

На правах рукописи

ПОТЕШИН Михаил Игоревич

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
МИКРО ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ШЛЮЗАХ
МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ**

Специальность: 05.20.02 – «Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Краснодар - 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ)

Научный руководитель: **Богатырев Николай Иванович**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Амерханов Роберт Александрович**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»
профессор кафедры «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии»

Юндин Михаил Анатольевич
кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия»
профессор кафедры «Теоретические основы электротехники и электроснабжение сельского хозяйства»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Управление «Кубаньмелиоводхоз» (г. Краснодар)

Защита состоится «25» декабря 2013 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, КубГАУ, ауд. 4 учебного корпуса факультета энергетики и электрификации.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «23» ноября 2013 г. и размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве образования и науки России <http://vak2.ed.gov.ru/> и на сайте Кубанского ГАУ <http://kubsau.ru/>

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук

В. С. Курасов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В соответствии с концепцией социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, в области энергетики стоит задача преодоления энергетических барьеров роста, в том числе за счет повышения энергоэффективности и расширения использования альтернативных видов энергии.

Для повышения конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции на внутреннем и внешнем рынках, необходимо внедрять, в том числе энергосберегающие технологии и возобновляемые источники энергии. Наряду с этим существует необходимость поиска и оценки объемов энергетического потенциала и возможность применения таких источников энергии.

С другой стороны, существуют способы воспроизводства и повышения эффективности использования в сельском хозяйстве земельных ресурсов, один из них – мелиорация земель, осуществляющаяся посредством рационализации водопользования мелиоративной системой.

Мелиоративная система представляет собой комплекс взаимосвязанных гидротехнических и других сооружений и устройств (каналы, коллекторы, трубопроводы, водохранилища, плотины, дамбы, насосные станции, водозаборы и др.), обеспечивающий создание оптимальных водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв на мелиорируемых землях. Движение воды в каналах в течение года имеет неравномерный характер, связанный с сезонной неравномерностью стока малых рек, а также с сезонностью работы предприятий АПК, связанных с производством риса.

Также существует определенная специфика сельскохозяйственного производства, связанная с территориальной распределенностью производственных цехов предприятий. Как следствие – удаленность таких цехов от центров питания централизованной системы электроснабжения.

Работа мелиоративной системы связана с перемещениями большой массы воды. С учетом расположения предприятий АПК вблизи гидротехнических сооружений мелиоративной системы, нехваткой мощности в периоды пиковых

нагрузок, можно предположить, что экономически целесообразно использование гидросистемы как ресурса возобновляемой энергии, т. е. рассмотреть возможности установки микро ГЭС на объектах мелиоративной системы.

Однако сезонная неравномерность работы мелиоративной системы, а также неравномерность нагрузки и потребления электроэнергии требуют научного анализа при оценке энергетического потенциала и согласования режимов выработки и потребления электроэнергии.

Работа выполнена в рамках плана НИР Кубанского ГАУ по госбюджетной тематике 2006 – 2010 гг. (ГР 01.2006.06851), 2011 – 2015 гг. (ГР 01.2011.53641).

Научная гипотеза – произвести оценку количества электроэнергии, получаемой от шлюза мелиоративной системы для электроснабжения сельскохозяйственного потребителя, можно, если теоретически обосновать рациональные режимы работы электрооборудования микро гидроэлектростанции.

Цель работы – снижение энергопотребления от централизованных систем энергоснабжения сельскохозяйственными потребителями путем рационального использования энергии водных потоков в шлюзах мелиоративных систем и обоснование рациональных режимов работы электрооборудования микро гидроэлектростанции.

Задачи исследования:

1. На основе статистических данных об уровнях воды в точках учета уровней мелиоративной системы установить критерии для выбора объекта, подходящего для внедрения средств малой гидроэнергетики и определить возможный энергетический потенциал.

2. Определить объем и период потребности в дополнительной электрической энергии, полученной на основе данных годовых графиков нагрузки подключаемых потребителей.

3. На основе корреляционного анализа обосновать периоды подключения потребителей электроэнергии к микро ГЭС.

4. Разработать методику обоснования применения средств малой гидроэнергетики в условиях мелиоративной системы Краснодарского края.

5. Провести на основе пакета MATLAB имитационное моделирование режимов работы системы, составной частью которой является микро ГЭС.

6. Разработать схему и изготовить экспериментальный образец стабилизатора напряжения асинхронного генератора. Провести экспериментальные исследования опытного образца.

7. Рассчитать экономическую эффективность внедрения микро ГЭС на сбросном гидротехническом сооружении для электроснабжения сельскохозяйственного предприятия.

Объект исследования – графики потока воды в шлюзах мелиоративной системы, графики нагрузки потребителей, электрооборудование микро ГЭС, стабилизатор выходного напряжения асинхронного генератора.

Предмет исследования – показатели графиков нагрузки, показатели качества электроэнергии, характеристики гидротехнических сооружений, компьютерные модели микро ГЭС, режимы работы электрооборудования.

Методики исследования – теория движения воды в каналах и естественных руслах, статистические методы оценки данных, компьютерное моделирование в программных комплексах MathCAD, MATLAB. Экспериментальная часть выполнена на кафедре электрических машин и электропривода Кубанского ГАУ.

Научная новизна работы:

– обоснованы объемы выработки электроэнергии и периоды подключения потребителей электроэнергии к микро ГЭС, установленной на шлюзе мелиоративной системы, с использованием метода корреляционного анализа на основе статистических данных о режимах работы объекта мелиоративной системы и потребителя электроэнергии;

– обоснованы критерии выбора потребителя, подключаемого к микро ГЭС мелиоративной системы, что позволяет сократить объем выборки потенциальных потребителей для дальнейшего анализа;

– разработана методика оценки энергетического потенциала объектов малой энергетики, позволяющая экономически и технически обосновать установку

микро ГЭС и ее рациональных режимов работы для электроснабжения конкретного потребителя.

Практическая ценность результатов исследований:

– принципиальные схемы бесконтактных стабилизаторов напряжения (патент РФ № 2373630), которые позволят повысить надежность работы асинхронного генератора и качество напряжения в реальных условиях эксплуатации;

– на основе полученной методики оценки энергетического потенциала шлюзов установлены периоды подключения и объемы электроэнергии, вырабатываемой на мелиоративной системе Краснодарского края, что позволит производить планирование режима работы микро ГЭС и режима потребления электроэнергии предприятий АПК;

– изготовлен опытный образец блока управления стабилизатора выходного напряжения асинхронного генератора, прошедший испытания и показавший высокую надежность работы;

– разработана компьютерная модель системы «Микро ГЭС – Потребитель», которая дает наглядное представление о работе системы и возможность изучения ее работы в динамике.

На защиту выносятся следующие положения:

– оценка энергетического потенциала гидротехнического сооружения;

– рациональные режимы работы электрооборудования микро ГЭС, установленной на шлюзе мелиоративной системы;

– методика оценки энергетического потенциала объектов малой гидроэнергетики и обоснования установки микро ГЭС для электроснабжения конкретного потребителя;

– компьютерная модель системы «микро ГЭС – потребитель», созданная в среде MATLAB, и позволяющая исследовать работу системы в динамике при изменении параметров турбины, генератора и нагрузки;

– схема стабилизации напряжения асинхронного генератора микро ГЭС;

– результаты испытания схемы стабилизации напряжения асинхронного генератора.

Реализация и внедрение результатов исследований. Разработанная методика оценки эффективности использования возобновляемых источников энергии на мелиоративной системе Краснодарского края выполнена в соответствии с техническим заданием к государственному контракту № 31-2012 по теме «Разработка научно обоснованных методов и программного комплекса оптимизации режима работы электроустановок на сельскохозяйственных предприятиях Краснодарского края». Результаты компьютерного моделирования используются в учебном процессе Кубанского ГАУ.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар, 2009–2010 гг.), Международном агропромышленном конгрессе (Санкт-Петербург, 2009 г.), 5-й международной научно-практической конференции «Технические и технологические системы» (Краснодар, 2013 г.).

