

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор-директор ЭНИН
_____ Боровиков Ю.С.
« ___ » июня 2010 г.

**Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, А.И. Муравлев,
С.Г. Обухов, Е.А. Шутов, К.В. Юдина**

Возобновляемые источники энергии

Часть I

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу
«Микрогидроэлектростанции» для студентов V курса, обучающихся
по направлению 140200 «Электроэнергетика», специальности
140200.12 «Возобновляемые источники энергии»

Издательство
Томского политехнического университета
2010

УДК 621.311.21(076.5)

ББК 31.57я73

Л64

Лукутин Б.В.

Л64

Возобновляемые источники энергии. Часть 1: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Микрогидроэлектростанции» для студентов V курса, обучающихся по направлению 140200 «Электроэнергетика», специальности 140200.12 «Возобновляемые источники энергии» / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, А.И. Муравлев, С.Г. Обухов, Е.А. Шутов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 31 с.

УДК 621.311.21(076.5)

ББК 31.57я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ЭЛТИ
« 27 » мая 2010 г.

Зав. кафедрой ЭСПП профессор, д.т.н. _____ *Б.В. Лукутин*
Председатель учебно-методической
комиссии _____ *В.И. Готман*

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
Е.В. Тарасов

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2010

© Лукутин Б.В., Муравлев И.О.,
Муравлев А.И., Обухов С.Г.,
Шутов Е.А., Юдина К.В., 2010

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2010

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С АВТОБАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКОЙ

Цель работы: внести вклад в подготовку студента к решению ряда профессиональных задач в области производственно-технологической и научно-исследовательской деятельности, таких как:

- разработка мероприятий по эффективному использованию энергии и сырья;
- анализ состояния и динамики показателей качества объектов деятельности с использованием необходимых методов и средств исследований;
- создание математических и физических моделей объектов профессиональной деятельности.

Задачи работы:

- изучить особенности конструкции гидроэнергоустановок, принципы действия крупных гидроэлектростанций и микрогидроэлектростанций;
- изучить методы построения стабилизирующих систем микрогидроэлектростанций;
- экспериментально установить влияние скорости вращения гидротурбины и электрической нагрузки на основные энергетические характеристики микрогидроэлектростанции.

Выполнение программы занятия обеспечивает развитие общекультурных и профессиональных компетенций, таких как:

- способность использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ;
- способность анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию;
- способность использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности;
- способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов;
- готовность применять методы и средства автоматизированных систем управления технологическими процессами электроэнергетической и электротехнической промышленности;
- готовность использовать современные и перспективные компьютерные и информационные технологии;

- способность планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований;
- готовность представлять результаты исследования в виде отчетов, рефератов, научных публикаций и на публичных обсуждениях.

Глоссарий

Гидроэлектростанция (ГЭС) – электростанция, преобразующая механическую энергию потока воды в электрическую энергию посредством гидравлических турбин, приводящих во вращение электрические генераторы. Гидроэлектростанции обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища.

Гидроэнергетические ресурсы – часть водных ресурсов территории, которая может быть использована для производства энергии.

Гидроэнергия – это энергия, сосредоточенная в потоках водных масс в русловых водотоках и приливных движениях. Любой водяной поток обладает кинетической и потенциальной энергией.

Малая энергетика. Автономность малой энергетики позволяет решить задачу электро- и теплоснабжения удаленных и энергодефицитных районов, которым трудно найти средства на строительство крупных станций, прокладки теплоцентралей, сооружений ЛЭП. Вложенные средства в строительство объектов малой (альтернативной) энергетики не только быстро окупаются, но и делают предприятие независимым от роста цен на электроэнергию и углеводородное сырье. К объектам малой энергетики традиционно относятся малые ГЭС и ТЭС, биогазовые, ветроэнергетические и солнечные установки, газовые и дизельные электростанции.

МикроГЭС. МикроГЭС относятся к технологиям, не приносящим вреда окружающей среде, с помощью которых можно производить электроэнергию с небольшими затратами в любых изолированных населенных пунктах, где есть горы и небольшие реки. Двумя ключевыми компонентами любой микроГЭС являются гидростатический напор (расстояние по вертикали между заборным устройством и турбиной) и расход (дебит) воды (объем воды, которая вращает турбину). МикроГЭС – гидроэлектростанция с установленной мощностью до 100 кВт.

Расход воды. Важной характеристикой реки является *расход воды*, т.е. объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени. Расход воды зависит от величины бассейна, его водности, характера рельефа, геологического строения, почвенного покрова и растительности территории. Расход воды прямо пропорционален площади бассейна, поэтому, чем ниже по течению, тем более многоводная река, так как все больше притоков впадает в нее. На расход воды влияют и климатические факторы - температура и распределение осадков по сезонам года.

Средний расход воды – среднеарифметическая величина расхода воды для определенного створа водотока за рассматриваемый период времени, определяемая путем деления объема стока за период времени на число секунд в данном периоде.

Сокращения

АД – асинхронный двигатель

БД – база данных

БК – блок коммутаций

БН – балластная нагрузка

ВИЭ – возобновляемые источники электроэнергии

Г – электрический генератор

ГТ – гидротурбина

И – инвертор

ЛАРМ – Лабораторное Автоматизированное Рабочее Место

Н – полезная нагрузка

ПК – персональный компьютер

РБН – регулятор балластной нагрузки

СГ – синхронный генератор

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

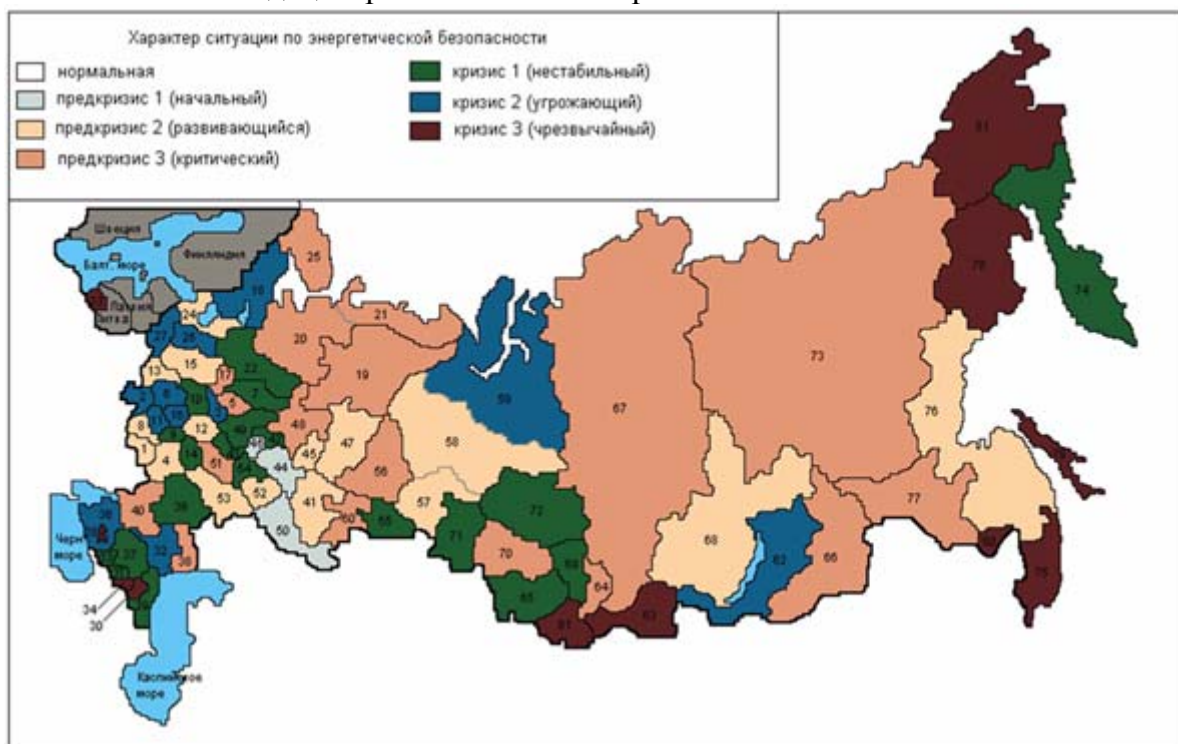
Возобновляемые источники энергии

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это энергоресурсы постоянно существующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоценозов растительного и животного происхождения. Характерной особенностью ВИЭ является их неистощаемость, либо способность восстанавливать свой потенциал за короткое время – в пределах срока жизни одного поколения людей [1]. ВИЭ включают следующие формы: солнечная, геотермальная, ветровая, энергия морских волн и течений, приливов и океана, энергия биомассы, гидроэнергия, низкопотенциальная тепловая энергия.

