

*На правах рукописи*

**ГУСЕВА Ольга Анатольевна**



**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ПОТЕНЦИАЛА ГОТОВЫХ НАПОРНЫХ ГИДРОУЗЛОВ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии  
и электрооборудование в сельском хозяйстве

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск – 2014

Работа выполнена на кафедре «Тепловодогазоснабжение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**Пташкина-Гирина Ольга Степановна**

Официальные оппоненты: **Соломин Евгений Викторович**,  
доктор технических наук, доцент, профессор  
кафедры «Электротехника и возобновляемые  
источники энергии» ФГБОУ ВПО «Южно-  
Уральский государственный университет»  
(Национальный исследовательский  
университет)

**Бастрон Андрей Владимирович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Электроснабжение  
сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО  
«Красноярский государственный аграрный  
университет»

Ведущая организация: ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный  
университет имени первого Президента  
России Б. Н. Ельцина»

Защита состоится «20» февраля 2015 г., в 13.00 часов на заседании  
диссертационного совета Д 220.069.01 на базе ФГБОУ ВПО «Челябинская  
государственная агроинженерная академия» по адресу: 454080, г. Челя-  
бинск, пр. им. В. И. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте  
ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия»  
<http://www.csaa.ru>.

Автореферат разослан «26» декабря 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного  
совета



Плаксин  
Алексей Михайлович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Повсеместное потребление органического топлива ведет к исчерпанию его запасов, и возникает необходимость в новых разработках месторождений, что приводит к удорожанию способа добычи топлива и, соответственно, к повышению его цены. Увеличение стоимости электроэнергии в последние годы существенно сказалось на стоимости сельхозпродукции, ввиду увеличения доли электроэнергии в структуре себестоимости продукции.

Снизить затраты на электроэнергию позволяет использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Несмотря на значительный экономический потенциал ВИЭ, Россия по уровню их использования заметно отстает от развитых стран. Одним из направлений использования ВИЭ является использование гидроэнергии водотоков.

Челябинская область является вододефицитной, поэтому сток большинства рек региона зарегулирован. Зарегулированный водный объем имеет значительные запасы гидроэнергии. Использовать гидроэнергетический потенциал готовых напорных гидроузлов позволят малые гидроэлектростанции (МГЭС).

Использование МГЭС в Челябинской области сдерживается недостаточной изученностью гидроэнергетического потенциала готовых напорных гидроузлов, что в свою очередь обусловлено отсутствием эмпирических данных по гидроузлам.

Существующие исследования параметров гидроузлов сводятся к их определению для целей водоснабжения, энергетические параметры готовых напорных гидроузлов остаются неисследованными. Анализ существующих водохозяйственных объектов Челябинской области позволил сделать предположение о том, что для оценки гидроэнергетического потенциала готовых напорных гидроузлов области необходимо знать их гидроэнергетические параметры, на которые оказывают влияние внутригодовое изменение природно-климатических факторов (сток, осадки, испарение и т.д.), а также режимы работы водопользователей.

Работа выполнена в соответствии с Федеральным законом «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 года, энергетическими стратегиями России до 2020-го и 2030 годов, «Областной целевой

программой повышения энергетической эффективности экономики Челябинской области и сокращения энергетических издержек в бюджетном секторе на 2010–2020 годы». Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.20.02.

**Цель работы:** повышение эффективности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей за счет использования гидроэнергии готовых напорных гидроузлов.

Исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие **задачи исследования:**

1. Исследовать и установить закономерности внутригодового изменения природно-климатических факторов региона, влияющих на работу водохранилищ, и их взаимосвязь с гидроэнергетическими параметрами напорных гидроузлов.

2. Разработать имитационную модель работы готового напорного гидроузла для определения его гидроэнергетических параметров.

3. Разработать гидроэнергетический кадастр готовых напорных гидроузлов Челябинской области.

4. Разработать технические решения по использованию гидроэнергетического потенциала гидроузлов.

5. Разработать методику определения целесообразности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей от малых ГЭС.

**Объект исследования:** энергетические ресурсы готовых напорных гидроузлов Челябинской области.

**Предмет исследования:** закономерности внутригодового изменения природно-климатических факторов региона, влияющих на работу водохранилищ, и их взаимосвязь с гидроэнергетическими параметрами напорных гидроузлов.

**Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:**

– установлена закономерность внутригодового изменения природно-климатических факторов региона, влияющих на работу водохранилищ, путем создания математических моделей внутригодового распределения стока, осадков и испарения на территории Челябинской области для любого по водности года;

– установлена взаимосвязь природно-климатических факторов, влияющих на работу водохранилищ, с гидроэнергетическими параметрами напорных гидроузлов;

- разработана имитационная модель работы готового напорного гидроузла, определяющая его внутригодовые гидроэнергетические параметры;
- впервые разработан гидроэнергетический кадастр готовых напорных гидроузлов Челябинской области, выделены 3 гидроэнергетические зоны;
- разработана установка и типоряд мобильной приплотинной гидроэлектростанции сифонного типа, получены результаты экспериментальных исследований;
- разработана методика определения целесообразности электроснабжения потребителя от МГЭС в зависимости от его мощности, напряжения и удаленности от МГЭС и ЦЭС.