Публикации результатов работы. Основные результаты работы опубликованы в 9 печатных работах, в том числе получены 3 патента РФ на изобретения, 1 работа опубликована в издании, рекомендованном ВАК. Общий объем опубликованных работ составляет 10,25 п. л. из них на долю автора приходится 3,43 п. л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, общих выводов, списка использованных источников, включающего 130 наименований, в том числе 15 – на иностранном языке, и приложения. Диссертация изложена на 160 страницах машинописного текста, включая 28 страниц приложения, содержит 54 рисунка, 21 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследований, сформулированы цель работы, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассмотрены необходимость и перспективы применения возобновляемых источников энергии для электроснабжения предприятий АПК Краснодарского края, существующие конструкции турбин и оборудования микро гидроэлектростанций, современные разработки систем стабилизации напряжения асинхронных генераторов.

По данным некоммерческого партнерства «Совет рынка», суммарный объем выработки электроэнергии генерирующими компаниями, представленными на рынке Краснодарского края, в 2011 г. составил 6512,5 тыс. МВт·ч (меньше, чем в предыдущем году, на 1,2 %), а объем потребленной энергии по региону составил 21960,9 тыс. МВт·ч (больше, чем в предыдущем году, на 6,2 %). Около 66 % электроэнергии поступает из соседних регионов – энергосистема Краснодарского края является одной из самых дефицитных по электрической энергии среди энергосистем Южного федерального округа Российской Федерации.

В условиях дефицита электрической мощности в Краснодарском крае имеет смысл обратиться к вопросу использования нетрадиционной энергетики и за ее счет «разгрузить» существующую энергосистему. Для повышения конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции одной из приоритетных задач отрасли должен быть анализ возможностей использования альтернативных источников энергии.

В качестве источника возобновляемой энергии может выступать, в том числе, мелиоративная система Краснодарского края, включающая в себя более 14 тыс. гидросооружений. Одним из самых крупных гидросооружений является шлюз № 8 – концевое сооружение магистрального сброса.

На примере данного шлюза был рассмотрен вариант преобразования энергии транзитного потока воды (метод транзитного потока) при поддержании в водохранилище нормального подпорного уровня. С помощью данного метода оценки был получен годовой объем энергии, который потенциально можно получить на данном объекте. Эта величина составила примерно 204 тыс. кВт·ч. На практике же невозможно использовать всю энергию. Для оценки эффективности производства энергии на водостоке, применяют коэффициент использования

мощности, учитывающий КПД турбины и механической передачи, КПД электрических преобразователей и генератора, расход на собственные нужды станции, а также полезную мощность потока воды. Кроме того, имеют место дополнительные расходы воды на нерегулируемые протечки через шлюз, в этом случае теряется около 20% энергии. Для ГЭС показатель, характеризующий технически возможный потенциал получения энергии, находится в пределах 0,2–0,45.

Таким образом, технически максимально возможный годовой объем энергии, получаемый на шлюзе, составит около 75 тыс. кВт·ч.

Современный рынок предлагает большое количество гидроагрегатов, но параметры асинхронного генератора, использующегося в качестве силового агрегата, должны отвечать требованиям конкретного потребителя, и его работа должна быть согласована с сетью. Помимо этого, генерируемая электроэнергия должна отвечать требованиям ГОСТ Р 54149-2010, а наряду с очевидными преимуществами (малая стоимость, простота конструкции, надежность и т. д.) асинхронные генераторы (АГ) имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что без дополнительных устройств, стабилизирующих напряжение, АГ имеют крутопадающую внешнюю характеристику. Поэтому для регулирования и стабилизации напряжения АГ необходимы дополнительные устройства.

Проблемы внедрения и использования возобновляемой энергетики в своих трудах рассматривали такие ученые, как О. В. Григораш, Н. И. Богатырев, С. Е. Щеклеин, В. В. Елистратов, Е. А. Зайцев, Н. Д. Торопцев и др.

Наибольшее распространение получили системы стабилизации напряжения асинхронного генератора на основе балластного регулятора нагрузки, выпускаемые промышленностью. Принцип автоматического регулирования балластной нагрузки заключается в следующем: параллельно нагрузке потребителя станции через элемент регулирования подключается такая же по величине дополнительная (балластная) нагрузка. При изменении величины нагрузки потребителя величина балластной нагрузки изменяется при помощи элемента регулирования таким образом, чтобы суммарная нагрузка генератора микро ГЭС оставалась

неизменной. В качестве балластной нагрузки обычно используют нагревательные элементы.

Недостатком данного способа является то, что до 80% электрической энергии автономный потребитель тратит на получение тепла, выделяемое на балластных сопротивлениях. Не всегда существует возможность полезно использовать отводимое от нагревательных элементов тепло.

Таким образом, для внедрения микро ГЭС на шлюзе мелиоративной системы необходимо разработать устройство по стабилизации напряжения асинхронного генератора.

В первой главе сформулирована цель работы и задачи исследований.

Во второй главе представлены графики изменения отбираемой мощности на шлюзе, полученные на основе анализа статистических данных (рисунок 1).