Сегодня вопросы использования ВИЭ актуальны для многих стран мира в силу различных обстоятельств. Для промышленно развитых стран, зависящих от импорта топливно-энергетических ресурсов это, прежде всего, энергетическая безопасность. Для развитых стран, богатых собственными энергоресурсами, – это экологическая безопасность. Для развивающихся стран – возможность улучшить социально-бытовые условия жизни населения [2].

Среди основных причин, обусловивших развитие ВИЭ в России, можно выделить следующие:

- обеспечение энергетической безопасности (рис. 1);
- сохранение окружающей среды и обеспечение экологической безопасности;
- сохранение запасов собственных энергоресурсов для будущих поколений;
- обеспечение зон децентрализованного энергоснабжения.



<http://www.energystrategy.ru>

Рис. 1. Энергетическая безопасность регионов России

Главными преимуществами ВИЭ, определяющими интерес к ним, являются [3]:

- неисчерпаемость или возобновляемость, на которой может основываться устойчивое развитие энергетики;
- экологическая чистота (использование ВИЭ в подавляющем большинстве не сопровождается ни химическим, ни тепловым загрязнением);
- доступность, наличие того или иного источника практически в любом регионе земного шара.

Наряду с перечисленными достоинствами ВИЭ обладают существенными недостатками, такими как:

- малая плотность потока энергии в расчете на единицу площади или объема, определяющая немалые габариты установок возобновляемой энергетики, а следовательно, и их стоимость;
- непостоянство поступления энергии во времени.

В 2004 году суммарная установленная мощность сетевых установок возобновляемой энергетики (за исключением крупных ГЭС) в мире составила бо-

лее 160 ГВт (около 4% общей установленной мощности) [3]. В табл. 1 приведен вклад отдельных источников энергии [3].

Таблица 1. Установленная мощность ВИЭ в мире в 2004 г.

№	Установки возобновляемой энергетики	Установленная мощность ВИЭ, ГВт (эл.)
1	Малые ГЭС	61
2	Ветровые электростанции	48
3	Электростанции на биомассе (включая совместное сжигание с углем)	39
4	Геотермальные электростанции	8,9
5	Фотоэлектрические установки	4
6	Солнечные тепловые электростанции	0,4
7	Приливные электростанции	0,3
Всего		161,6

Вовлечение ВИЭ в энергетический баланс каждой страны определяется конкуренцией вышеперечисленных достоинств и недостатков.

Гидроэнергетика

Гидравлическая энергия рек обусловлена проекцией силы тяжести на направление движения потока воды, которая определяется разностью уровней воды в начале и в конце рассматриваемого участка реки [1]. При разности уровней H (м) на длине участка l (м) и среднем расходе воды Q (м³/с), мощность водотока P (Вт) составит [1]:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 9810 \cdot Q \cdot H ,$$

где ρ – плотность воды (кг/м³), g – ускорение свободного падения (м/с²).

Крупные гидроэлектростанции

Энергия падающей воды, вращающей водяное колесо, с древних времен применялась на мельницах и лесопилках. С 1882 года она используется для производства электроэнергии на гидроэлектростанциях [4]. Сегодня гидроэнергетика – наиболее успешно развивающаяся отрасль. Установленная мощность всех действующих ГЭС в мире составляет 670 ГВт, вырабатываемая электроэнергия – около 2700 млрд. кВт·ч. В России эти показатели составляют соответственно 46 млн. кВт и 160 млрд. кВт·ч [4]. Принятая классификация гидроэлектростанций по мощности позволяет выделить следующие категории: микроГЭС – стан-

ции мощностью до 100 кВт, миниГЭС – от 100 до 1000 кВт, малые ГЭС – от 1000 до 10000 кВт, крупные ГЭС – свыше 10000 кВт.

Крупные ГЭС – это сложное техническое устройство, состоящее из большого числа единиц технологического оборудования: плотины, гидравлических турбин, электрических генераторов, водосбросных, судоходных, рыбопропускных сооружений и т.д. [5]. В табл. 2 представлены мощности крупных гидроэлектростанций.

Табл. 2. Гидроэлектростанции России мощностью свыше 1000 МВт

Название	Установленная мощность, МВт
Саяно-Шушенская ГЭС	6400
Красноярская ГЭС	6000
Братская ГЭС	4500
Усть-Илимская ГЭС	3840
Волгоградская ГЭС	2541
ВОГЭС им. Ленина	2300
Чебоксарская ГЭС	1370
Саратовская ГЭС	1360
Зейская ГЭС	1330
Нижнекамская ГЭС	1205
Загорская ГАЭС	1200
Воткинская ГЭС	1020
Чиркейская ГЭС	1000

http://www.raexpert.ru/researches/energy/electric/part_2_3/

Красноярская ГЭС (рис. 2) построена на реке Енисей в сорока километрах от Красноярска, по установленной мощности входит в десятку крупнейших гидроэлектростанций мира и занимает второе место в России. Красноярская гидроэлектростанция – основной производитель электроэнергии в Красноярском крае. В российском производстве доля электроэнергии Красноярской ГЭС составляет 2,3%.



Рис. 2. Красноярская гидроэлектростанция на реке Енисей

Братская ГЭС (им. 50-летия Великого Октября) – гидроэлектростанция на реке Ангара в Иркутской области, в городе Братск. Одна из крупнейших и наиболее известных ГЭС России (рис. 3). На сегодняшний день Братская гидроэлектростанция остается лидером по общему выпуску электроэнергии с начала пуска первого агрегата. Доля ее выработки в Иркутской энергосистеме составляет более 40%, а в некоторые годы доходила до 55 %.

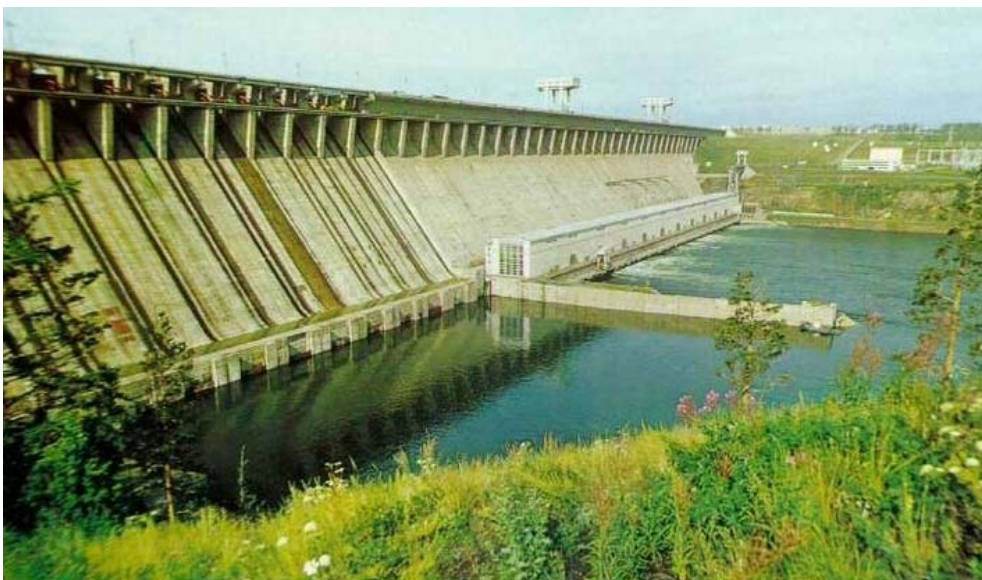


Рис. 3. Братская гидроэлектростанция на реке Ангара

Принцип работы крупных ГЭС заключается в следующем: цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию. Необходимый напор воды образуется посредством плотины и, как следствие, концентрации вод реки в определенном месте.

Для выработки электроэнергии ГЭС используется возобновляемый энергоноситель (течение реки), что позволяет практически исключить в составе затрат на производство энергии затраты на топливо. Кроме того, технологический процесс производства энергии высоко автоматизирован, поэтому эксплуатационного персонала на ГЭС меньше, чем на тепловой или атомной станции такой же мощности [5].