**Практическая значимость работы и реализация ее результатов.** Результаты теоретических исследований, представленные в виде графиков и таблиц, а также созданная имитационная модель работы напорного гидроузла позволяют определить гидроэнергетический потенциал готовых напорных гидроузлов при недостатке гидрологической информации. Подсчитанный гидроэнергетический потенциал и разработанный гидроэнергетический кадастр готовых напорных гидроузлов могут использоваться при проектировании систем электроснабжения потребителей Челябинской области. Разработанные схемы пристроя МГЭС позволяют повысить комплексность использования водных ресурсов и могут использоваться как типовые при строительстве новых или реконструкции существовавших малых гидроэлектростанций. Разработанная установка микро-ГЭС сифонного типа позволяет вырабатывать электроэнергию на низконапорных гидроузлах без вмешательства в конструкцию плотины (конструкция защищена патентом на полезную модель РФ). Полученные зависимости для определения экономической целесообразности электроснабжения от МГЭС могут использоваться при проектировании систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в учебном процессе Челябинской государственной агроинженерной академии и Южно-Уральского государственного университета.

На основе проведенных в диссертационной работе исследований были разработаны и внедрены: имитационная модель работы

водохранилища неэнергетического назначения (ФГБУ «Челябинский ЦГМС»); мобильная приплотинная гидроэлектростанция сифонного типа (ЗАО «Челябинский компрессорный завод»), используемая также для электроснабжения оросительной установки на сельскохозяйственном предприятии (Чесменский район Челябинской области).

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы обсуждались и получили одобрение на международных научно-практических конференциях ЧГАА (г. Челябинск, 2010–2014 гг.), АГУ (г. Астрахань, 2010 г.), УрГСХА (г. Екатеринбург, 2012 г.), «Изменение климата и экология промышленного города» (г. Челябинск, 2010, 2012 гг.), всероссийских научно-практических конференциях УГТУ-УПИ (г. Екатеринбург, 2008, 2009 гг.), ЮУрГУ (г. Челябинск, 2009–2012, 2014 гг.), МГУ им. Ломоносова (г. Москва, 2010 г.), ВНИИГ им. Веденеева (г. Санкт-Петербург, 2011 г.) и др.; были представлены на выставках Агро-2010 (г. Челябинск, 2010 г.), «Инновации и изобретения года 2010» (г. Челябинск), НТТМ (г. Челябинск, г. Москва, 2011 г.), выставке проектов УрФО «Урал – территория развития» 2011 г., были представлены на конкурсах работ, отмечены дипломами на трех конкурсах, заняли призовые места в пяти: «Энергия развития» (ОАО «РусГидро», г. Москва, 2010 г.), «Молодые новаторы аграрной России» (ассоциация «Агрообразование», г. Москва, 2010 г.), «И5» (Инновационный центр И5, г. Челябинск, 2010 г.), областном конкурсе научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений, расположенных на территории Челябинской области (грант губернатора, г. Челябинск, 2012 г.), «Челябинская область – это мы» (Законодательное собрание Челябинской области, 2013 г.).

**Публикации.** Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 23 научных работах, в том числе три – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и один патент на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 196 страницах машинописного текста, содержит 25 таблиц, 48 рисунков, состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, 6 приложений.

Список использованной литературы включает в себя 122 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, поставлена цель работы, показана научная и практическая значимость, дана общая характеристика выполненных исследований.

В **первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» проведена оценка состояния малой гидроэнергетики в России и за рубежом. Анализ сельскохозяйственных потребителей электроэнергии позволил сделать вывод о возможности их электроснабжения от ВИЭ, в частности от малых и микроГЭС. Сделан вывод, что развитие малой гидроэнергетики в Челябинской области сдерживает отсутствие данных по гидроэнергетическому потенциалу готовых напорных гидроузлов.

Результаты исследований существующих водохозяйственных объектов Челябинской области позволили сделать вывод, что использовать их сбросы воды в нижний бьеф можно для выработки электроэнергии, однако использование водохранилищ неэнергетического назначения Челябинской области для целей гидроэнергетики вызывает **проблемную ситуацию**. С одной стороны, выработка электроэнергии на готовых напорных гидроузлах позволит снизить потребление органического топлива для целей электроснабжения сельскохозяйственных потребителей и повысить комплексность использования водных ресурсов. С другой стороны, энергетический потенциал готовых напорных гидроузлов области недостаточно изучен, а также неизвестна экономическая целесообразность электроснабжения от малых гидроэлектростанций.

Вопросами малой гидроэнергетики занимались многие ученые XX века. Исследованиями в области выработки электроэнергии на водохозяйственных объектах неэнергетического назначения занимались: В. В. Елистратов, Л. П. Михайлов, Б. Н. Фельдман и др.; гидроэнергетическими ресурсами водохранилищ Челябинской области – А. Н. Лаврищев, О. С. Пташкина-Гирина, Л. А. Саплин.

Исследование водохранилищ Челябинской области показало, что на их режим работы оказывает влияние внутригодовое изменение природно-климатических факторов (сток, осадки, испарение), по которым отсутствуют эмпирические данные.

Исследования водохранилищ Челябинской области позволили выдвинуть **гипотезу** о взаимосвязи внутригодового изменения природно-климатических факторов с гидроэнергетическими параметрами водохранилищ, основными из которых являются сосредоточенный напор и расход воды в нижний бьеф. Исследование природно-климатических факторов, в частности стока, осадков, испарения, позволит определить внутригодовое изменение энергетических ресурсов гидроузлов, оценить их гидроэнергетический потенциал в области и установить технико-экономическую целесообразность использования МГЭС для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Анализ существующего оборудования для малой гидроэнергетики показал, что выпускаемые промышленностью гидроэнергетические установки не всегда подходят для использования на территории Челябинской области ввиду отсутствия на большей части области скоростей потока рек более 1,5 м/с и уклонов более 0,05. Кроме того, существующие водохранилища не предназначены для целей гидроэнергетики, поэтому требуется разработка типовых решений пристроя МГЭС без вмешательства в конструкцию гидроузла.

Все вышеизложенное позволило определить задачи исследования.