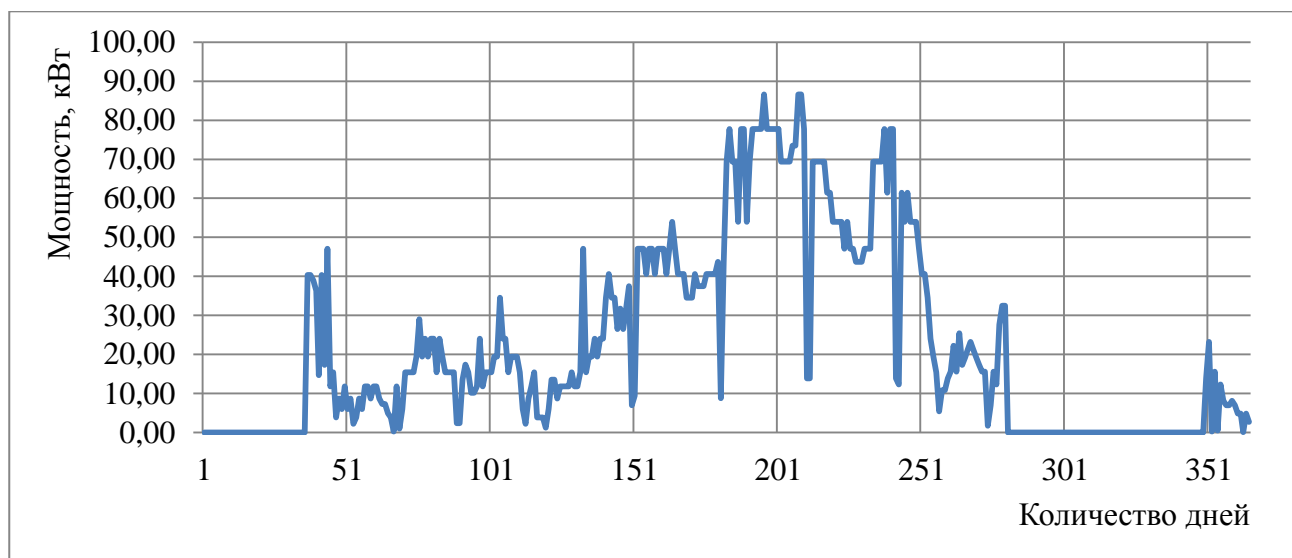


Рисунок 1 – График изменения отбираемой мощности на шлюзе

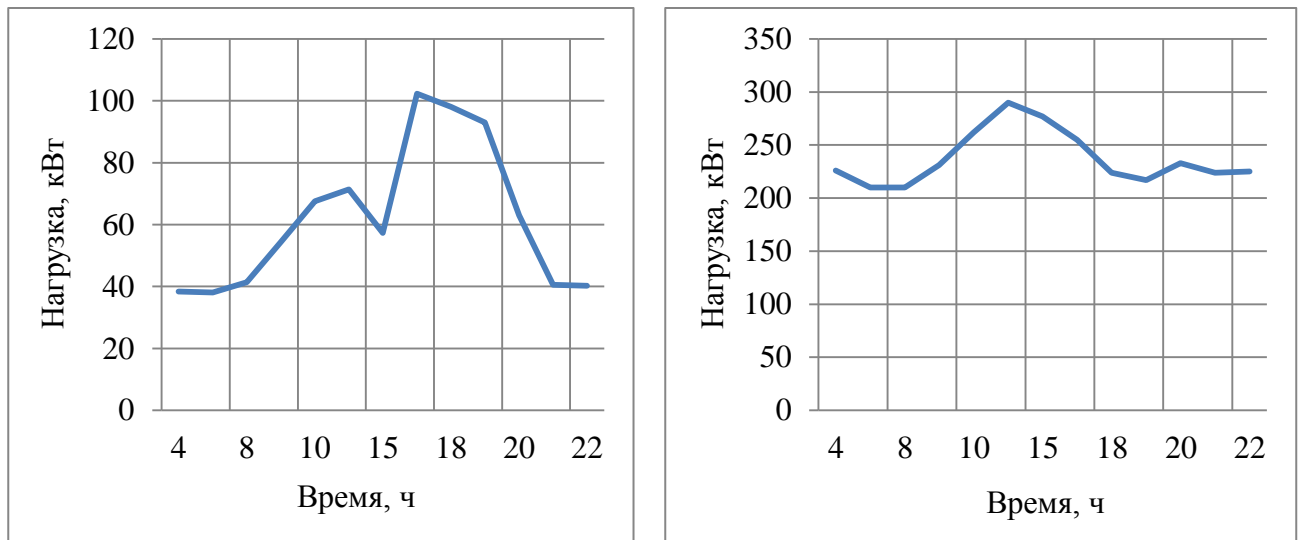
Из анализа графиков изменения отбираемой мощности следует, что наиболее интенсивное движение воды происходит в период с мая по август, т. е. именно в этот период процесс генерации электроэнергии с помощью малой ГЭС будет стабильным.

Основываясь на данных графиков нагрузки отдельных участков электрической сети, можно определить параметры генерирующих электроустановок. При проектировании таких установок, работающих на ВИЭ, одной из главных задач является обоснование и выбор режима работы установки и определение ее но-

минальной мощности. Нагрузка различных категорий потребителей имеет сложный статистический характер в виду специфики производственных процессов, поэтому рациональный путь – это классификация потребителей по функциональному признаку и построение типовых графиков нагрузки для них.

На основе данных о режимных днях (суточные графики летнего и зимнего максимумов нагрузки) объектов электроснабжения были получены годовые графики нагрузки потребителя «по продолжительности». Такими графиками пользуются при проектировании систем электроснабжения. На основе графиков «по продолжительности» можно определить: расчетную нагрузку, число часов использования максимальной нагрузки (ЧЧИМ); на основе ЧЧИМ и расчетной нагрузки можно также рассчитать количество электроэнергии, потребляемое объектом за год. Все эти параметры также необходимы для технико-экономических расчетов.

На основе статистических данных построены графики режимного дня ООО «Хлебозавод» Приморско-Ахтарского участка районных электрических сетей (рисунок 2).



а) – зимний максимум 2010 г.; б) – летний максимум 2010 г.

Рисунок 2 – Графики нагрузки режимного дня ООО «Хлебозавод»

Ниже приведены сравнительные графики нагрузки ООО «Хлебозавод» и мощности, получаемой на шлюзе № 8 «по продолжительности» (рисунок 3).

Очевидно, что как расчетная нагрузка потребителя, так и годовая потребляемая мощность значительно превышает возможности шлюза. Тем не менее, на этих примерах можно показать, что на питание от микро ГЭС можно переключить часть электрооборудования предприятий.

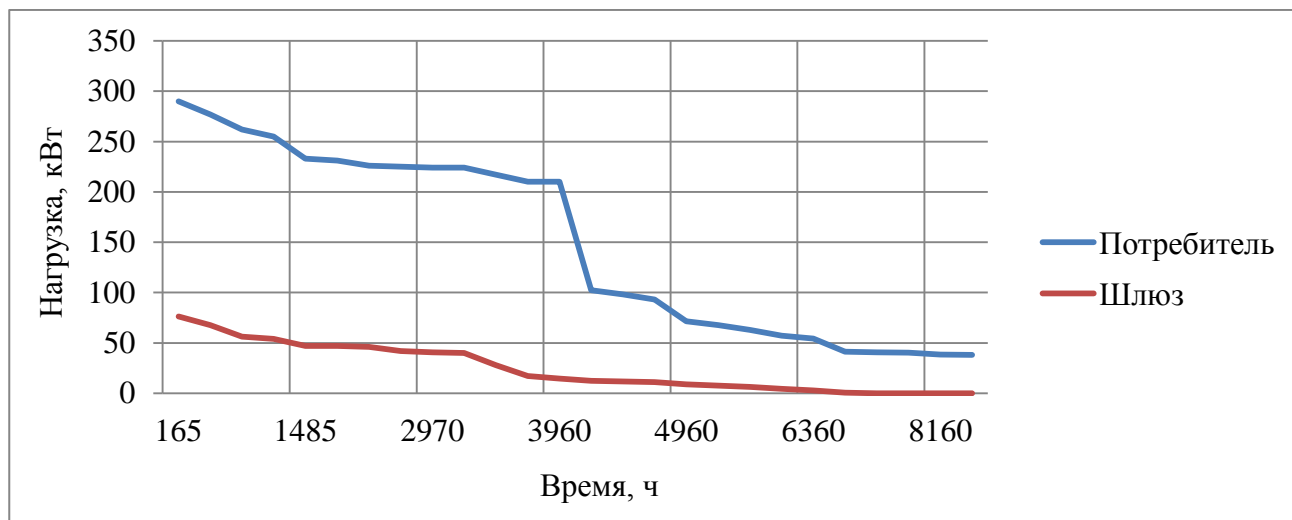


Рисунок 3 – График мощности «по продолжительности», 2010 г. (ООО «Хлебозавод»; гидротехническое сооружение шлюз № 8)

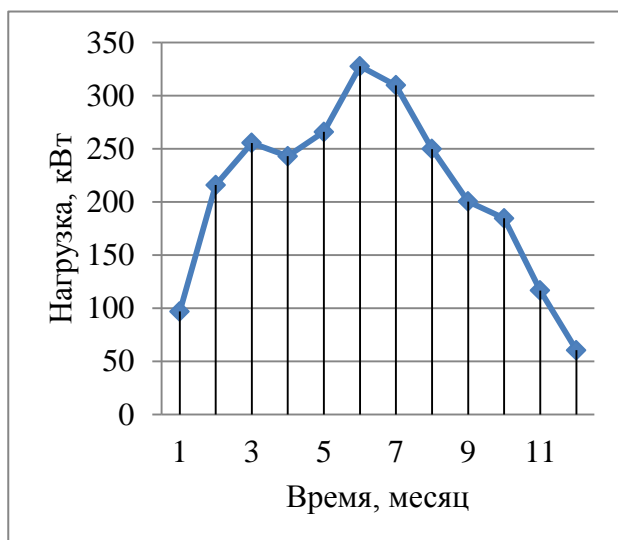
Анализ данных графиков также не дает полной информации для обоснования использования микро ГЭС, установленной на данном шлюзе, так как речь идет о сезонном изменении расхода воды и реальном изменении графика нагрузки потребителя в течение года.

Для сравнения и сопоставления графиков нагрузок – годового потребления по приморско-ахтарскому участку и годового потребления ООО «Хлебозавод» относительно потенциального источника мощности в виде малой ГЭС – был применен метод гармонического анализа – разложение в ряд Фурье.