Срок службы ГЭС достигает нескольких десятков лет, существуют гидроэлектростанции, находящиеся в эксплуатации практически 80 лет (Нижнетуломская ГЭС Кольского полуострова, Гизельдонская ГЭС в Северной Осетии, Кондопожская ГЭС в Карелии и др.).

Представленные выше особенности ГЭС определяют сравнительно низкую себестоимость выработки электроэнергии, которая обычно в 6-8 раз ниже, чем на ТЭС или АЭС [5].

Высокая стоимость строительства плотины и необходимость больших водных ресурсов вблизи населенных пунктов – основные причины того, что ГЭС не строят повсеместно. Другие, немаловажные проблемы, связанные со строительством ГЭС, – это экологические и социальные: воздействие на речную экосистему, большие площади затопленных ценных земель, значительное количество переселенного населения.

Микрогидроэлектростанции

Сегодня все чаще обращают внимание на эффективное направление развития возобновляемой энергетики – использование энергии небольших рек с помощью микро- и малых ГЭС, обладающих достоинством традиционных крупных гидроэлектростанций (использование потенциала водотока) и лишенных недостатков их недостатков (минимальное негативное воздействие на микрофлору и фауну русла реки и вне русла реки, значительно ниже сроки строительства и капитальные затраты и др.). Главное преимущество микроГЭС – отсутствие необходимости сооружения плотин. Как правило, используется русловая или деривационная схема электростанции (рис. 4).

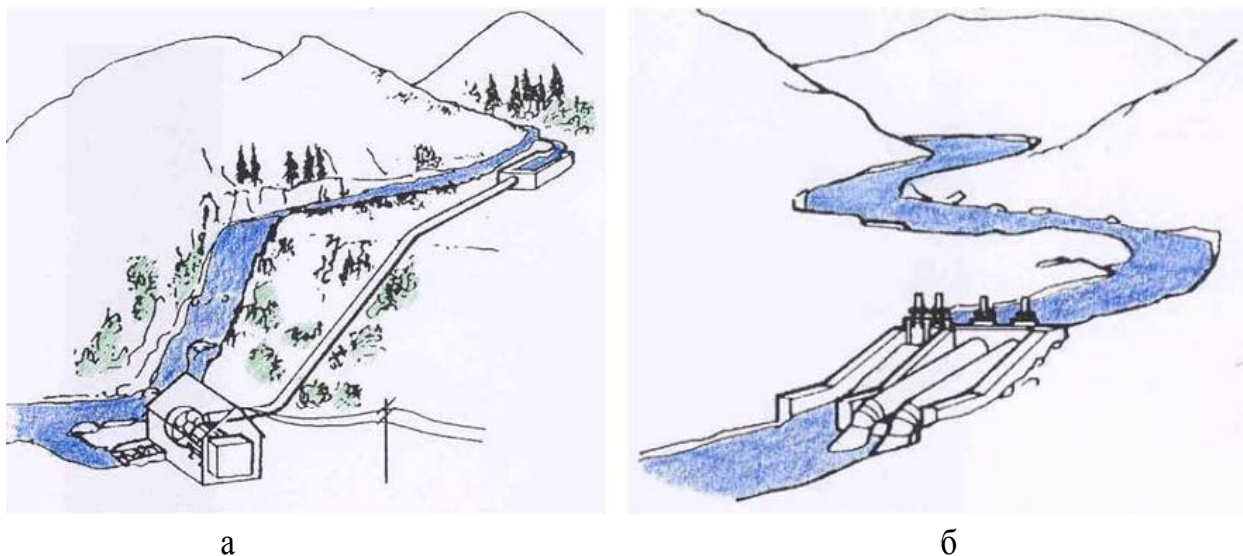


Рис. 4. Схемы микрогидроэлектростанций: а – деривационная, б – русловая

Принцип действия микроГЭС (рис. 5) заключается в следующем: часть воды из реки через водозаборное устройство и напорный трубопровод поступает в направляющий аппарат, далее поток воды поступает на лопастную систему рабочего колеса и создает на роторе энергоблока крутящий момент, приводящий во вращение генератор, после использования вода вновь сбрасывается в реку.

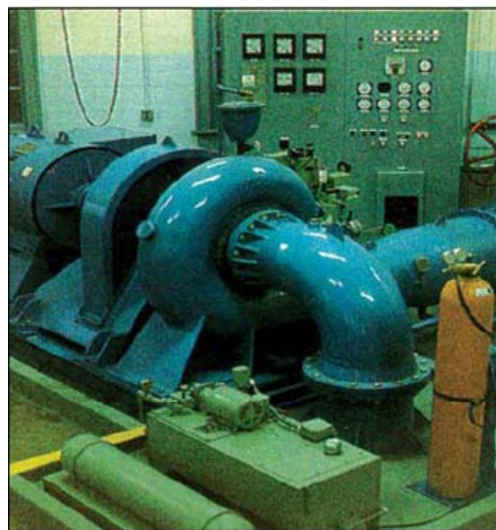
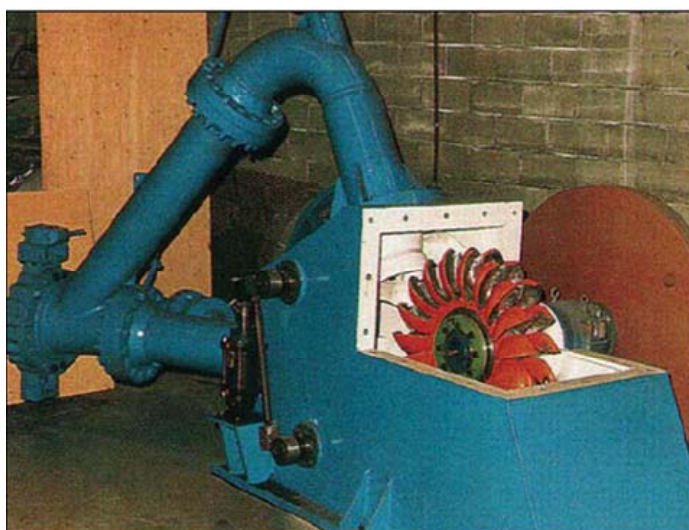


Рис. 5. Микрогидроэлектростанция

Основными компонентами микроГЭС являются гидротурбина и генератор. Гидротурбины могут быть различного типа: осевые, диагональные, ковшо-

вые, поперечно-струйные и т.д. По принципу действия все гидротурбины подразделяются на два основных типа: активные и реактивные. Активные (свободноструйные) турбины используют преимущественно кинетическую энергию струи (например, водяные мельницы), свободно вытекающей из сопла, а реактивные (напорноструйные) используют в основном потенциальную часть энергии потока [5].

Коэффициент полезного действия гидротурбины может достигать значения 90%. Преимущественное распространение в микроГЭС получили турбины Пелтона, Фрэнсиса (рис. 6), Каплана и Банки, каждая из которых имеет свою область применения.



<http://www.retscreen.net>

а

б

Рис. 6. Гидротурбины: а – Пелтона, б – Фрэнсиса

В качестве электрических генераторов микроГЭС чаще всего применяются генераторы переменного тока синхронного или асинхронного типов. Основное его назначение – генерирование электрической энергии, также генератор должен выполнять определенные функции по стабилизации или регулированию параметров, характеризующих её качество. Поэтому одним из требований, предъявляемых к генератору автономной электроустановки, является управляемость. Конструктивное выполнение генератора должно обеспечить возможность его эксплуатации на открытом воздухе с высокой степенью надежности в течение длительного времени [1].

Кроме гидротурбины и электрического генератора микрогидроэлектростанция содержит в своем составе такие элементы как: мультипликатор для согласования скорости вращения турбины с генератором (если необходимо), система стабилизации выходного напряжения, запорная арматура, гидравлическая

система контроля турбины, электрическая коммутационная аппаратура и ряд других компонентов.

Как было уже сказано выше, микроГЭС не требуют возведения плотин. Их турбины устанавливаются либо в свободном потоке, либо в специальном напорном трубопроводе [1]. Для работы в свободном потоке воды применяют, в основном, гидротурбины активного типа. Достоинством подобных турбин является максимальная простота и относительная жесткость механических характеристик. К недостаткам, ограничивающим их применение в гидроэнергетике, следует отнести низкую частоту вращения и невысокий коэффициент полезного действия [1].