**Вторая глава** «Теоретические исследования гидроэнергетического потенциала готовых напорных гидроузлов» посвящена взаимосвязи гидроэнергетических параметров напорных гидроузлов с внутригодовыми изменениями природно-климатических факторов региона и определению гидроэнергетического потенциала водохранилищ Челябинской области.

Определение гидроэнергетических параметров гидроузла возможно из уравнения водного баланса:

$$H, Q = f(B),$$

$$B = \sum W_{\text{ПРИХОД}} - \sum W_{\text{РАСХОД}}, \quad (1)$$

где  $B$  – результирующая составляющая (избыток или дефицит водных ресурсов), млн м<sup>3</sup>;

$\sum W_{\text{ПРИХОД}}$  – объем воды, поступающий за расчетный период в водохранилище, млн м<sup>3</sup>;



$$\sum W_{\text{ПРИХОД}} = W_{\text{вх}} + W_{\text{бок}} + W_{\text{пзв}} + W_{\text{вв}} + W_{\text{дот}} + W_{\text{лв}} + W_{\text{ос}}, \quad (2)$$

где  $W_{\text{вх}}$  – объем стока, поступающий за расчетный период с вышележащих участков, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{бок}}$  – боковая приточность, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{пзв}}$  – объем водозабора из подземных водных объектов, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{вв}}$  – возвратные воды, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{дот}}$  – дотационный объем воды, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{лв}}$  – возврат воды в результате таяния льда весной, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{ос}}$  – объем воды, поступающий в водохранилище в виде осадков, млн м<sup>3</sup>;

$\sum W_{\text{РАСХОД}}$  – объем воды, расходуемый на потери и водозабор из водохранилища, млн м<sup>3</sup>:

$$\sum W_{\text{РАСХОД}} = W_{\text{л}} + W_{\text{исп}} + W_{\text{у}} + W_{\text{пер}} + W_{\text{вдп}} + W_{\text{кп}} + W_{\text{ф}}, \quad (3)$$

где  $W_{\text{л}}$  – потери воды при оседании льда на берега при зимней сработке водохранилища, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{исп}}$  – потери на испарение, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{у}}$  – водозабор из подземных водных объектов, имеющих гидравлическую связь с водохранилищем, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{пер}}$  – переброска части стока (в другие бассейны), млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{вдп}}$  – суммарные требования всех водопользователей, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{кп}}$  – транзитный сток или комплексный попуск, млн м<sup>3</sup>;

$W_{\text{ф}}$  – фильтрационные потери из водохранилища, млн м<sup>3</sup>.

Вследствие недостаточного информационного обеспечения гидрологических прогнозов и отсутствия некоторых составляющих водного баланса водохранилища, в частности полезного притока к водохранилищу, осадков и испарения, возникла задача моделирования составляющих баланса по косвенным или обобщенным показателям.

Для расчета и анализа основных статистических характеристик среднемесячного стока в каждом гидроэнергетическом районе, однородном в статистическом отношении, выделенном учеными Челябинской государственной агроинженерной академии (ЧГАА), был взят гидропост с наиболее длинным рядом наблюдений за естественным стоком ( $n > 30$ –40 лет). Основные параметры распределения определены методом моментов.

Детальное рассмотрение внутрирядных корреляционных связей расходов воды позволило утверждать, что расчет заполнения

водохранилищ необходимо начинать с апрельского стока, который, как правило, не зависит от стока в предшествующие месяцы.

Для всех выбранных створов проведена проверка законов распределения. Наибольшую сходимость показало трехпараметрическое гамма-распределение.

Для моделирования стока с учетом внутригодового его распределения разрезка многоразовой реализации годового гидрографа производилась по среднемесячному расходу.

В качестве примера приведена кривая распределения среднемесячных расходов воды гидропоста 1-го гидроэнергетического района на р. Урал – с. Кизильское за III месяц (рисунок 1).

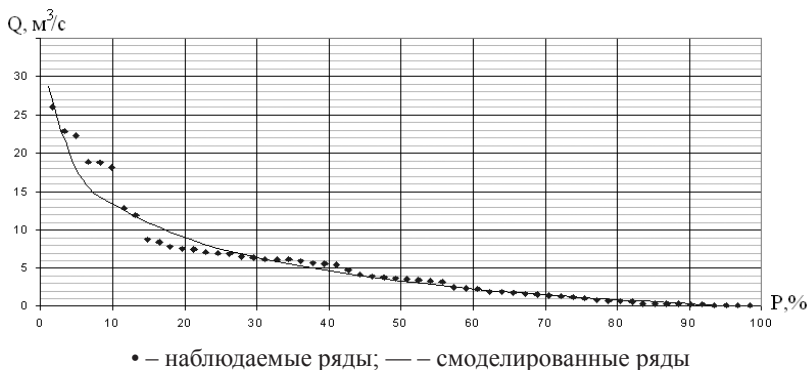


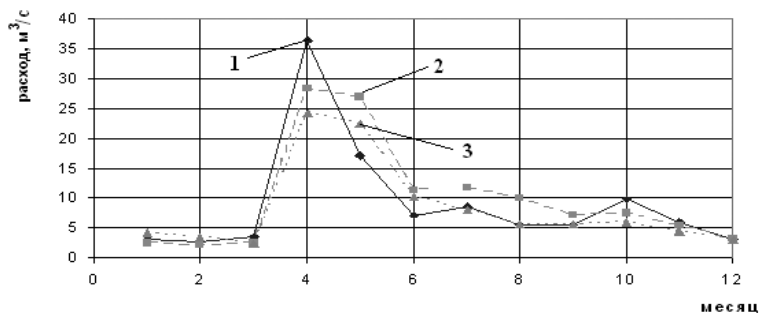
Рисунок 1 – Функции вероятностей превышения (обеспеченности) среднемесячных расходов воды гидропоста р. Урал – с. Кизильское

Для всех расчетных створов была проведена оценка соответствия (согласия) аналитической и эмпирической кривых распределения среднемесячных расходов воды по критерию  $\chi^2$ . В том случае, если не выполнялось условие согласия, теоретическая кривая корректировалась с учетом коэффициента вариации близлежащих гидрологических постов.