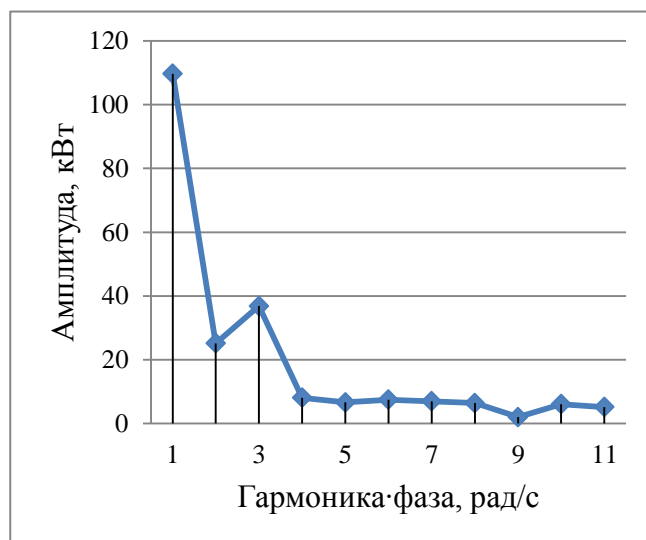
В результате гармонического анализа графика нагрузки ООО «Хлебозавод» было получено следующее выражение:

$$\begin{aligned}
 F_{ХЗ}(x) = & 210,4 + 109,6 \sin(\omega t - 92,9) + 25,1 \sin(2\omega t - 101,4) + \\
 & + 36,9 \sin(3\omega t + 234,1) + 8,1 \sin(4\omega t + 22,9) + 6,6 \sin(5\omega t + 195,7) + \\
 & + 7,5 \sin(6\omega t + 156,9) + 7,0 \sin(7\omega t + 165,9) + 6,5 \sin(8\omega t + 147,7) + \\
 & + 2,0 \sin(9\omega t + 164,5) + 6,1 \sin(10\omega t + 132,1) + 5,2 \sin(11\omega t + 112,2)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

График функции, соответствующий разложению в ряд Фурье, приведен на рисунке 4 а. Построена амплитудно-частотная характеристика гармонической функции (рисунок 4 б).



а)

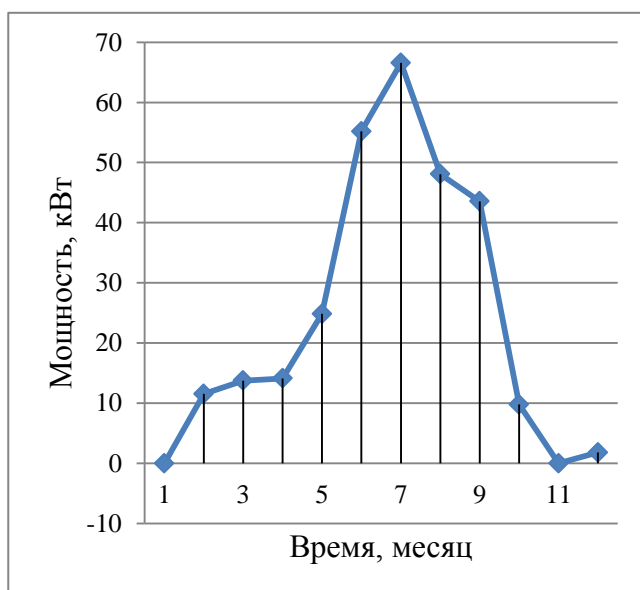


б)

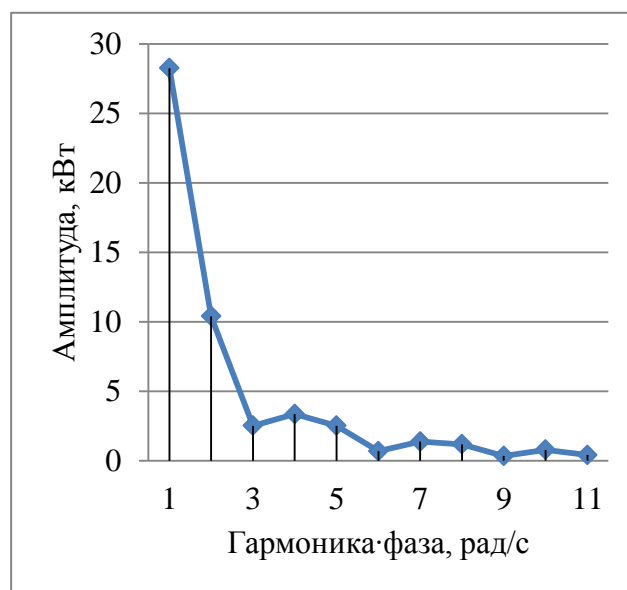
а) кривая, характеризующая нагрузку (усредненное за три года 2008–2010 гг.) ООО «Хлебозавод»; б) амплитудно-частотная характеристика гармонической функции потребления мощности ООО «Хлебозавод»

Рисунок 4 – Графики функций нагрузки потребителя

На основании аналогичного анализа построены графики функции для вырабатываемой мощности шлюза № 8 (рисунок 5).



а)



б)

а) кривая, характеризующая потенциально вырабатываемую потоком воды мощность; б) амплитудно-частотная характеристика гармонической функции, характеризующей потенциально вырабатываемую на шлюзе мощность

Рисунок 5 – Графики функций вырабатываемой мощности на шлюзе № 8

Для определения возможности дублирования (резервирования) системы энергоснабжения на приморско-ахтарском участке проведен корреляционный анализ полученных графиков потребителя – ООО «Хлебозавод» и источника – шлюза № 8.

Была получена взаимная корреляционная функция для конечного количества гармоник полученных графиков потребителя и источника:

$$R_{xy}^1(t_1; t_2) = M \left[\dot{X}(t_1)Y(t_2) \right] = M \left[\begin{matrix} U_{mx} \cos(\omega_1 t_1 + \varphi_1) \cdot \\ \cdot U_{my} \cos(\omega_1 t_2 + \varphi_2) \end{matrix} \right] \quad (3)$$

$$R_{xy}(t_1; t_2) = \sum_{i=1}^k \frac{U_{mxi} U_{myi}}{2} \cos(\varphi_{2i} - \varphi_{1i}) \cos(t_2 - t_1) \quad (4)$$

где M – математическое ожидание двух случайных функций $X(t_1)$ и $Y(t_2)$;
 $X(t_1)$, $Y(t_2)$ – случайные функции;

t_1 , t_2 – аргументы случайных функций X , Y соответственно;

U_{mx} , U_{my} – амплитуда случайных функций X , Y соответственно;

φ – начальная фаза случайных функций; ω – круговая частота.

Корреляционная функция для графика потребления мощности ООО «Хлебозавод» и графика потенциально вырабатываемой мощности на шлюзе принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} R_{\text{х.з.-ш.}}(t_1; t_2) = & 1550,8 \cdot \cos(150^\circ) \cdot \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + 130,5 \cdot \cos(-71,4^\circ) \\ & \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + 46,1 \cdot \cos(-7,7^\circ) \cdot \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + 13,8 \cdot \cos(57,6^\circ) \\ & \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + 8,3 \cdot \cos(-27^\circ) \cdot \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + \\ & + 5,3 \cdot \cos(108,1^\circ) \cdot \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + 4,9 \cdot \cos(-150,4^\circ) \cdot \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + \\ & 3,9 \cdot \cos(-43^\circ) \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + 0,4 \cdot \cos(-211,8^\circ) \cdot \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + \\ & 2,4 \cdot \cos(41,4^\circ) \cdot \cos[2\pi(t_1 - t_2)] + 1,04 \cdot \cos(-171,8^\circ) \cos[2\pi(t_1 - t_2)]. \end{aligned} \quad (5)$$

В соответствии с уравнением (5) построена корреляционная функция для оценки возможности дублирования системы энергоснабжения приморско-ахтарского участка с помощью АГ, установленного на шлюзе (рисунок 6).