В напорном трубопроводе используют гидротурбины реактивного типа (гидротурбины Каплана, Фрэнсиса). Мощность, развиваемая гидротурбиной (Вт), определяется из выражения [1]:

$$P_T = \gamma \cdot \frac{Q \cdot H}{\Omega} \cdot \eta_T,$$

где γ – вес единицы объема воды, Q – расход воды, H – рабочий напор, Ω – угловая частота вращения, η_T – полный КПД турбины.

Диаметр напорного трубопровода и перепад высот между его верхней и нижней точками определяют расчетную мощность станции. Целесообразность применения микроГЭС с трубопроводом определяется рельефом местности (горные районы, места с большими уклонами русла реки).

МикроГЭС применяются в качестве автономной системы электроснабжения, поэтому одна из главных задач – обеспечение потребителя электроэнергией со стабильными электрическими параметрами) при широком диапазоне изменения нагрузки. Поэтому любая микрогидроэлектростанция содержит в своем составе систему стабилизации, обеспечивающую статически устойчивый режим работы гидроэлектроагрегата и стабилизацию его выходного напряжения [5].

Соизмеримость мощностей приводного двигателя и нагрузки приводит к тому, что изменение электрической мощности на выходе генератора вызывает соответствующее изменение момента сопротивления на валу гидротурбины и ее частота вращения может отклоняться от номинальной в довольно широких пределах [5].

На рис. 7 приведены экспериментальные механическая и мощностная характеристики нерегулируемой пропеллерной гидротурбины типа К-245, номинальной мощностью 25 кВт, диаметром 289 мм при напоре $H = 9$ м для двух положений открытия направляющего аппарата (а).

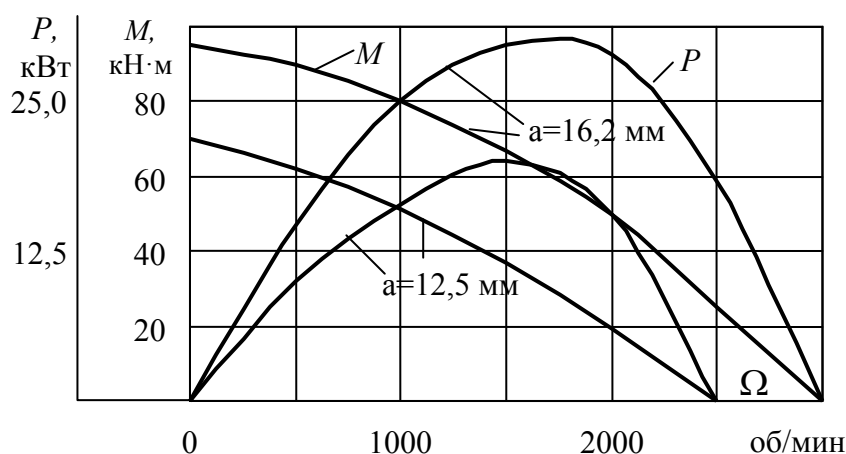


Рис. 7. Характеристики гидротурбины типа К-245
D=289 мм, Н=9 м

При номинальной величине нагрузки микроГЭС в 25 кВт частота вращения гидротурбины составляет 1000 об/мин. При уменьшении величины нагрузки в два раза от номинальной устойчивый режим работы электростанции будет обеспечен при частоте вращения примерно 1300 об/мин. При этом пропорционально изменится и частота выходного напряжения, вырабатываемого электрическим генератором, а также его величина [5]. Мощность, развиваемая гидротурбиной, равна нулю в двух случаях [1]:

- 1) при $\Omega = 0$, когда происходит протекание воды, но вращения нет, следовательно, работа не совершается;
- 2) при $\Omega = \Omega_y$ (угонная частота (Ω_y) – максимальная частота вращения, достигаемая при отсутствии нагрузки и при номинальном напряжении, Ω_y гидротурбины пропеллерного типа достигает 2 – 2,5 номинальной частоты), когда под действием напора воды турбина развивает максимальные обороты.

Уравнение системы «гидротурбина - генератор» имеет вид [1]:

$$M_m = M_r + J \frac{d\Omega}{dt},$$

где M_m – механический момент, развиваемый гидротурбиной, M_r – момент сопротивления.

Основные варианты построения стабилизирующих систем микроГЭС подразделяется на системы с постоянной и переменной частотой вращения приводного двигателя (более подробно методы построения систем стабилизации рассмотрены у авторов [1], [5]). Распространение получили системы с постоян-

ной частотой вращения, организованные с помощью механического или электрического регулирования [5].

Одним из наиболее перспективных вариантов построения стабилизирующих систем микроГЭС являются системы регулирования величины электрической нагрузки станции [5].

Данный способ определяется зависимостью частоты вращения турбины от развиваемой мощности турбины, которая в автономных системах электроснабжения потребляется электрической нагрузкой. Следовательно, выбирая соответствующую нагрузку источника электропитания, можно стабилизировать частоту вращения системы «генератор - приводная турбина». Изменять величину нагрузки автономного источника электропитания возможно включением на выход генератора регулируемой балластной нагрузки [1].

Система стабилизации параметров с автобалластной нагрузкой изображена на рис. 8. Принцип автобалластного регулирования заключается в следующем: параллельно полезной нагрузке (H) станции через регулятор ($РБН$) подключается такая же по величине дополнительная или балластная нагрузка ($БН$). При изменении величины полезной нагрузки, величина балластной изменяется при помощи регулятора так, чтобы суммарная нагрузка электрического генератора ($Г$) оставалась неизменной. В качестве балластной нагрузки чаще всего используют теплонагревательные элементы. Таким образом, тепловая энергия, выделяемая на балластных сопротивлениях, может быть применена с пользой.

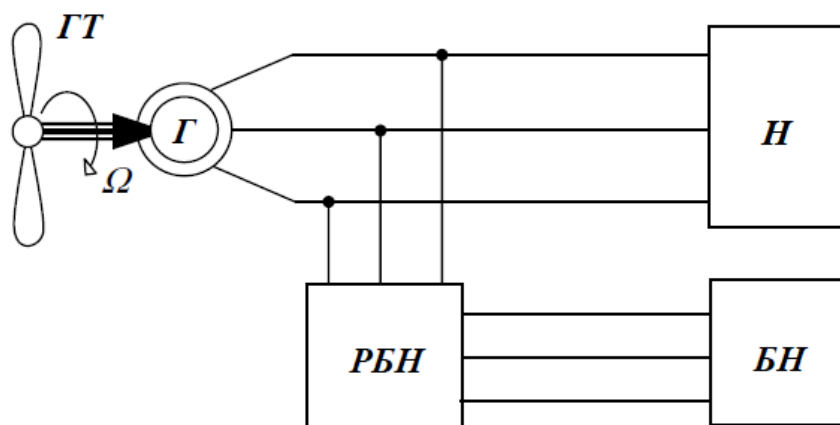


Рис. 8. Структурная схема стабилизации параметров микроГЭС:

$ГТ$ – гидротурбина, $Г$ – генератор, $Н$ – полезная нагрузка,
 $БН$ – балластная нагрузка, $РБН$ – регулятор балластной нагрузки

Одними из главных достоинств данного способа стабилизации является простота конструкции гидротехнических устройств. Высокое качество выходно-

го напряжения микроГЭС в статических и динамических режимах определяется высоким быстродействием системы.

Энергоустановки, рабочие режимы которых регулируются с помощью управления мощностью их электрических нагрузок, могут быть разделены на две группы. К первой группе относятся системы стабилизации частоты вращения гидроагрегата за счет создания тормозного момента на валу дополнительной электрической машины. Стабилизация другого параметра микроГЭС – величины выходного напряжения осуществляется методами регулирования напряжения генераторов. В качестве дополнительной электрической машины, создающей управляющее механическое воздействие на гидротурбину, могут применяться различные типы машин (например, синхронный генератор на одном валу с гидроагрегатом). Очевидный недостаток – ухудшение массогабаритных показателей источника электропитания. Кроме того, для стабилизации напряжения на полезной нагрузке необходим дополнительный регулятор напряжения основного генератора. Отмеченные недостатки ограничивают применение в микрогидроэлектростанциях ограничивают применение в микроГЭС автобалластных систем, предназначенных только для регулирования тормозного момента гидроагрегата. Гораздо эффективнее управлять электрической мощностью генератора микроГЭС, регулируя его нагрузку.

