	0,73	0,46	0,39	0,58	4,40	3,47	2,82	1,56	1,63	1,49	0,78	0,74

Продолжение приложения Б

Окончание таблицы Б.1 - Средние месячные расходы воды м³/с р.Голубая

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1983	0,53	0,48	0,35	0,85	3,19	3,51	2,57	2,67	1,88	1,13	0,86	0,50
1984	0,44	0,41	0,32	1,16	2,49	2,77	4,51	5,76	3,98	1,86	0,99	0,81
1985	0,63	0,30	0,49	1,08	3,05	3,48	2,39	2,24	2,15	1,40	1,11	0,65
1986	0,53	0,41	0,52	1,43	5,94	3,34	2,55	1,20	1,07	1,59	0,89	0,36
1987	0,34	0,32	0,41	1,96	3,43	2,37	5,29	6,40	1,93	1,38	0,80	0,39
1988	0,43	0,41	0,39	0,89	1,93	3,33	2,70	1,10	0,90	0,91	0,47	0,40
1989	0,38	0,45	0,47	0,73	1,65	3,15	1,75	4,02	2,02	1,62	0,85	0,72
1990	0,63	0,59	0,43	0,84	3,79	3,84	3,05	2,22	1,36	1,78	1,48	0,65
1991	0,43	0,44	0,38	1,23	3,02	2,03	1,67	6,40	4,73	2,27	1,38	0,7
1992	0,47	0,48	0,59	2,02	3,46	5,01	4,1	2,47	1,96	1,89	1,16	0,73
1993	0,41	0,35	0,30	0,41	1,32	4,57	6,18	1,93	2,05	1,37	1,44	0,89
Среднее	0,42	0,35	0,36	1,12	3,54	3,20	2,73	2,63	1,92	1,40	0,88	0,55

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Водно-энергетический расчет маловодного года

Месяц	Расход, м ³ /с				Объем, м ³			Отметки, м				Н, м	N, кВт
	Q _{90%}	Q _{ГЭС}	Q _{ХС}	Q _{НБ}	W _{нач}	ΔW	W _{кон}	z _{БВ} ^{нач}	z _{БВ} ^{кон}	z _{БВ} ^{сп}	z _{НБ}		
Янв	0,017	0,017	0,00	0,017	377	0	377	420	420	420	405,03	14,39	2,08
Фев	0,014	0,014	0,00	0,014	377	0	377	420	420	420	405,02	14,39	1,71
Мар	0,016	0,016	0,00	0,016	377	0	377	420	420	420	405,03	14,39	1,96
Апр	0,033	0,033	0,00	0,033	377	0	377	420	420	420	405,04	14,37	4,03
Май	0,14	0,14	0,00	0,14	377	0	377	420	420	420	405,19	14,23	16,93
Июн	0,09	0,09	0,00	0,09	377	0	377	420	420	420	405,12	14,30	10,94
Июл	0,06	0,06	0,00	0,06	377	0	377	420	420	420	405,08	14,34	7,31
Авг	0,05	0,05	0,00	0,05	377	0	377	420	420	420	405,07	14,35	6,1
Сен	0,09	0,09	0,00	0,09	377	0	377	420	420	420	405,12	14,3	10,94
Окт	0,079	0,079	0,00	0,079	377	0	377	420	420	420	405,13	14,28	9,59
Ноя	0,042	0,042	0,00	0,042	377	0	377	420	420	420	405,07	14,35	5,12
Дек	0,026	0,026	0,00	0,026	377	0	377	420	420	420	405,04	14,37	3,18

Таблица В.2 – Водно-энергетический расчет средневодного года

Ме- сяц	Расход, м ³ /с				Объем, м ³			Отметки, м				Н, м	N, кВт	Э, кВт·ч
	Q _{90%}	Q _{ГЭС}	Q _{ХС}	Q _{НБ}	W _{нач}	ΔW	W _{кон}	z _{БВ} ^{нач}	z _{БВ} ^{кон}	z _{БВ} ^{сп}	z _{НБ}			
Янв	0,04	0,04	0,00	0,04	377	0	377	420	420	420	405,03	14,38	4,89	3638,25
Фев	0,025	0,025	0,00	0,025	377	0	377	420	420	420	405,02	14,40	3,06	2055,64
Мар	0,021	0,021	0,00	0,021	377	0	377	420	420	420	405,02	14,40	2,57	1912,18
Апр	0,066	0,066	0,00	0,066	377	0	377	420	420	420	405,04	14,37	8,06	5805,16
Май	0,24	0,139	0,101	0,24	398,77	0	398,77	420,06	420,06	420,06	405,16	14,29	16,95	12597,7

Продолжение приложения В.2

Окончание таблицы В.2 - Водно-энергетический расчет средневодного года

Июн	0,19	0,13 9	0,05 1	0,19	391,3 2	0	391,3 2	420,04	420,0 4	420,0 4	405,1 3	14,3 1	16,9 5	12597, 7
Июл	0,12	0,12	0,00	0,12	377	0	377	420	420	420	405,0 8	14,3 4	14,6 2	10879, 3
Авг	0,08 7	0,08 7	0,00	0,08 7	377	0	377	420	420	420	405,0 6	14,3 6	10,6 2	7899,6 2
Сен	0,09 1	0,09 1	0,00	0,09 1	377	0	377	420	420	420	405,0 6	14,3 6	11,1	7994,8
Окт	0,08 1	0,08 1	0,00	0,08 1	377	0	377	420	420	420	405,0 7	14,3 5	9,88	7349,9 5
Ноя	0,06 2	0,06 2	0,00	0,06 2	377	0	377	420	420	420	405,0 5	14,3 6	7,57	5450,4 2
Дек	0,04	0,04	0,00	0,04	377	0	377	420	420	420	405,0 3	14,3 8	4,89	3638,2 5

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

Кафедра Гидротехнических сооружений и гидравлических машин

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.А. Андрияс
подпись инициалы, фамилия

« 02 » 07 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

08.04.01 Строительство

08.04.01.02 Гидротехническое строительство

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОГЭС ПРИ МАЛОМ РЯДЕ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Руководитель


подпись, дата

Доцент кафедры ГТС и ГМ
Саяно-Шушенского филиала СФУ
должность

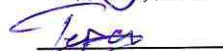
В.Б. Затеев
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

А.С. Глущенко
инициалы, фамилия


Рецензент


подпись, дата

Руководитель группы режимов
Оперативной службы
Филиала ПАО «РусГидро» -
«Саяно-Шушенская ГЭС
имени П.С. Непорожного»
должность

К.В. Терехов
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр


подпись, дата

А.А. Чабанова
инициалы, фамилия

Саяногорск, Черемушки 2020