Из анализа графика рисунка 6 следует, что корреляция приходится на период с середины апреля до конца сентября, поэтому в этот период альтернативный источник энергии может скомпенсировать пиковые нагрузки, появляющиеся в графике нагрузок приморско-ахтарского участка. В указанный период, с учетом КПД микро ГЭС, можно получить энергию в количестве 62 тыс. кВт·ч.

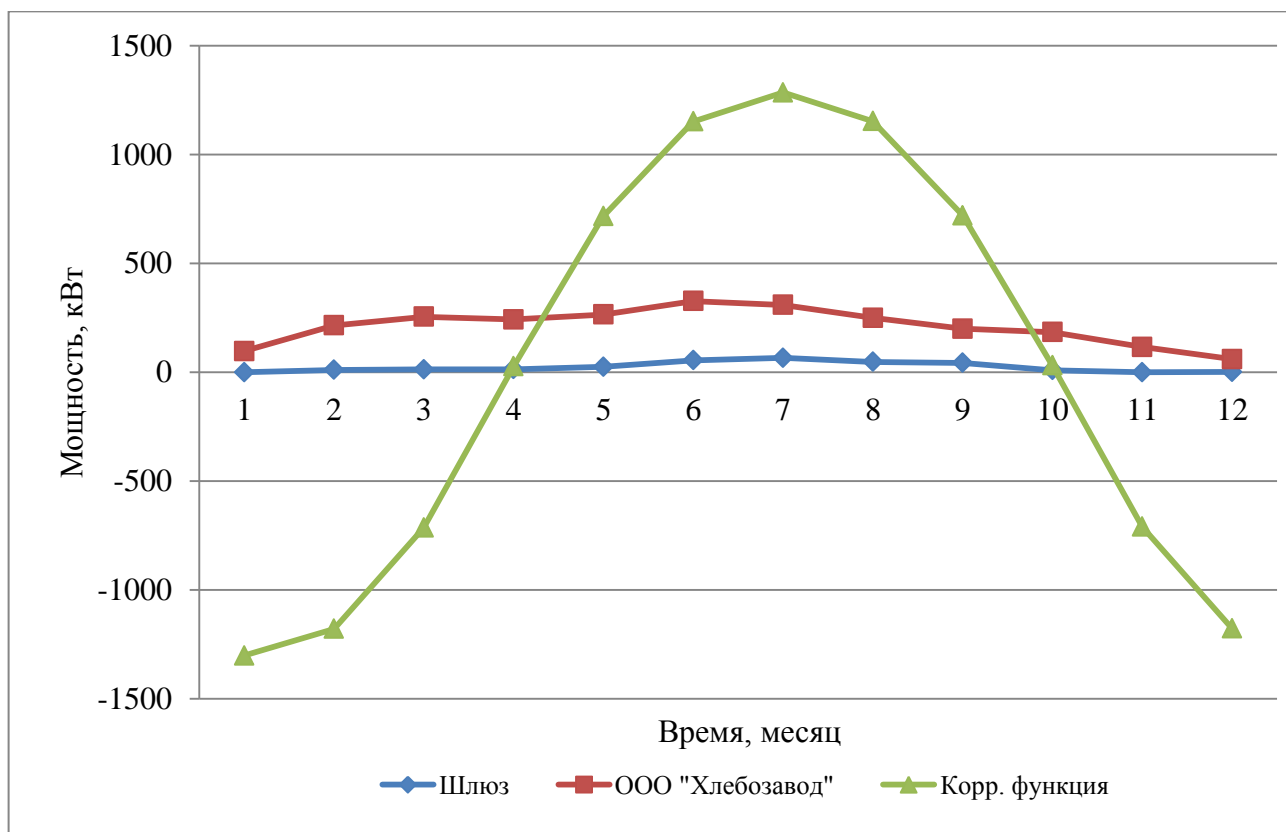


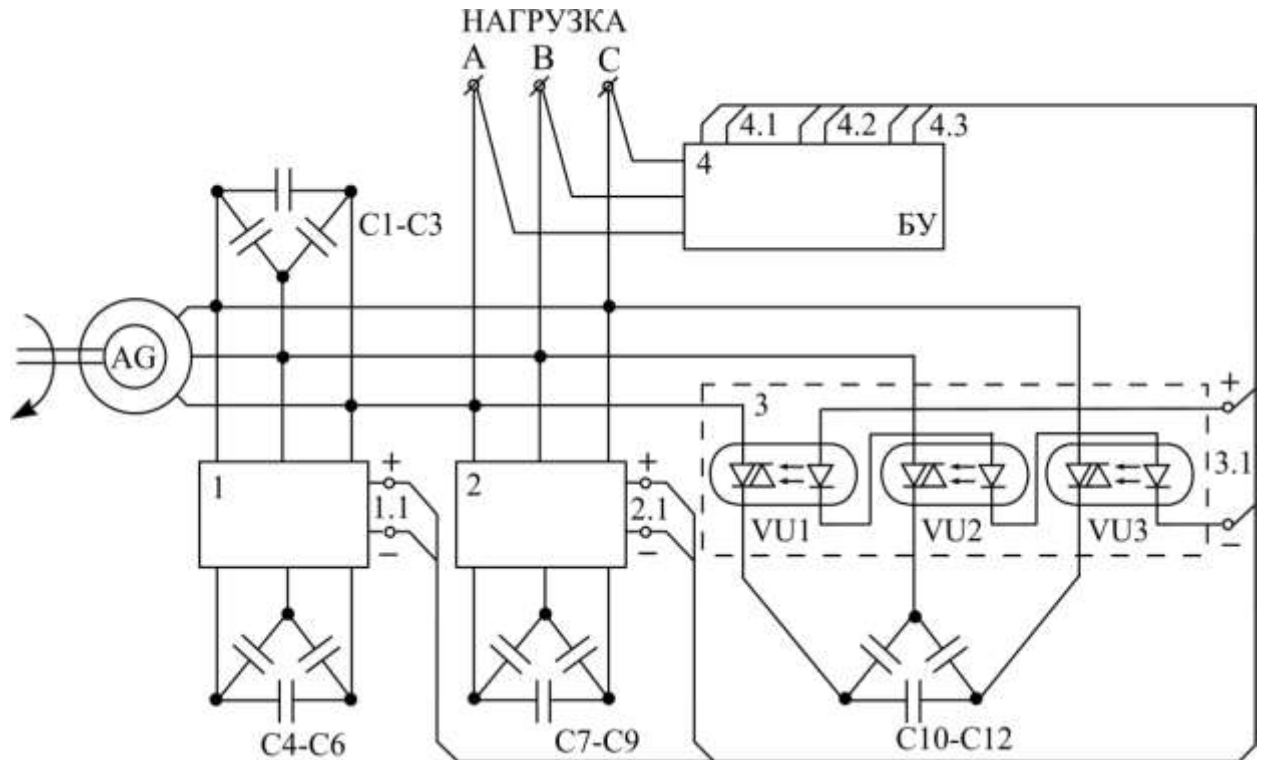
Рисунок 6 – Корреляционная функция для графиков мощности ООО «Хлебозавод» и шлюза № 8

Разработана и запатентована (патент РФ № 2373630) бесконтактная схема устройства для регулирования и стабилизации напряжения автономного асинхронного генератора (рисунок 7).

Достоинство устройства заключается в следующем:

1. Батареи коммутируемых конденсаторов подключаются при переходе коммутирующего напряжения через ноль, поэтому отсутствуют гармонические составляющие тока и напряжения, а также коммутационные перенапряжения и помехи.

2. Диапазон (глубина) регулирования и стабилизации напряжения зависят от количества коммутируемых конденсаторов. Чем больше блоков конденсаторов, тем выше стабильность напряжения.