Существует несколько основных вариантов построения регулятора электрической нагрузки станции [5]. Простейший из них предусматривает наличие ряда дискретных балластных нагрузок, которые могут подключаться или отключаться в определенных сочетаниях с помощью тиристорного коммутатора (схема с дискретным балластом).

Недостатком данного способа регулирования является необходимость использования большого числа управляемых вентилях. Кроме того, точность стабилизации зависит от числа дозированных ступеней балластной нагрузки.

Устранить эти недостатки, при определенном ухудшении качества вырабатываемой электроэнергии, позволяет использование в регуляторах автобалласта схем с фазовым регулированием. Такие регуляторы требуют значительно меньшего количества тиристоров для построения силовых схем и в наибольшей степени удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к микроГЭС – простота и надежность [1].

Основным недостатком регуляторов автобалласта с фазовым регулированием по сравнению с тиристорными коммутаторами является искажение формы кривых фазных токов и напряжений генератора микроГЭС.

К параметрам автономной энергоустановки, по которым целесообразно осуществлять регулирование рабочих режимов гидроагрегата, относятся, прежде всего, ток нагрузки и его составляющие, частота выходного напряжения и его величина.

Для стабилизации частоты переменного тока микроГЭС необходимо так изменять мощность результирующей нагрузки энергоустановки, чтобы частота вращения системы «генератор - гидротурбина» оставалась неизменной при ко-

лебаниях полезной нагрузки и энергии рабочего потока воды. Регулировать величину балластной нагрузки в этом случае целесообразно по отклонению частоты переменного тока источника электропитания от номинального значения.

Система стабилизации выходного напряжения и частоты микрогидроэлектростанции представляет собой двухканальную систему автоматического регулирования, обладающую адаптивными свойствами.

Работа автоматических систем стабилизации напряжения станции должна, прежде всего, обеспечивать устойчивость рабочего режима энергоустановки.

Для установок с напорным трубопроводом характерно постоянство напора и расхода воды гидротурбины, поэтому для стабилизации рабочего режима микроГЭС достаточно стабилизировать мощность, потребляемую результирующей нагрузкой.

Регулирование балласта в этом случае лучше осуществлять по мощности результирующей нагрузки, по активной составляющей тока генератора, а также по полному току, если характер нагрузки источника изменяется в небольших пределах.

Регулирование по нагрузке микроГЭС позволяет достаточно просто компенсировать несимметрию нагрузки генератора.

Постоянство результирующей нагрузки и частоты вращения генератора автономного источника электропитания определяет стабильность его выходного напряжения, что позволяет исключить из состава системы стабилизации канал регулирования напряжения.

Системы регулирования балластной нагрузки по нагрузочному току обеспечивают высокое качество стабилизации напряжения в переходных режимах, вызванных коммутацией в цепи нагрузки.

Хороших результатов стабилизации позволяют добиться комбинированные системы, использующие несколько параметров регулирования. Например, двухканальная система, в которой объединены токовый и частотный способ регулирования мощности, рассеиваемой на балластных нагрузках. Достоинствами данного варианта микроГЭС являются нечувствительность к нестабильным параметрам энергоносителя, несимметрии фаз нагрузки, тяжелым пусковым режимам. Однако, схема стабилизации параметров выходного напряжения установки усложняется.

Основные усилия разработчиков микроГЭС направлены на совершенствование систем стабилизации выходного напряжения энергоустановки, что позволяет использовать максимально простое и дешевое гидротехническое оборудование.

Для микроГЭС, работающих в свободном потоке воды, необходимы системы стабилизации, контролирующие как минимум два параметра выходного напряжения: его величину и частоту.*

*Информация о системах стабилизации параметров микроГЭС взята из курса лекций по дисциплине «Микрогидроэлектростанции» к магистерской программе «Возобновляемые источники энергии», автор С. Г. Обухов.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Проанализируйте основные достоинства и недостатки возобновляемых источников электроэнергии.
2. Назовите факторы, определяющие конкурентоспособность возобновляемой энергетики с традиционными электростанциями.
3. Опишите природу возникновения гидроэнергии и особенности ее использования.
4. Какие факторы являются определяющими для использования гидроэнергии в целях производства электроэнергии?
5. Приведите классификацию гидроэлектростанций по мощности.
6. Проанализируйте основные особенности, достоинства и недостатки крупных гидроэлектростанций.
7. Проведите сравнительную оценку типов гидротурбин, область их применения, технических характеристик.
8. Какое основное отличие между гидротурбинами активного и реактивного типа?
9. Какие параметры микроГЭС определяют ее мощность?
10. Какие типы электромашинных генераторов применяются в микроГЭС?
11. С учетом каких факторов выбирается месторасположение микроГЭС на местности?
12. В чем состоит принцип автобалластного регулирования параметров электростанции?
13. По каким параметрам микроГЭС чаще всего осуществляется регулирование балластной нагрузки?



ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В состав лабораторного стенда входят:

- имитатор первичного природного источника (гидроэнергии) ;
- имитатор нагрузок, потребляемых электроэнергию источника ВИЭ (полезная и балластная нагрузка);
- SCADA - система для обеспечения функций измерения и управления экспериментом.

Технические данные рабочих элементов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Технические данные основных элементов лабораторной установки

Название	Технические характеристики	Фото
Инвертор HITACHI SJ200 015HFEF	<p>Назначение: управление асинхронным двигателем</p> <ul style="list-style-type: none"> - номинальная мощность – 1,5 кВт; - номинальный входной ток – 5 А; - номинальный выходной ток – 3,8 А; - номинальное выходное напряжение – 3 фазы, 380 В; 	
Асинхронный двигатель АИРМ80А4У3	<p>Назначение: имитация гидротурбины микроГЭС</p> <ul style="list-style-type: none"> - номинальная мощность – 1,1 кВт; - номинальный ток – 2,7 А (при соединении звездой); - частота вращения – 1390 об/мин; 	
Синхронный ге- нератор с постоянными магнитами	<ul style="list-style-type: none"> - номинальная мощность – 1,0 кВт; - частота вращения – 450 об/мин; - напряжение генератора при номинальной активной нагрузке и номинальной частоте вращения – 48 - 56 В. 	

ВИЭ с позиции автоматизации и управления можно считать как полностью, так и частично автоматизируемые объекты, с сосредоточенными в пространстве блоками их структуры, имеющими один или два уровня управления и ограниченным набором необходимых действий оператора.

Структурная схема лабораторной установки приведена на рис. 9.

Лабораторное Автоматизированное Рабочее Место (ЛАРМ) предназначено для сканирования и управления физической моделью микрогидроэлектростанции. Персональный компьютер (ПК) в данной системе моделирования является пультом управления SCADA-системой. С созданных панелей управления

на экране монитора в систему отправляются необходимые сигналы воздействия, а принятые от системы данные записываются в базу данных, обрабатываются и индицируются на панели.

Генераторная часть модели гидроэлектростанции состоит из асинхронного двигателя (АД) и механически связанного с ним генератора (СГ).

Инвертор (И) предназначен для питания двигателя. Встроенный контроллер инвертора обеспечивает заданную скорость вращения двигателя за счет изменения частоты и выходного напряжения. Управление контроллером осуществляется с панели управления на мониторе компьютера.

В качестве электрической нагрузки генератора в лабораторной установке используются блоки нагрузок (Н – полезная нагрузка, БН – балластная нагрузка), состоящие из активных сопротивлений (равные ступени от 0 до 8) и реактивных сопротивлений (равные ступени от 0 до 4), управляемые блоками коммутаций (БК). БК состоят из ключей, коммутирующих нагрузки: для подключения ступеней активной нагрузки используется 8 ключей, для подключения ступеней реактивной – 4 ключа.

Реактивная нагрузка используется для создания фазового сдвига между током и напряжением. Реактивные элементы включаются последовательно с секциями активных нагрузок.