Для исключения азонального фактора координаты стоковых характеристик различной обеспеченности были переведены в модули стока.

Для апробации модели взято Аргазинское водохранилище на р. Миасс, относящейся к бассейну р. Тобол, как наиболее сложное по режиму работы (многолетнего регулирования) и наиболее освещенное гидрометеорологическими наблюдениями.

На рисунке 2 представлены теоретические и эмпирические значения притока к Аргазинскому гидроузлу.



1 – по 50%-му обеспеченному эмпирическому среднему годовому расходу (1986 г.); 2 – по средним месячным эмпирическим расходам;  
3 – по смоделированному ряду 50%-му обеспеченному году

Рисунок 2 – Приток к Аргазинскому водохранилищу

Расхождение между данными теоретическими и эмпирическими находится в пределах 10–15%, вследствие чего можно судить об адекватности предложенной модели стока.

При статистической обработке многолетнего ряда наблюдений за осадками метеостанции Аргаяш и стоком р. Миасс – с. Новоандреевка, расположенных на одной территории, была получена их достаточно тесная корреляционная связь и ее уравнение, позволяющее восстановить годовые суммы осадков по известному стоку. Уравнение связи имеет вид:

$$y = 15,2x + 311, \quad (4)$$

где  $x$  – среднегодовой расход, м³/с;

$y$  – суммарный слой осадков за год, мм.

Определение внутригодового распределения слоя осадков производилось методом среднего распределения их за годы характерной вероятности, что позволило выявить внутригодовое распределение осадков на территории Челябинской области для водохозяйственного года различной водности.

По известным формулам расчета испарения с поверхности водоемов рассчитана его норма для водохранилищ Челябинской области.

По рассчитанной норме и коэффициенту вариации определено испарение с водной поверхности разной обеспеченности, в качестве закона распределения принят закон распределения Пирсона III типа.

Вычисленные доли месячных сумм испарения с водной поверхности распространены на неизученные водоемы региона.

Анализ теоретических и эмпирических данных по испарению с поверхности Аргазинского водохранилища показал адекватность предложенной модели определения испарения с поверхности водохранилищ Челябинской области.

Для определения гидроэнергетических параметров напорного гидроузла и его гидроэнергетического потенциала на основании уравнения водного баланса (1) разработана имитационная модель работы водохранилища, учитывающая приходную и расходную части, а также запросы водопотребителей как в верхнем, так и в нижнем бьефах.

Учитывая индивидуальность каждого водного объекта, в модель вводятся все возможные параметры учета водохозяйственного баланса, при этом основные требования:

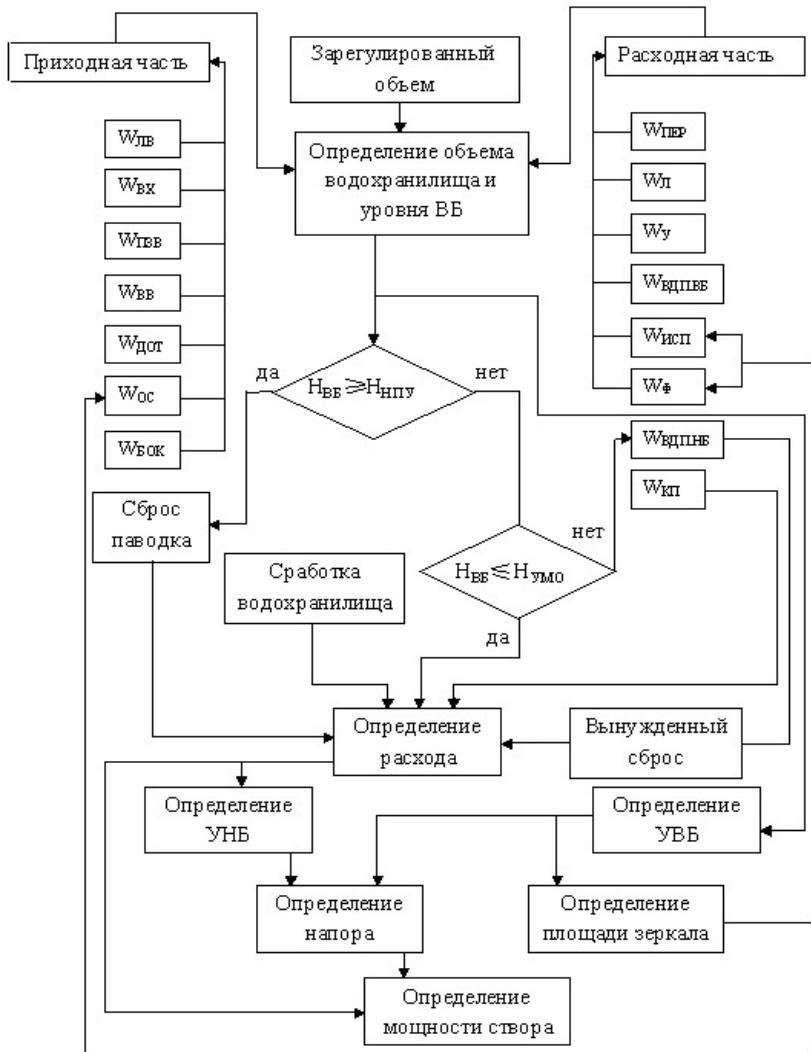
- не превышение отметки НПУ (нормального подпорного уровня);
- недопущение сработки водохранилища ниже отметки УМО (уровня мертвого объема).