AG – асинхронный генератор на базе асинхронного двигателя АИР100L2, C1 – C3 – конденсаторы возбуждения генератора; C4 – C12 – коммутируемые конденсаторы; 1 – 3 – твердотельные реле переменного тока с контролем фазы коммутируемого напряжения через «ноль» типа НТ 2544ZD3; БУ – блок управления.

Рисунок 7 – Блок-схема устройства стабилизации напряжения

Третья глава посвящена компьютерному моделированию режима работы системы «Микро ГЭС – Потребитель» в динамике с учетом подключения нагрузки. Для создания системы использовалось приложение Simulink пакета MATLAB R2006a. В модель (рисунок 8) входят стандартные блоки, предлагаемые встроенной библиотекой MATLAB.

В основе предложенной системы лежит модель асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором С. Г. Германа-Галкина. Модель состоит из следующих частей: гидравлическая турбина, блоки, имитирующие возбуждение генератора, нагрузка, асинхронный генератор.

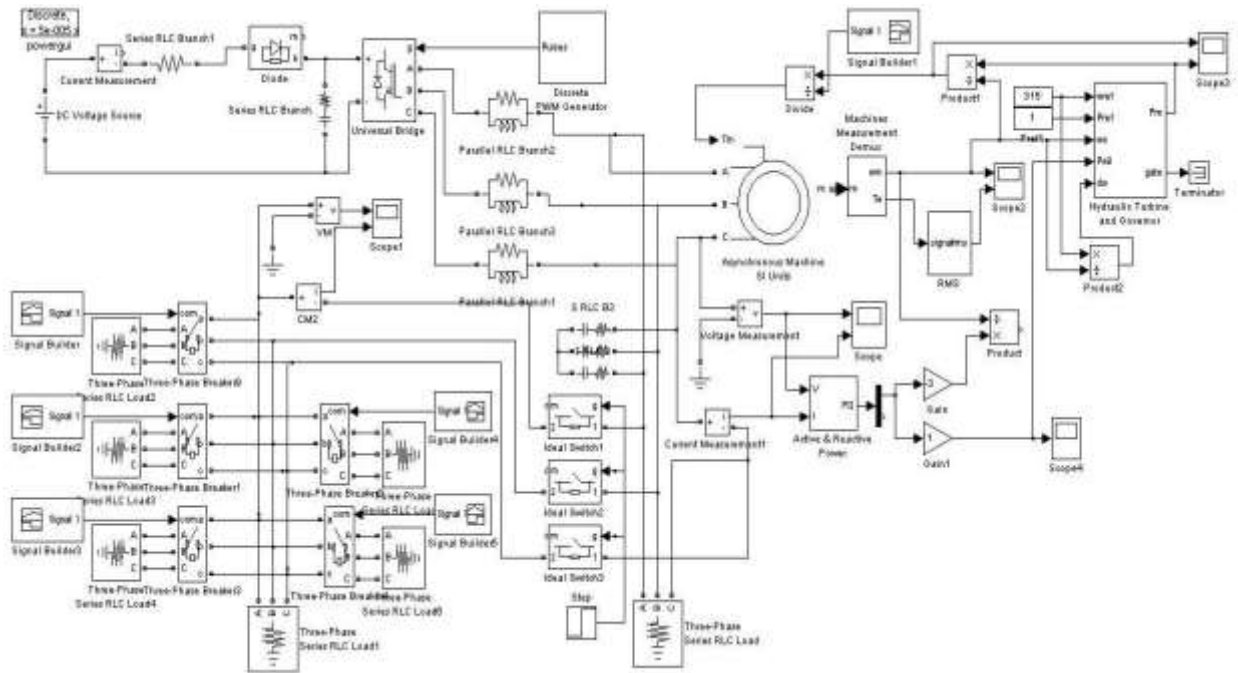


Рисунок 8 – Модель системы «Микро ГЭС – Потребитель»

В результате моделирования получены осциллограммы напряжения и тока асинхронного генератора (рисунок 9).

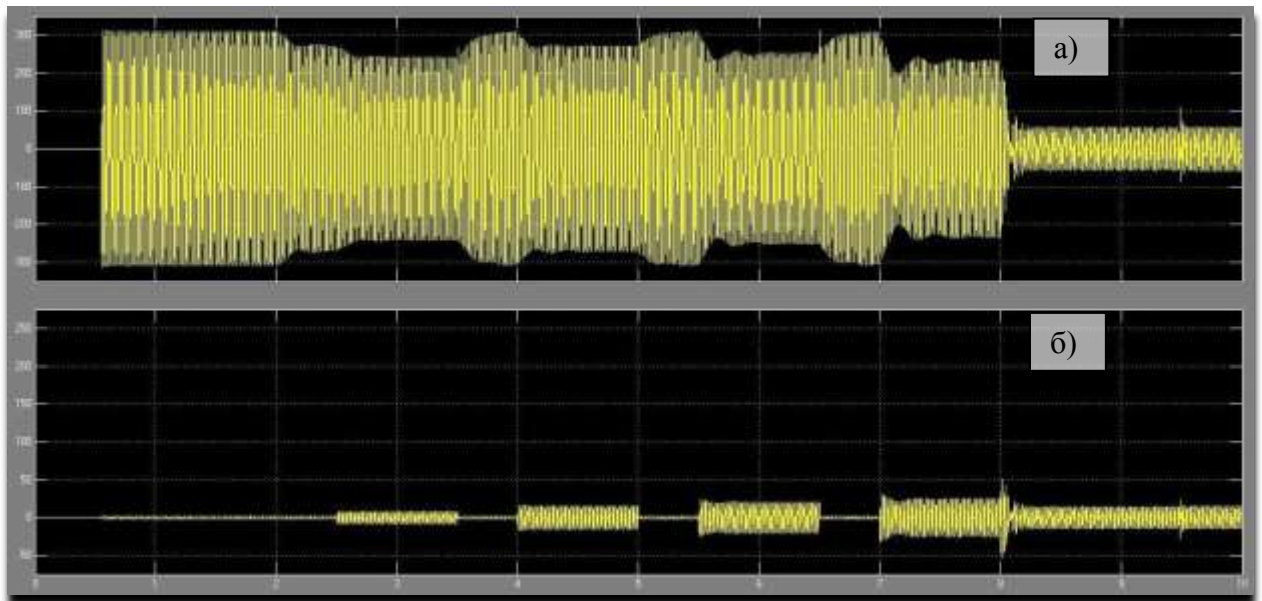


Рисунок 9 – Напряжение на нагрузке (а), ток нагрузки (б)

Как следует из анализа осциллограммы, напряжение на зажимах генератора при изменении величины нагрузки изменяется в допустимом диапазоне. Представленная модель позволяет отследить изменение параметров работы генератора в динамическом режиме при ступенчатом изменении нагрузки.