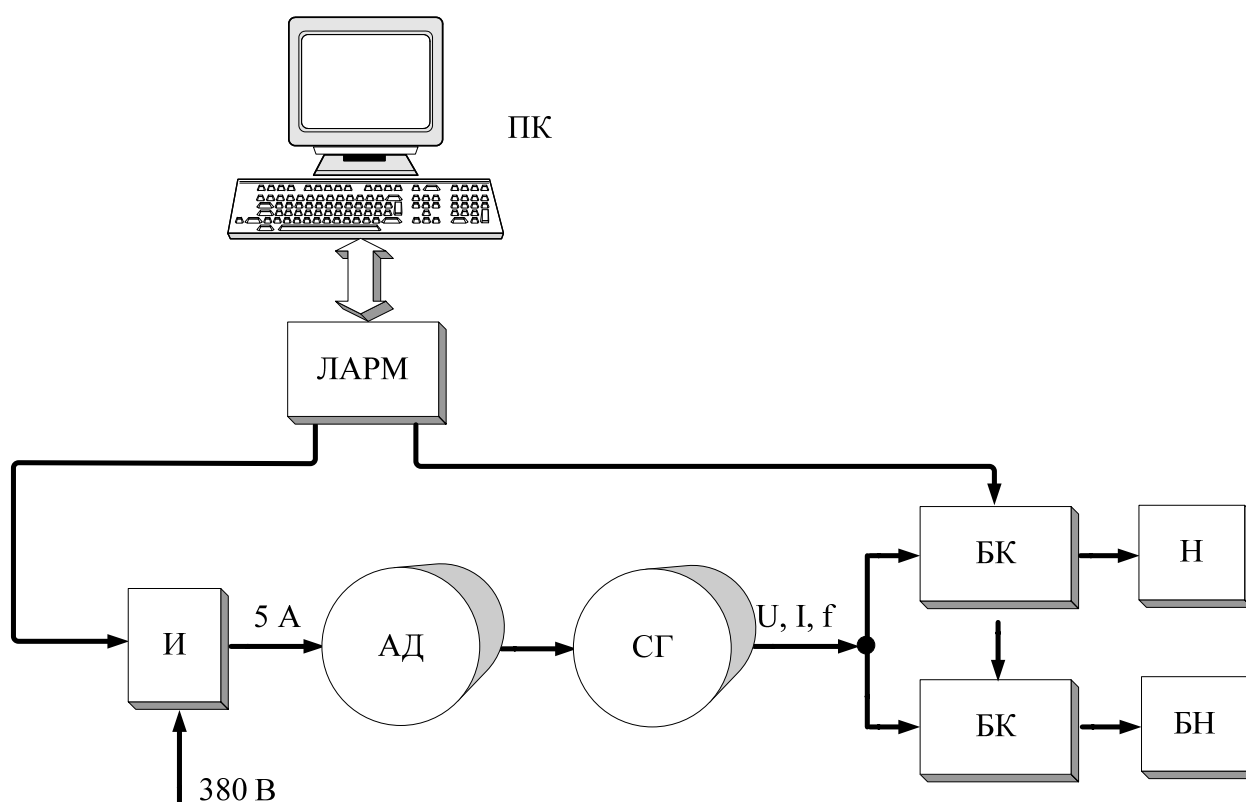


Рис.9. Структурная схема лабораторного стенда микрогидроэлектростанции

Применение ЛАРМ в лабораторной установке позволяет автоматизировать управление физической моделью микрогидроэлектростанции. Под автоматизацией управления в данном случае понимается обеспечение управления (скоростью вращения системы двигатель - генератор, коммутацией блоков нагрузки) и сбора данных с установки при помощи компьютера. На мониторе компьютера отображается индикация состояния установки (рис. 10), мнемосхема микроГЭС (рис. 11), а в базе данных (приложение Microsoft Office Access) происходит накопление трендов следующих параметров: напряжение, ток, фазовый сдвиг и частота (рис. 12). ЛАРМ через USB - интерфейс подключен к ПК и взаимодействует с программами, написанными в среде LabVIEW, реализующими интерфейс пользователя.

LabVIEW (с англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) – интегрированная графическая среда, разработанная для создания интерактивных программ сбора, обработки данных и управления периферийными устройствами.

LabVIEW имеет обширные библиотеки функций для решения различных задач: ввод/вывод, обработка, анализ и визуализация сигналов; контроль и управление технологическими объектами; статистический анализ и комплексные вычисления и др.

Данная графическая среда поддерживает огромный спектр оборудования различных производителей и имеет в своём составе (либо позволяет добавлять к базовому пакету) многочисленные библиотеки компонентов:

- подключения внешнего оборудования по наиболее распространённым интерфейсам и протоколам (RS-232, GPIB-488, TCP/IP и пр.);
- удалённого управления экспериментом;
- генерации и цифровой обработки сигналов;
- математических методов обработки данных;
- визуализации данных и результатов их обработки (включая 3D-модели);
- моделирования сложных систем;
- хранения информации в базах данных и генерации отчетов;
- взаимодействия с другими приложениями в рамках концепции COM/DCOM/OLE и пр.

Основными преимуществами использования данной графической оболочки являются:

- *относительная простота и доступность*: программы, разработанные в среде LabVIEW, представляют собой графическую схему-рисунок;
- *наглядность*: программная оболочка LabVIEW содержит простые универсальные средства визуализации данных, т.е. средства LabVIEW представляют собой хорошо оснащённую измерительными приборами лабораторию;

- *актуальность и перспективы:* в настоящее время большинство программ, связанных с лабораторными измерениями и экспериментами, создаются в среде LabVIEW, причем зачастую не программистами, а самими исследователями.