Вычисленные холостые сбросы в нижний бьеф и разность отметок верхнего (ВБ) и нижнего (НБ) бьефов позволяют определить гидроэнергетические параметры гидроузла (расход и напор) и, соответственно, мощность водного потока в створе гидроузла (гидроэнергетический потенциал).

Структурная схема разработанной имитационной модели приведена на рисунке 3.

В качестве примера определения гидроэнергетического потенциала гидроузла с учетом смоделированных природно-климатических характеристик проведено имитационное моделирование работы Аргазинского водохранилища при помощи программного пакета Scilab-Scicos.

На рисунке 4 представлены значения гидроэнергетической мощности створа Аргазинского гидроузла при моделировании по среднемесячным эмпирическим, среднемесячным теоретическим и среднегодовым эмпирическим данным.



$H_{ВБ}$ ,  $H_{НПУ}$ ,  $H_{УМО}$  – отметки уровней верхнего бьефа при НПУ и УМО соответственно, м;  $W_{вдп. вб}$ ,  $W_{вдп. нб}$  – требования всех водопользователей в верхнем и нижнем бьефах соответственно, млн м<sup>3</sup>

Рисунок 3 – Структурная схема имитационной модели работы гидроузла

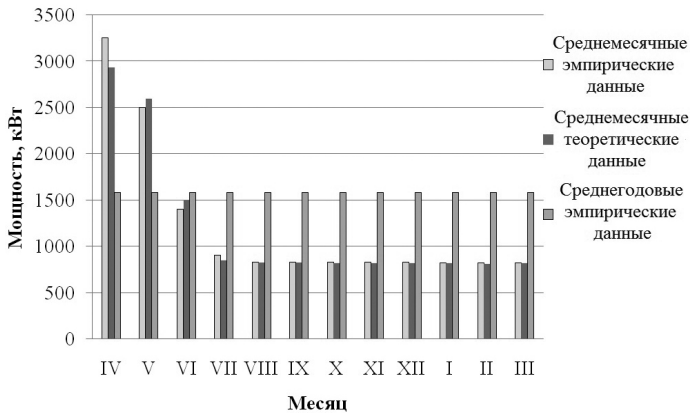


Рисунок 4 – Гидроэнергетическая мощность створа Аргазинского гидроузла

Полученные в ходе моделирования результаты подтвердили адекватность разработанной модели и доказали необходимость рассмотрения внутригодового изменения гидроэнергетических параметров гидроузла. Имитационное моделирование работы Аргазинского водохранилища позволило смоделировать различные сценарии работы гидроузла, а также определить гарантированную и сезонную гидроэнергетические мощности створа с числом часов использования последней.

Произведенное моделирование работы водохранилищ позволило выявить гидроэнергетический потенциал готовых напорных гидроузлов Челябинской области, который составил 342 млн кВт·ч в год, из которых 77,5 млн кВт – при сработке полезного объема и 264,5 млн кВт – потенциал 75% обеспеченного естественного стока, а также возможное количество часов его использования в год. По результатам исследований на территории области выделены 3 зоны гидроэнергоресурсов готовых напорных гидроузлов (таблица 1).

В третьей главе «Теоретическое и экспериментальное обоснование технических решений использования энергетического потенциала напорных гидроузлов» предложены различные варианты технических решений использования выявленного потенциала в зависимости от конструкции гидроузла и способа установки гидроэлектростанции.

Таблица 1 – Гидроэнергетический потенциал готовых напорных гидроузлов Челябинской области по зонам

Зона	Гидроэнергетический потенциал			
	Сработка полезного объема		Естественный сток	
	Мощность, кВт	Выработка, млн кВт·ч/год	Мощность, кВт	Выработка, млн кВт·ч/год
1	6550	57,4	15 663	137,2
2	2100	18,4	12 770	111,9
3	200	1,8	1767	15,5
Итого	8850	77,6	30 200	264,6

Моделирование составляющих водного баланса позволило дать оценку гидроэнергетической мощности гидроузлов и сделать предложение по техническому использованию гидроэнергетического потенциала. Исследование основных типов конструкций и разработанный гидроэнергетический кадастр готовых напорных гидроузлов позволили разделить гидроузлы Челябинской области на 2 группы: крупные и средние, с возможностью установки стационарных малых ГЭС (с полным объемом 0,1–10 км<sup>3</sup> и площадью водного зеркала 20–500 км<sup>2</sup>, расположенные преимущественно в 1-й гидроэнергетической зоне), и небольшие и малые водохранилища, подходящие для использования мобильных микроГЭС с мощностью до 30 кВт (с полным объемом менее 0,1 км<sup>3</sup> и площадью водного зеркала менее 20 км<sup>2</sup>, характерные для 2-й и 3-й гидроэнергетических зон).

Для первой группы водохранилищ в зависимости от конструкции напорного гидроузла предложено несколько технических решений сооружения стационарных малых ГЭС:

- на основании анализа сохранившегося здания ранее существовавшей МГЭС приплотинного типа на Аргазинском водохранилище предложено проточный тракт старой МГЭС использовать как напорный водовод, гидроагрегат мощностью 800 кВт установить на выходе отсасывающей трубы;

- анализ здания ранее существовавшей МГЭС руслового типа на Шершневском гидроузле показал, что имеется возможность установки МГЭС мощностью 550 кВт на старой площадке;

- исследование конструкции Долгобродского гидроузла показало, что он имеет уникальную конструкцию со строительным

тоннелем в теле плотины, созданный в период возведения основных сооружений гидроузла, который может быть использован в качестве напорного тракта. Конструкция гидроузла позволила предложить установку малой ГЭС в нижнем бьефе под козырьком эксплуатационного водослива с гарантированной мощностью 1,55 МВт;

– в качестве примера пристроя МГЭС к малому гидроузлу рассмотрен Кыштымский гидроузел. Анализ конструкции гидроузла позволил предложить возведение здания микроГЭС в русле р. Кыштым в непосредственном примыкании к водобойному колодцу. Гарантированная мощность МГЭС составляет 30 кВт.