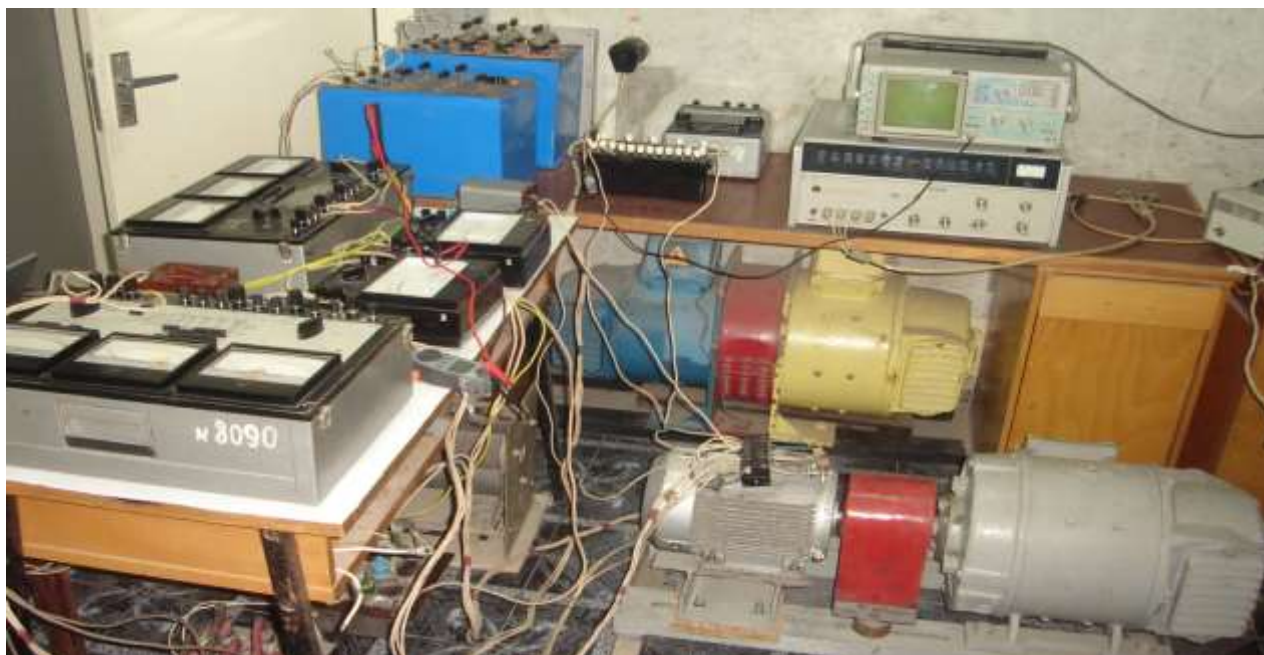


Рисунок 10 – Испытательный стенд для определения внешних характеристик асинхронного генератора

Были проведены испытания асинхронного генератора в различных режимах работы. Стенд для испытания асинхронного генератора (рис. 10) включает в себя: приводной двигатель постоянного тока независимого возбуждения типа 2ПН132МУХЛ4, батареи конденсаторов C_{var} с возможностью дискретного изменения емкости, комплект приборов типа К506, частотомер.

Цель испытаний асинхронного генератора в лабораторных условиях:

1. Получить внешние характеристики генератора при различной нагрузке;
2. Испытать предложенную схему стабилизатора напряжения.

Были получены внешние характеристики асинхронного генератора при различной величине емкости конденсаторов возбуждения. На рисунке 11 представлено семейство нагрузочных характеристик генератора.

Результаты экспериментальных исследований показали, что для работы асинхронного генератора, с учетом изменения нагрузки в течение суток, необходимо использование системы стабилизации.

Была испытана предложенная система стабилизации напряжения асинхронного генератора. Результаты эксперимента приведены на рисунке 12.

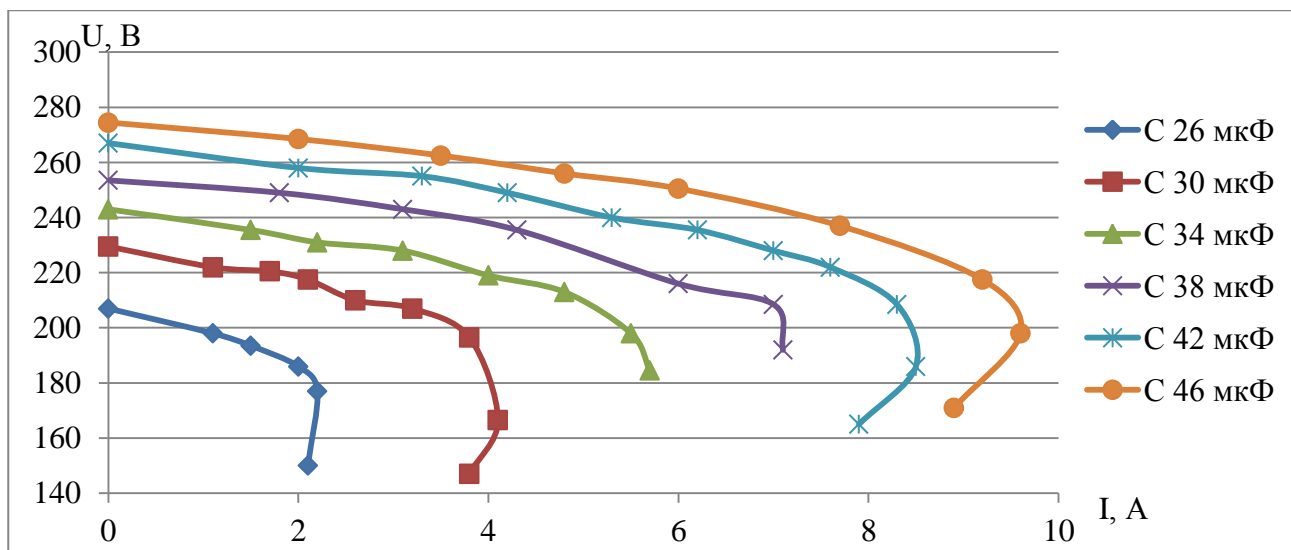


Рисунок 11 – Семейство нагрузочных характеристик генератора при различной величине емкости

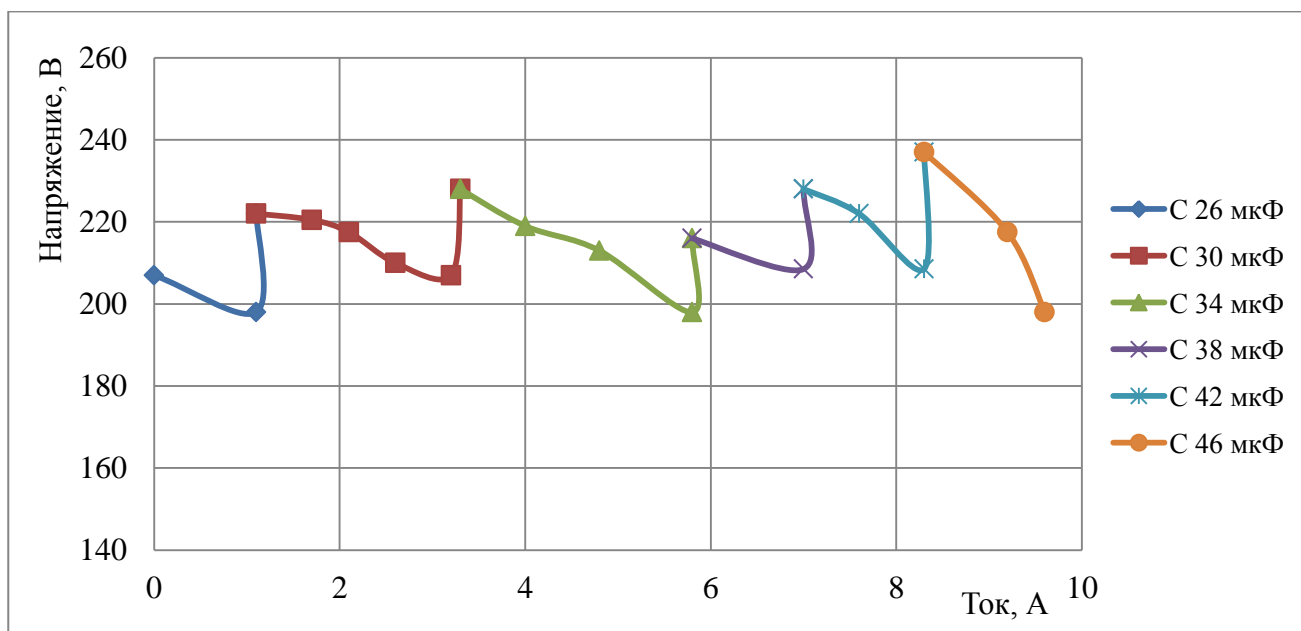


Рисунок 12 – График изменения напряжения на зажимах генератора с применением системы стабилизации напряжения

Данные эксперимента показывают, что стабилизация напряжения осуществляется в заданном режиме с отклонением значений в пределах $\pm 10\%$.

В четвертой главе определены показатели экономической эффективности от внедрения микро ГЭС на шлюзе № 8 мелиоративной системы. Расчет экономической эффективности производился исходя из экономии электроэнергии получаемой из сети за счет энергии шлюза. ЧДД составил 156 тыс. руб. при сроке окупаемости 7 лет.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Определены закономерности движения воды в рисовой оросительной системе на основе регистрации уровней в канале Кирпильского лимана. По результатам обработки статистических данных получены графики уровней воды и статического напора со среднесуточными значениями за 3 года, что привело к расчету графиков потенциально возможной отбираемой мощности. Установлено, что наиболее интенсивное движение воды происходит в период с мая по август, т. е. именно в этот период процесс генерации электроэнергии с помощью микро ГЭС будет стабильным.

2. Исследованы данные по суточным нагрузкам летнего и зимнего максимумов ряда потребителей в девятнадцати районах Краснодарского края. Данные были сгруппированы по шести категориям, и анализ графиков нагрузок показал:

– «водоснабжение» - равномерная нагрузка по времени суток, постоянная загруженность сети и не существенное отличие между летним и зимним периодами;

– «тепловые сети» - самый низкий коэффициент формы, нагрузка сети в летний период меньше, чем в зимний и существенное отличие между зимним и летним периодами;

– «переработка и хранение» - время максимальной загрузки генерирующих устройств составляет 70 %, равномерность нагрузки по времени суток;

– «транспорт» - время максимальной загрузки генерирующих устройств в летний период гораздо выше, чем в зимний;

– «коммунально-бытовые» - время максимальной загрузки генерирующих устройств составляет 70 %;

– «ИП и малые предприятия» – коэффициенты максимальной нагрузки, заполнения и формы в летний и зимний период близки друг к другу.

3. Получен годовой график потребления электрической энергии на приморско-ахтарском участке за три года и установлено следующее: коэффициент формы графика примерно равен единице, что характеризует график как равномерный, однако визуально можно определить, что на период с декабря по фев-

раль приходится наибольшие значения потребленной электроэнергии. Еще один пик нагрузки приходится на летний период – июль – август.

4. С использованием метода корреляционного анализа на основе статистических данных о режимах работы объекта мелиоративной системы и характере графика нагрузки потребителя электроэнергии обоснованы объемы ее выработки и периоды подключения потребителей к микро ГЭС. Для конкретного потребителя – ООО «Хлебозавод», а также для конечного сооружения магистрального сброса – шлюза № 8 на основании графика корреляционной функции сделано следующее заключение: положительная корреляция наблюдается в период с апреля по октябрь – т. е. именно в этот период подключение потребителя к источнику энергии, установленному на шлюзе, наиболее эффективно, что позволит сократить пиковую нагрузку на энергосистеме приморско-ахтарского участка в период летнего максимума. Коэффициент корреляции графиков генерации шлюза и потребления мощности ООО «Хлебозавод» составляет 0,95.

5. Разработана методика обоснования установки микро ГЭС на малых водотоках с переменным водопоступлением, позволяющая оценить возможность подключения потребителей с различными параметрами и характером графика нагрузки, сократить объем выборки потенциальных потребителей для дальнейшего анализа и рекомендовать периоды подключения в зависимости от категорийности потребителя.

6. В среде Simulink пакета MATLAB R2006a разработана компьютерная модель системы «Микро ГЭС – Потребитель», позволяющая изучать работу системы при различных режимах: запуск турбины, подключение нагрузки, изменение нагрузки в соответствии с графиком для конкретного потребителя.

7. Установлено, что при изменении нагрузки асинхронного генератора от холостого хода до двукратной перегрузки, выходное напряжение изменяется от 270 В до 140 В, что значительно превышает допустимые уровни, оговоренные в стандарте на качество электроэнергии. Изготовлен и испытан экспериментальный образец стабилизатора напряжения асинхронного генератора. В результате экспериментов получено следующее: при изменении нагрузки от холостого хо-

да до двукратных значений напряжение на выходе генератора изменялось в диапазоне 225 В – 216 В (при автоматическом переключении конденсаторов в три ступени), что соответствует требованиям к качеству напряжения.

8. Разработана схема устройства стабилизации выходного напряжения асинхронного генератора (патент РФ № 2373630), которая имеет следующие особенности: силовые элементы подключаются при переходе коммутирующего напряжения через ноль, поэтому отсутствуют гармонические составляющие тока и напряжения; диапазон (глубина) регулирования и стабилизации напряжения зависит от количества коммутируемых конденсаторов.

9. Капитальные затраты на реализацию проекта по внедрению микро ГЭС на гидротехническом сооружении – шлюз № 8 – составили 2,15 млн руб. ЧДД составил 156453,18 руб. при сроке окупаемости 7 лет.

Основные положения диссертации опубликованы:

– в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Потешин М. И. Обоснование графиков нагрузки отдельных потребителей в районах Краснодарского края / М.И. Потешин // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – № 05 (069). С. 279–291. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/05/pdf/26.pdf>.

- в прочих изданиях:

2. Богатырёв Н. И. Новые схемы генераторов для ветро- и гидроэлектростанций малой мощности / Н.И. Богатырёв, Н.С. Баракин, М.И. Потешин и др.: Материалы Междунар. агропромышл. конгресса (21.08.2009 – 30.08.2009). – СПб.: Ленэкспо, 2009. – С. 78–79.

3. Потешин М. И. Микро ГЭС с асинхронным генератором для удаленных изолированных потребителей электроэнергии / М. И. Потешин // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Материалы II-й Всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых – Краснодар: КубГАУ, 2010. – С. 341–342.

4. Потешин М. И. Перспективы использования гидроэнергетических ресурсов в овцеводстве Северного Кавказа / М. И. Потешин // «Университет: наука, идеи и решения». – 2010. – № 2. – С. 165–166.

5. Потешин М. И. Обоснование генератора для системы автономного электроснабжения [Текст] / Н.И. Богатырёв, Н.С. Баракин, М.И. Потешин // Технические и технологические системы: Материалы V Междунар. науч.- практ. конф. (10 – 11 октября 2013 г.). – Краснодар: КубГАУ, 2013. – С. 21–25.

- патенты на изобретения и свидетельства:

6. Патент РФ 2316879, МПК Н 02 К 17/14, Н 02 К 3/28. Статорная обмотка асинхронного генератора / Богатырёв Н. И., Ванурин В. Н., Потешин М. И. и др. (РФ) заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2006113471/09 (014637); заявл. 20.04.06; опубл. 10.02.08; бюл. № 4. – 5 с.

7. Патент РФ 2366073, МПК Н 02 Р 9/46. Стабилизатор напряжения асинхронных генераторов для автономных источников, ветроэнергетических установок, малых гидростанций / Богатырёв Н. И., Екименко П. П., Потешин М. И. и др.; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2007140615/09; заявл. 01.11.07; опубл. 27.08.09; бюл. № 24. – 5 с.

8. Патент РФ 2373630, МПК Н 02 Р 9/46, Н 02 J 3/18. Устройство для регулирования и стабилизации напряжения автономного асинхронного генератора / Богатырёв Н. И., Баракин Н. С., Потешин М. И. и др. заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2007140615/09; заявл. 31.03.08; опубл. 20.11.09; бюл. № 32. – 7 с.

9. Расчет потерь в линиях 0,22 кВ, НН, СН1, СН2. / М.И. Потешин, В.А. Дидыч, Я.А. Ильченко, С.М. Моргун, С.В. Оськин // Свидетельство РФ №2013616080 Роспатент, 2013.

Подписано в печать 20.11.13

Бумага офсетная

Печ. л. 1

Тираж 100 экз.

Формат 60x84 1/16

Офсетная печать

Заказ №795

Отпечатано в типографии Кубанского ГАУ
350044, Краснодар, ул. Калинина, 13