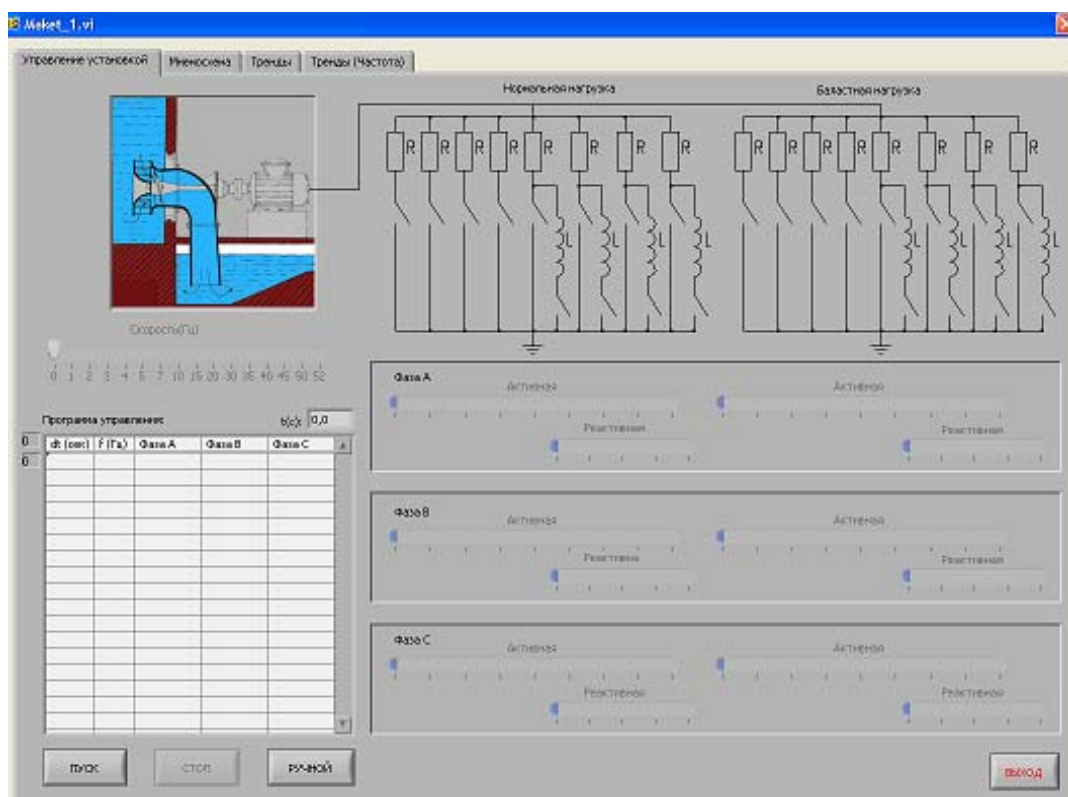


Рис.10. Индикация состояния установки микроГЭС

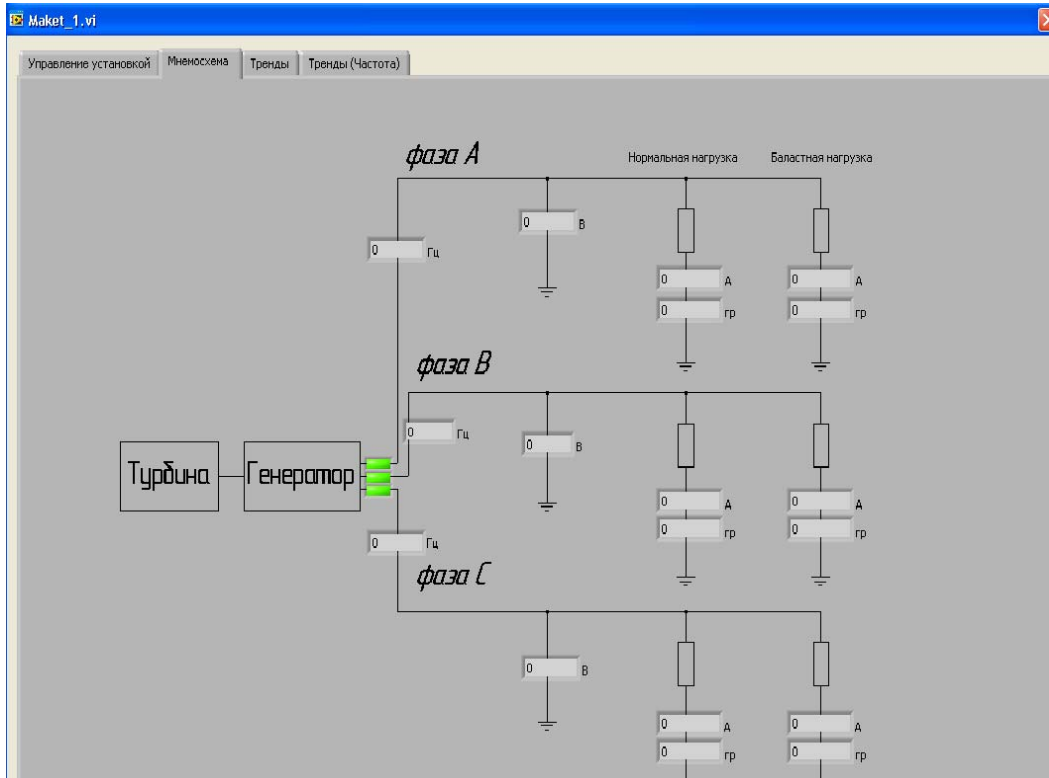


Рис.11. Мнемосхема физической модели микроГЭС

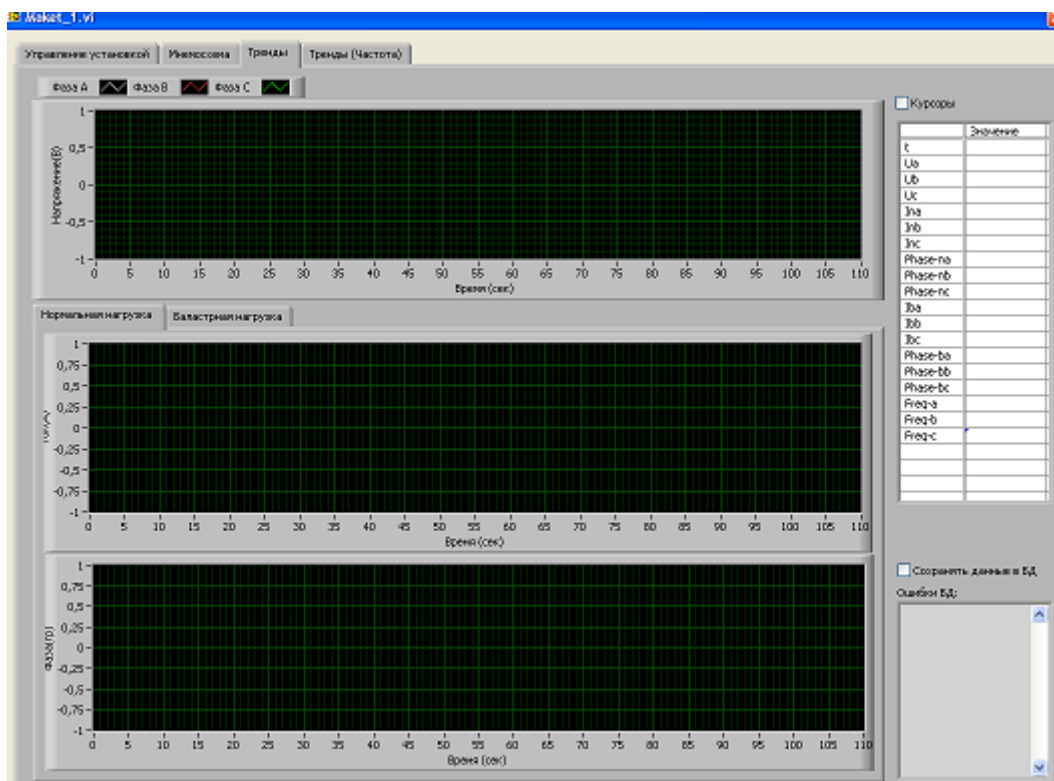


Рис.12. Тренды, отображающие изменения параметров модели: напряжение,

ВОПРОСЫ

1. Проанализируйте структурную схему лабораторного стенда.
 - 1.1. Какую функцию выполняют такие элементы модели, как: инвертор, асинхронный двигатель, синхронный генератор, блок коммутации, блок нагрузок?
 - 1.2. Для каких целей в схеме предусмотрено ЛАРМ?
 - 1.3. Как подключаются реактивные элементы в схеме?
 - 1.4. Что такое SCADA - система?

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, усвоившие теоретический материал по данной теме и ознакомившиеся с оборудованием лабораторной установки.

Работа проводится в следующем порядке: запуск лабораторной установки (действие преподавателя), открытие панели управления на рабочем столе компьютера («Ярлык Maket1»), проведение опытов, закрытие программы, отключение лабораторной установки (действие преподавателя).

Внимание! При включенной установке дверцы шкафа не открывать!

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Исследование параметров и характеристик составных частей микроГЭС возможно двумя способами: в «ручном» и «автоматическом» режимах.

В **режиме «ручной»** необходимо самостоятельно (вручную) курсором мыши изменять нагрузку генератора. При проведении опытов (кроме опыта исследования фазной несимметрии) подключение или отключение нагрузочных сопротивлений рекомендуется производить одинаково в каждой фазе для исключения возникновения перекоса напряжений.

Внимание! Ток в одной фазе не должен превышать значения 4,5 - 5 А, иначе сработает защита инвертора. При срабатывании защиты необходимо отключить защитный аппарат установки (действие преподавателя), закрыть панель управления на рабочем столе компьютера, вновь включить вводной автоматический выключатель, запустить лабораторную установку (действие преподавателя) и открыть панель управления.

Опыт 1. Исследование параметров и характеристик составных частей микроГЭС при работе на холостом ходу.

Задания: постройте зависимость частоты на выходе генератора от скорости инвертора, $f_T = f(f_{in})$, зависимости напряжения фаз от скорости вращения генератора, $U_a, U_b, U_c = f(f_T)$.

Для проведения опыта необходимо изменять скорость инвертора в диапазоне от 3 до 50 Гц без подключения нагрузки генератора. Экспериментальные данные (частота на выходе генератора f_T , напряжение в фазах U_a, U_b, U_c) необходимо занести в табл. П 1. 1 (Приложение 1). Частота вращения турбины f_T определяется как $f_T = \frac{f_G}{3}$.

Опыт 2. Исследование параметров и характеристик составных частей микроГЭС при чисто активной нагрузке без автобалластного регулирования.

Задания: постройте семейство мощностных характеристики гидротурбины при стабилизированном расходе водного потока (при постоянной скорости инвертора), $P = f(n_T)$, семейство мощностных характеристики гидротурбины при стабилизированной электрической нагрузке, $P = f(n_T)$.