Для выработки электроэнергии на небольших и малых гидроузлах рассмотрены два варианта: для низконапорных гидроузлов сезонного регулирования, имеющих плотины с донным водовыпуском, приведен расчет параметров водного потока, позволяющих определить его мощность и выбрать гидроэнергетическую установку; для водохранилищ, не имеющих возможности пристроя микроГЭС к донному водовыпуску, разработана мобильная приплотинная гидроэлектростанция, не требующая вмешательства в тело плотины, работающая по принципу сифона (конструкция защищена патентом на полезную модель РФ) (рисунок 5).



Рисунок 5 – Схема установки мобильной приплотинной гидроэлектростанции сифонного типа

Проведенные исследования водохранилищ и произведенные расчеты позволили разработать типоряд мобильной приплотинной микрогидроэлектростанции сифонного типа для условий Челябинской области, рассчитанный на параметры: напор – 3–13 м, расход – 0,038–0,95 м<sup>3</sup>/с, мощность – 0,35–50 кВт.



В работе приведены результаты экспериментальных исследований приплотинной микроГЭС сифонного типа, включающих в себя два этапа: лабораторные и полевые исследования. Их проведение позволило подтвердить возможность выработки электроэнергии на микроГЭС в реальных условиях, а также определить рабочие характеристики агрегата и оценить энергетические и эксплуатационные качества установки. Данные, полученные в результате экспериментов: мощность, выработанная генератором, – 1,5 кВт, число оборотов генератора – 1050 об/мин при  $Q = 0,056 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $H = 8,1 \text{ м}$ ,  $d = 0,15 \text{ м}$ ,  $l = 54 \text{ м}$ . Результаты эксперимента подтвердили правильность теоретического расчета типоряда сифонной микрогидроэлектростанции.

В четвертой главе «Оценка целесообразности электроснабжения от малых и микроГЭС» проведены исследования по оценке целесообразности использования гидроэнергетического потенциала готовых напорных гидроузлов для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей Челябинской области.

Рассмотрение структуры затрат на сооружение малых ГЭС позволило определить первоначальные затраты на сооружение гидроэлектростанции, а также себестоимость производимой на них электроэнергии (рисунок 6).

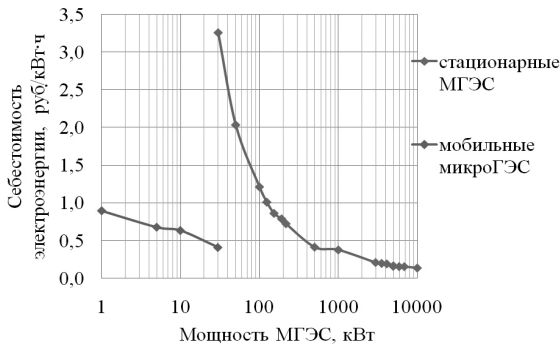


Рисунок 6 – Зависимость себестоимости производства электроэнергии на МГЭС от ее мощности

Исследования структуры затрат на возведение линии электропередач и годовых издержек на ее обслуживание позволили определить рациональные варианты схем электроснабжения потребителя.

Проведенные исследования позволили получить зависимости стоимости электроэнергии от МГЭС с учетом затрат на ЛЭП различной длины и уровня напряжения.

На основании проведенных исследований получены зависимости целесообразности электроснабжения потребителя от МГЭС относительно его мощности, напряжения, удаленности от малой ГЭС и централизованных электросетей (ЦЭС), а также стоимости электроэнергии от ЦЭС. В качестве примера приведены зависимости для определения экономической целесообразности электроснабжения от МГЭС при напряжении потребителя 0,4 кВ и стоимости электроэнергии от ЦЭС 4 руб./кВт·ч (рисунок 7).

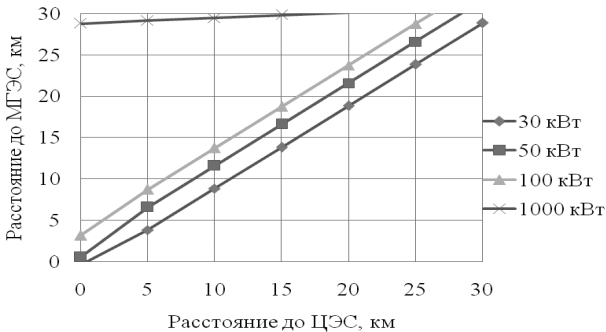


Рисунок 7 – Определение экономической целесообразности электроснабжения от МГЭС при напряжении потребителя 0,4 кВ при цене 4 руб./кВт·ч

Проведенные технико-экономические исследования микроГЭС сифонного типа позволили определить стоимость установки и показали, что первоначальные затраты на микроГЭС сифонного типа до 9 кВт больше, чем на традиционные электростанции (бензо- и дизельгенераторы), однако даже превышая первоначальные затраты в 7,5 раза, гидроэлектростанция мощностью 0,35 кВт окупится менее чем за 1,5 года при условии ее использования 6 месяцев в году.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Повысить эффективность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей Челябинской области за счет снижения стоимости электроэнергии и обеспечения их резервирования позволят

малые ГЭС, пристраиваемые к готовым напорным гидроузлам. Использование гидроэнергетического потенциала готовых напорных гидроузлов сдерживается его недостаточной изученностью. Выявлено, что для определения энергетических ресурсов готовых напорных гидроузлов необходимо исследовать взаимосвязь природно-климатических факторов региона, влияющих на работу водохранилищ, с гидроэнергетическими параметрами гидроузлов. При этом к гидроэнергетическим параметрам напорных гидроузлов отнесены сосредоточенный напор и расход воды в нижний бьеф.

2. Установлены и аналитически описаны закономерности внутригодового изменения природно-климатических факторов Челябинской области, а именно внутригодового распределения стока, осадков и испарения, что позволяет раскрыть их взаимосвязь с гидроэнергетическими параметрами напорного гидроузла, а следовательно, осуществить оценку энергетических ресурсов водохранилищ.

3. Разработана имитационная модель работы готовых напорных гидроузлов, позволяющая исследовать и определять внутригодовые изменения гидроэнергетических параметров напорных гидроузлов. Данная модель подтверждает адекватность математических моделей природно-климатических факторов Челябинской области, а также доказывает необходимость рассмотрения внутригодового изменения гидроэнергетических параметров гидроузлов и влияющих на них природно-климатических факторов и режимы работы водопользователей.

4. Разработан гидроэнергетический кадастр готовых напорных гидроузлов Челябинской области, позволивший выделить 3 гидроэнергетические зоны: наиболее перспективна 1-я зона (горнозаводская) с гидроэнергетическим потенциалом 194,6 млн кВт·ч/год, 2-я зона (южная часть области) имеет потенциал, составляющий 130,3 млн кВт·ч/год, и 3-я зона (северо-восточная часть) – 17,3 млн кВт·ч/год. Установленные закономерности внутригодового распределения энергетического потенциала гидроузлов позволяют утверждать, что при определении мощности гидросиловой установки необходимо учитывать значительное снижение энергетических ресурсов створа в зимний период на 80–90%, особенно для 2-й и 3-й гидроэнергетических зон.

5. Установлено на основе исследования конструкций гидроузлов Челябинской области, что пристрой МГЭС должен осуществляться без вмешательства в конструкцию плотины. При этом выделены две группы гидроузлов, крупные и средние, с возможностью установки стационарных малых ГЭС, и небольшие и малые,

обуславливающие использование мобильных микроГЭС. Для гидроузлов с возможностью установки стационарных МГЭС предложены технические решения пристроя к четырем гидроузлам с разной конструкцией, на двух из которых ранее существовали МГЭС, и два, которые впервые рассмотрены в энергетическом отношении. Для гидроузлов, имеющих возможность пристроя микроГЭС на выходе донного водовыпуска, произведен расчет параметров водного потока, позволяющих выбрать гидроэнергетическую установку. Для водохранилищ, не имеющих возможности установки гидроагрегата на выходе донного водовыпуска, разработана мобильная приплотинная гидроэлектростанция сифонного типа.

6. Экспериментальные исследования мобильной приплотинной гидроэлектростанции сифонного типа подтвердили возможность выработки электроэнергии на гидроузлах при помощи микроГЭС сифонного типа, а также доказали адекватность расчета типоряда микроГЭС с параметрами: напор – 3–13 м, расход – 0,038–0,95 м<sup>3</sup>/с, мощность – 0,35–50 кВт.

7. Определены технико-экономические показатели МГЭС и ЛЭП, позволившие выбрать рациональные варианты схем электроснабжения потребителей, что позволило разработать методику и дать рекомендации по определению целесообразности электроснабжения потребителя от МГЭС в зависимости от его мощности, напряжения, удаленности от малой ГЭС и централизованных электросетей.

8. В результате энергоэкономических исследований мобильной приплотинной гидроэлектростанции сифонного типа установлено, что микроГЭС является конкурентоспособной в сравнении с бензо- и дизель-генераторами. Первоначальные затраты на микроМГЭС до 9 кВт больше, чем на бензо- и дизель-генераторы, однако даже превышая первоначальные затраты в 7,5 раза, гидроэлектростанция мощностью 0,35 кВт окупится менее чем за 1,5 года при условии ее использования 6 месяцев в году.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

1. Пташкина-Гирина, О. С. Гидроэнергетический потенциал напорных гидроузлов Челябинской области [Текст] / О. С. Пташ-

кина-Гирина, О. А. Гусева // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 8. – С. 66–68.

2. Пташкина-Гирина, О. С. Электроснабжение автономных сельскохозяйственных потребителей с помощью малых ГЭС [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 10–2(105). – С. 32–34.

3. Саплин, Л. А. Электроснабжение автономных сельскохозяйственных потребителей с помощью микроГЭС сифонного типа [Текст] / Л. А. Саплин, О. А. Гусева // Вестник БашГАУ. – 2011. – № 4(20). – С. 60–63.

### **Основные публикации в других изданиях**

4. Экология и природопользование. Т. 3 : Избранные труды Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки [Текст] / Ф. З. Абдуллаев [и др.]. – М. : РАН, 2012. – С. 78–83.

5. Гусева, О. А. Возможность использования микроГЭС в Челябинской области [Текст] / О. А. Гусева // Возобновляемые источники энергии : матер. VII Всерос. науч. молодежной школы с междунар. участием. – М. : МИРОС, 2010. – С. 132–135.

6. Гусева, О. А. Гидросиловое оборудование для малой гидроэнергетики [Текст] / О. А. Гусева, О. С. Пташкина-Гирина // Альтернативная энергетика и энергосбережение в регионах России : матер. науч.-практ. семинара (г. Астрахань, 14–16 апреля 2010 г.). – Астрахань : Изд. дом «Астраханский университет», 2010. – С. 40–44.

7. Гусева, О. А. Гидроэнергетический потенциал готовых напорных гидроузлов Челябинской области [Текст] / О. А. Гусева // Шестая Уральская выставка научно-технического творчества молодежи (НТТМ) изобретателей, рационализаторов, конструкторов «Евразийские ворота России» : каталог. – Челябинск, 2011. – С. 15–16.

8. Гусева О. Малая ГЭС в системе комплексного использования водных ресурсов Шершневского и Кыштымского водохранилищ [Текст] / О. Гусева // Материалы LX студенч. науч. конференции. – Челябинск : ЧГАУ, 2009. – С. 18–21.

9. Гусева, О. А. Маркетинговое исследование гидросилового оборудования для малой гидроэнергетики [Текст] / О. А. Гусева, О. С. Пташкина-Гирина // Экокультура и фитобиотехнологии улучшения качества жизни на Каспии : матер. Междунар. конф. с элементами науч. школы для молодежи (г. Астрахань, 7–10 декабря 2010 г.). – Астрахань : Изд. дом «Астраханский университет», 2010. – С. 12–15.

10. Гусева, О. А. Основные параметры гидроэнергетических установок на гидроузлах сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс] / О. А. Гусева, О. С. Пташкина-Гирина // Материалы ЛП междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2014. – Ч. V. – С. 22–25. – Режим доступа : <http://www.csaа.ru/sci/conf/csaа-conf.html>.

11. Гусева, О. А. Оценка экономической эффективности энергоснабжения потребителей от малой ГЭС [Текст] / О. А. Гусева // Материалы ЛП междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2013. – Ч. V. – С. 149–154.

12. Гусева, О. А. Перспектива комплексного использования Аргазинского гидроузла [Текст] / О. А. Гусева, О. С. Пташкина-Гирина // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : сб. матер. Всерос. студенч. олимпиады 16–19 ноября 2009 г., науч.-практ. конф. и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых 14–18 декабря 2009 г. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2009. – С. 464–466.

13. Гусева, О. А. Перспективы малой гидроэнергетики Челябинской области [Текст] / О. А. Гусева, О. С. Пташкина-Гирина // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : сб. матер. Всерос. студенч. олимпиады, науч.-практ. конф. и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых 11–14 ноября 2008 г. – Екатеринбург : УГТУ ; УПИ, 2008. – С. 257–259.

14. Пташкина-Гирина, О. С. Гидроэлектростанция [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // И.Л. № 74-030-12 / РОС-ИНФОРМРЕСУРС. – Челябинск, 2012.

15. Пташкина-Гирина, О. С. Гидроэнергетический кадастр водохранилищ Челябинской области [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // Наука ЮУрГУ : матер. 63-й науч. конференции. Секц. : Технические науки. – Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2011. – Т. 2. – С. 223–226.

16. Пташкина-Гирина, О. С. Гидроэнергетический потенциал Южного Урала [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // VI науч.-техн. конф. «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии» (г. Санкт-Петербург, 27–29 октября 2011 г.) : доклады и выступления / под ред. Е. Н. Беллендира, В. Б. Глаговского, Р. М. Халиахметова, А. П. Пака. – СПб. : ОАО «ВНИИГ им. Веденеева», 2012. – С. 33–34.

17. Пташкина-Гирина, О. С. Определение энергетической мощности створа гидроузла комплексного назначения с помощью имитационного моделирования пакета Matlab-Simulink [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // Материалы ЛП междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2013. – Ч. VI. – С. 257–259.

18. Пташкина-Гирина, О. С. Технические решения при использовании энергетического потенциала напорных гидроузлов [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // Вестник международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (приложение). Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, опыт применения : матер. II междунар. науч.-практ. конференции. – СПб. ; Чита : РИК ЧитГУ, 2010. – Т. 15. – № 4. – С. 114–118.

19. Пташкина-Гирина, О. С. Энергетический потенциал водных ресурсов Челябинской области [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // Официальный каталог. Международный форум «Изменение климата и экология промышленного города». – Челябинск, 2012. – С. 72–73.

20. Пташкина-Гирина, О. С. Энергетические ресурсы напорных гидроузлов Челябинской области [Электронный ресурс] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // Охрана водных объектов Челябинской области : сб. тез. обл. науч.-практ. конференции. – Челябинск, 2010. – С. 164–168. – Режим доступа : <http://mineco174.ru/files/OOS/Doklady2new.doc>.

21. Пташкина-Гирина, О. С. Энергетическое использование стока рек Челябинской области [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // Официальный каталог. Международный форум «Изменение климата и экология промышленного города». – Челябинск, 2010. – С. 81.

22. Пташкина-Гирина, О. С. Энерго-экономическая характеристика МГЭС [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева // Наука ЮУрГУ : матер. 64-й науч. конференции. Секц. : Технические науки. – Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2012. – Т. 2. – С. 223–226.

#### **Авторские свидетельства, патенты**

23. Пат. № 100775 Российская Федерация МПК E02B 9/00. Гидроэлектростанция [Текст] / О. С. Пташкина-Гирина, О. А. Гусева, С. В. Гусев, В. Д. Щирый ; ФГОУ ВПО ЧГАА. – № 2010128195 ; заявл. 07.07.2010 ; опубл. 27.12.2010.

---

Подписано в печать 08.12.2014. Формат 60×84/16  
Гарнитура Times. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 267

---

Отпечатано в ИПЦ ФГБОУ ВПО ЧГАА  
454080, г. Челябинск, ул. Энгельса, 83