Для проведения опыта необходимо изменять скорость инвертора в диапазоне от 10 до 50 Гц и нагрузку генератора. Экспериментальные (частота на выходе генератора f_T , токи I_a, I_b, I_c , напряжение U_a, U_b, U_c в фазах) и расчетные (мощность фаз P_a, P_b, P_c и суммарная мощность P) данные необходимо занести в табл. П 1. 2 (Приложение 1). Частота турбины f_T определяется как $f_T = \frac{f_G}{p} = \frac{f_G}{3}$, частота вращения турбины $n_T = f_T \cdot 60$.

Опыт 3. Исследование параметров и характеристик составных частей микроГЭС при активно-реактивной нагрузке без автобалластного регулирования.

Задания: постройте мощностные характеристики гидротурбины при стабилизированной нагрузке: зависимости реактивной и полной мощностей от частоты вращения гидротурбины, $Q, S = f(n_T)$; мощностные характеристики микроГЭС при стабилизации величины расхода водного потока: зависимости реактивной и полной мощностей от частоты вращения гидротурбины, $Q, S = f(n_T)$.

Для проведения опыта необходимо изменять скорость инвертора в диапазоне от 10 до 45 Гц и реактивную нагрузку генератора (выбранная ступень активной нагрузки остается постоянной на протяжении всего опыта). Экспериментальные (частота на выходе генератора f_T , напряжение U , ток I и угол сдвига в фазе φ) и расчетные (частота турбины f_T , активная P , реактивная Q и полная S мощности фазы) данные необходимо занести в табл. П 1. 3 (Приложение 1).

Частота турбины f_T определяется как $f_T = \frac{f_{\Gamma}}{p} = \frac{f_{\Gamma}}{3}$, частота вращения турбины $n_T = f_T \cdot 60$.

Опыт 4. Исследование параметров и характеристик составных частей микроГЭС при фазной несимметрии.

Задания: постройте зависимости токов в фазах от частоты турбины, $I_a, I_b, I_c = f(f_T)$, при различных соотношениях ступеней нагрузки.

Для проведения опыта необходимо повышать скорость инвертора в диапазоне от 10 до 50 Гц, а также несимметрично изменять активную и активно-реактивную нагрузки генератора в каждой фазе. Экспериментальные (частота на выходе генератора f_{Γ} , токи I_a, I_b, I_c , напряжение U_a, U_b, U_c и углы сдвига в фазах $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$) данные необходимо занести в табл. П 1. 4 (Приложение 1).

Одними из важнейших зависимостей являются выходные характеристики ($U_{\phi} = f(P_{\phi}, I_{\phi}), f_{\phi} = f(P_{\phi}, I_{\phi})$). Необходимо построить семейство выходных характеристик для одной фазы.

В режиме «автоматический» изменение нагрузки генератора происходит автоматически. Для этого используется поле «Программа управления». В таблице в левом столбце необходимо указать интервалы времени между сменой ступеней активной и реактивной нагрузки (не менее 5 сек.). В следующем столбце задается частота вращения турбины, в столбцах «Фаза» указывается количество подключаемых ступеней нагрузки (например, 2R4L). Для сохранения данных в базе необходимо во вкладке «Тренды» поставить «флажок» напротив «Сохранять данные в БД». Далее нажать кнопку «Пуск».

Для данного режима необходимо построить зависимости тока и напряжения фаз во времени. В качестве примера на рис. 13 приведены зависимости фазных напряжений во времени. По данным кривым необходимо определить время переходного процесса.

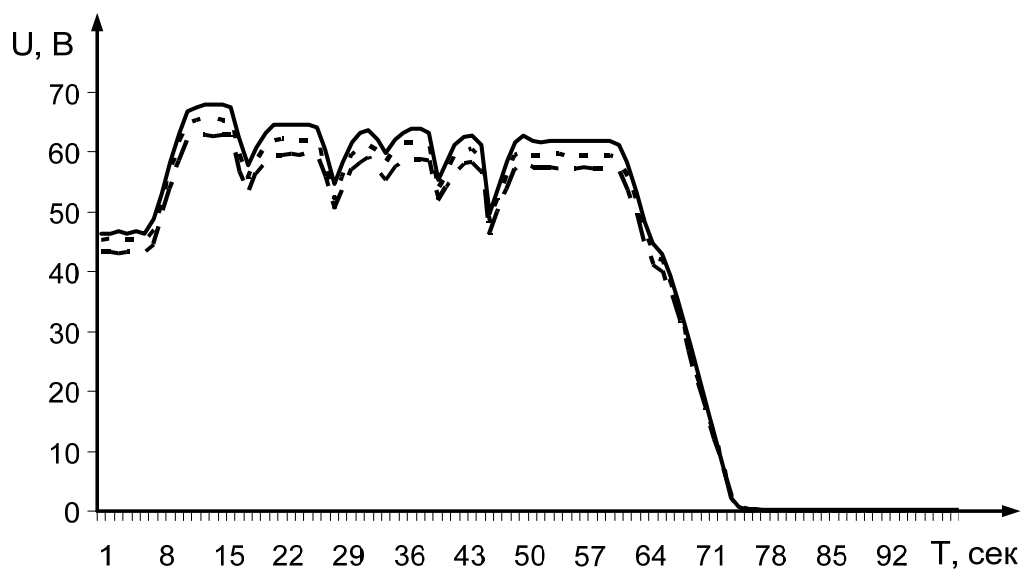


Рис.13. Зависимость фазных напряжений во времени:

— фаза А — — — фаза В ····· фаза С

УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать описание цели лабораторной работы, технические характеристики используемых элементов и приборов, результаты проведенных экспериментов, оформленные в виде таблиц, графиков, а также необходимые схемы и расчеты. В отчете должны быть приведены выводы по всем пунктам проведенных экспериментов. Отчет оформляется на листах формата А4 в текстовом редакторе.

Титульный лист отчета по лабораторной работе смотрите в Приложении 2

Требования к структуре отчета и правила его оформления представлены в документе Занятия лабораторные. Общие требования к организации и проведению СТО ТПУ 2.3.05-2006 (<http://standard.tpu.ru/docs/standorg/stp42e.mht>).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Структурная схема физической модели микроГЭС.
3. Таблицы с экспериментальными и расчетными данными.
4. Графические зависимости.
5. Выводы по работе. На основании полученных данных проанализировать работу микрогидроэлектростанции.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назначение и основные варианты построения стабилизирующих систем микроГЭС.
2. Приведите примеры схемных решений автобалластных систем стабилизации.
3. По какому принципу строятся автобалластные системы с дискретным регулированием мощности балластной нагрузки?
4. Назовите конкурентные преимущества микрогидроэлектростанций по сравнению с другими типами электростанций.
5. Оцените возможность использования возобновляемых источников энергии в Томской области.
 - 5.1. Какой источник наиболее перспективен для Томской области?

ЛИТЕРАТУРА

1. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
2. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике / В. Ю. Синюгин, В. И. Магрук, В. Г. Родинов. – М.: ЭНАС, 2008. – 352 с.
3. Энергетика России: проблемы и перспективы: тр. Науч. Сессии РАН: Общ. собрание 19-21 декабря 2005 г. / под ред. В. Е. Фортова, Ю. Г. Леонова; РАН. – М.: Наука, 2006. – 499 с.
4. В. Г. Лабейш. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2003. – 79 с.
5. Лукутин Б. В., Обухов С. Г., Шандарова Е. Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. – Томск: STT, 2001. – 120 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С АВТОБАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКОЙ.....	3
ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ	19
ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ	20
ВОПРОСЫ	25
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	25
ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.....	25
УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА	28
СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	28
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ	29
ЛИТЕРАТУРА.....	29

ОГЛАВЛЕНИЕ.....	29
-----------------	----

Учебное издание

ЛУКУТИН Борис Владимирович, МУРАВЛЕВ Игорь Олегович,
МУРАВЛЕВ Алексей Игоревич, ОБУХОВ Сергей Геннадьевич
ШУТОВ Евгений Алексеевич, ЮДИНА Кира Владимировна

Возобновляемые источники энергии

Часть I

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу
«Микрогидроэлектростанции» для студентов V курса, обучающихся
по направлению 140200 «Электроэнергетика», специальности
140200.12 «Возобновляемые источники энергии»

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинала-макета**

Подписано к печати 17.06.2010. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 1,8. Уч.-изд.л. 1,63.


Заказ . Тираж 40экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru