На правах рукописи

Катиле Карим

ГЕЛИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ (ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ МАЛИ)

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2002

Работа выполнена на кафедре “Системы автоматического управления” Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

Научный руководитель – Кандидат технических наук, доцент
А.Н. Кривцов

Официальные оппоненты – Доктор технических наук, профессор
Бор – Раменский А.Е.
Кандидат технических наук, доцент
Ковалев Е.Н.

Ведущая организация – Институт сварки России

Защита диссертации состоится « **19** » **декабря** 2002г. в __18__часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.20 при Санкт-Петербургском государственном политехническом университете
по адресу: Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, Главное здание, ауд. 150.
Почтовый адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке СПбГПУ.

Автореферат разослан _19_ ноября 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.229.20 /А.Д.Курмашев/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Как показывают данные, приведенные в фундаментальных трудах по исследованию мировой динамики, весь двадцатый век характеризуется непрерывным ростом народонаселения, максимум которого может быть достигнут в 2020-2100 годах; снижением природных энергоресурсов (нефть, газ, уголь) и возрастающим загрязнением среды обитания человека. Поэтому все в большей степени в обществе, независимо от конкретной страны, складывается негативное отношение к наличию тепловых и атомных станций и особенно к новому строительством таких объектов.

В то же время слабая энергетическая база препятствует реализации программ развития развивающихся стран Латинской Америки, Азии и Африки. Недостаточность производства электроэнергии, ее дороговизна сдерживают не только создание промышленности и перерабатывающих отраслей в сельском хозяйстве этих стран, но и развитие их в целом. Анализ состояния мировой энергетики показывает, что одним из направлений решения задачи повышения уровня энергоснабжения в этих странах может стать использование автономных экологических “чистых” энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии.

Рассмотрим поставленную проблему на примере Мали. Мали – это протяженная страна с низкой плотностью населения (около 8 чел./км^2). Уровень потребления энергии на душу населения в шесть раз ниже среднемирового. Основными источниками электроэнергии являются гидростанции, вырабатывающие 64% общего объема электроэнергии, и тепловые электростанции (ТЭС) 34%. Основным топливом для ТЭС являются нефтепродукты, стоимость которых составляет 14% общего объема импорта страны и отнимает 24% ее экспортных доходов.

В настоящее время в Мали электрифицировано всего 10% территории,

и потребители электроэнергии сосредоточены в основном в городах. В сельской местности, население, которого составляет 73% населения страны, главным источником энергии является древесина. Сжигание древесины как источника энергии составляет 96% ее общего потребления. Это наносит огромный экологический ущерб природе страны: вырубка 0,5 млн. Га лесов в год, наступление пустыни и обмеление рек.

Страна не имеет собственных минеральных ресурсов, а ее главное энергетическое богатство – энергия Солнца практически не используется. Поэтому развитие гелиоэнергетики – жизненно важная проблема для Мали, что определяет актуальность избранной темы диссертации.

Нами предлагается ориентировать значительную часть будущей энергетики страны на развитие малой энергетики, основанной на использование гелиоустановок мощностью 0,5 ÷ 10 кВт.

Полное решение этой проблемы потребует усилий больших исследовательских и проектных коллективов, но научное обоснование основных решений, определяющих компоновку гаммы маломощных автономных гелиоустановок и их основных систем электрооборудования, предназначенных для конкретных условий эксплуатации, могут быть выполнены в диссертационной работе.

Цель работы.

Выбор и обоснование компоновки и основных технических решений гаммы гелиоэлектрических установок (ГЭУ), работоспособных в условиях жаркого климата; исследование и моделирование систем электрооборудования ГЭУ для обеспечения их наибольшей энергетической отдачи.

Задачи исследования.

1. Анализ состояния энергетики Республики Мали и доказательство необходимости ее дальнейшего развития на базе гелиоэнергетики.

2. Обоснование мощности гаммы ГЭУ на основании анализа графиков нагрузок основных массовых потребителей в стране.

3. Методика расчета поступления солнечной энергии для субтропической зоны.

4. Обоснование конструктивной компоновки гелиоэлектрических установок, обеспечивающей максимум поступления солнечной энергии в условиях Мали.

5. Разработка принципов объединения фотомодулей в фотобатареи в условиях жаркого климата.

6. Разработка моделей основных узлов канала преобразования солнечной энергии.

7. Разработка алгоритма управления каналом преобразования солнечной энергии, обеспечивающего максимум отдачи выходной мощности ГЭУ.

8. Сравнительный анализ систем ориентации гелиостата на Солнце и выбор наиболее рациональной системы.

9. Разработка методики выбора мощности и типа двигателя для систем ориентации ГЭУ.

10. Методика синтеза системы слежения, обеспечивающей необходимую точность ориентации.

Методы исследования выбирались исходя из поставленных задач. При обработке данных министерства энергетики Мали для составления типовых графиков энергопотребления использовались статические методы обработки информации. Расчет энергии Солнца, поступающей на ГЭУ с различными системами слежения потребовал применения законов небесной механики и законов прохождения света через прозрачные среды. При разработке моделей систем электрооборудования использовались методы теории электрических цепей и фундаментальные методы теории управления. Достоверность результатов аналитических исследований проверялась сопоставлением полученных результатов с результатами экспериментальных исследований,

выполненных другими авторами.

Перечень поставленных задач, определяет **основные положения диссертации**, выносимые на защиту:

1. Методика обоснования значений мощности для гаммы гелиоустановок, предлагаемых для широкого внедрения в энергетику Мали.
2. Результаты расчетов интенсивности солнечного излучения с учетом широты места и климатических особенностей Республики Мали.
3. Результаты сравнительного анализа годовых значений поступления солнечной энергии на поверхность гелиостата при различных системах их ориентации на Солнце и определение на их основе наиболее рациональной конструктивной компоновки ГЭУ.
4. Методика расчета характеристик фотомодулей при работе последних в широком температурном диапазоне и принципы объединения фотомодулей в фотобатареи при повышенных рабочих температурах и неравномерности нагрева поверхности фотомодулей.
5. Модель аккумуляторной батареи, представленную как нестационарное нелинейное звено с учетом температурного влияния окружающей среды.
6. Алгоритм компьютерного управления системой фотобатарея – силовой контроллер – аккумуляторная батарея – нагрузка, обеспечивающий максимальную отдачу выходной мощности ГЭУ.
7. Принцип дискретного позиционирования для системы ориентации гелиостата на Солнце, позволивший существенно удешевить и упростить используемые следящие системы.
8. Результаты расчета статических стационарных и нестационарных составляющих момента сопротивления гелиостата.
9. Результаты расчетов параметров регуляторов позиционно - следящего привода с использованием методики робастного синтеза и с учетом нелинейного момента сопротивления исполнительного механизма.

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующим:

1. Предложена методика линеаризации вольтамперной характеристики фотомодулей с учетом их температурного смещения, на базе которой разработана аналитическая модель фотобатереи в целом, позволяющая рассчитать текущую отдачу выходной мощности последней.

2. Разработана модель системы фотобатарея – регулятор – аккумуляторная батарея – нагрузка, позволившая выполнить программную оптимизацию выработки энергии.

3. Предложен позиционно-следящий принцип работы ГЭУ, реализуемый программной системой дискретного позиционирования СДП. Для обоснования принципа разработана оценки и выполнены исследования потерь энергии ГЭУ.

4. Предложена методика выбора мощности двигателя для СДП, включающая два основных положения: определение и оценки основных составляющих момента сопротивления сухого и вязкого трения и случайной составляющей ветровой нагрузки; выбора оптимального варианта передаточного отношения редуктора для альтернативных вариантов привода, определяющих допустимую максимальную скорость его вращения при аварийных ситуациях (сильном ветре), стоимость привода и режим его работы.

5. Видоизменена методика “динамического синтеза” В.А. Бесекерского и выполнены робастный синтез СДП с линеаризованной моделью исполнительного механизма, учитывающей влияния сухого и вязкого трения в элементах ГЭУ и подверженную влиянию случайных ветровых нагрузок с известными значениями математических ожиданий скорости ветра $\overline{V}(t)$, ускорения $\overline{\dot{V}}(t)$ и рывков $\overline{\ddot{V}}(t)$. При этом, использована модель привода без датчика обратной связи по скорости, настраиваемая на особый “асимметричный оптимум”.

<u>Практическая ценность.</u>

Результаты исследований могут быть использованы при реализации намеченных планов восстановления экономики и вывода страны из бедности правительством Республики Мали.

Создана методическая основа для осуществления проектов и разработок по использованию солнечной энергии на примере Мали для развивающихся стран.

Научно обоснована и разработаны принципы конструктивных компоновок ГЭУ и принципы управления системами электрооборудования, обеспечивающие максимальную отдачу энергии от ГЭУ.

Апробация.

Основные научные и практические результаты работы докладывались на межвузовских научных конференциях СПбГТУ «Неделя науки – 99», «Неделя науки – 2000», «Неделя науки – 2001», на научном семинаре кафедры “Системы автоматического управления” СПбГТУ, на V Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы (СПбГТУ, 2001) и на международном летнем семинаре “Nordic Network for Multi Disciplinary Optimised Electric Drives” (Denmark, Aalborg University, 2001).

Объем работы.

Диссертация содержит введение, четыре главы с материалами основных исследований, заключение, список литературы из 68 наименований и дополнительные материалы в виде 11 приложений.

Работы изложена на 235 листах машинописного текста, из них основная часть составляет 180 листов, и кроме того, содержит 60 рисунков и 25 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Первая глава посвящена анализу состояния энергетики Мали и выбору мощности гелиоустановок. Доказано, что вырубка древесины наносит большой экологический ущерб природе страны, является общественно-социальной проблемой, которая требует быстрейшего разрешения.

Показано, что малую долю (10%) в энергетике составляет производство электроэнергии гидро, тепловым и дизельным станциям страны. Отмечен износ большинства станций и плохое качество электроснабжения потребителей. Топливом для тепловых и дизельных станций являются привозные нефтепродукты, на импорте которых страна теряет до 27% экспортных доходов.

Отмечена тенденция развития автономных дизельных станций, что только усиливает зависимость страны от импорта нефтепродуктов.

Правительством Мали составлен план вывода страны из бедности, ориентированный на мелкое, частное производство в городе и деревне. Международное сообщество готово помочь финансированием, но отсутствие энергетической базы тормозит внедрение этого плана.

Предлагается развитие малой электроэнергетики на основе не используемой в настоящее время солнечной энергии.

Для выбора мощности гелиоэлектроустановок был проведен предварительный маркетинг – изучены графики энергопотребления различных массовых потребителей, определена их суточная потребность электроэнергии, оценена возможная выработка электроэнергии гелиоустановок различной мощности. Установлена, что для условий Мали требуется производство ряда гелиоустановок с мощностью от 0,5 кВт до 10 кВт.

Вторая глава. Состоит из двух частей. Первая часть имеет описательный характер, определяются угловые координаты, позволяющие оценить угол падения лучей на поверхность Земли при различном времени суток и сезонных углах склонения Солнца. Проведенные расчеты показывают

большой потенциал солнечной энергии в Мали, число солнечных дней превышает 320 в год, а продолжительность светового дня не меньше 10 часов даже в зимнее время.

Доказано, что на широте Мали (18° с.ш.) использование неподвижных гелиостатов приводит к снижению потока солнечной энергии на 40 ÷ 45% по сравнению с двухкоординатным слежением. Использование одноосного слежения практически не изменяет значений поступающей энергии в летние месяцы, но в зимние месяцы она снижается на 14,5%.

На основании технико-экономических расчетов было принято решение об использовании одноосной монтировки гелиоустановок. Для частичной компенсации зимнего снижения энергии предложено при монтаже установки наклонить ось ее вращения на угол γ, что разворачивает на юг плоскость гелиостата. Была решена оптимизационная задача по зависимости поступления солнечной энергии в год от угла наклона оси вращения установки $W_{год} = f(\gamma)$, рис.1.

Результаты расчета дает увеличение потока в зимние месяцы на 9,5% при $\gamma=12^o$, и в целом суммарный годовой поток возрастает на 4,3%. Рекомендовано применять это изменение конструкции для условий Мали при монтаже всех гелиоустановок с однокоординатным слежением.

Вторая часть посвящена выбору преобразователя солнечной энергии. Был выполнен сравнительный анализ различных типов преобразователей солнечной энергии. Доказано преимущество фотопреобразователей и показано, что на данном этапе развития технологии изготовления фотопреобразователей наиболее дешевыми и надежными являются фотоэлементы плоского типа на монокристаллическом кремния.

Фотомодули с использованием подобных фотоэлементов разработки российского института ВИЭСХ (ФСМ – 30 – 12) были приняты как базовые для использования в гамме разрабатываемых гелиоустановок.

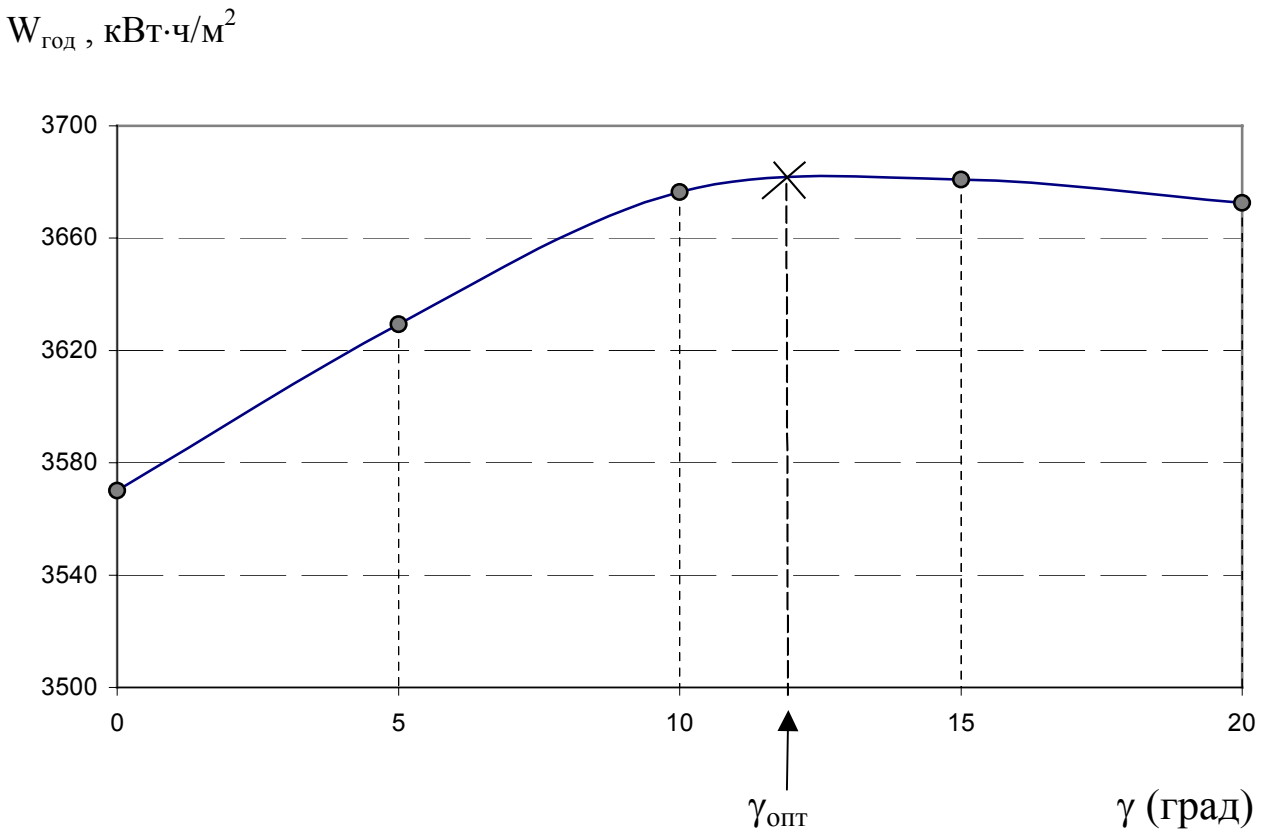

Рис.1. Зависимость удельной годовой энергии солнечной радиации от угла γ.

<u>Третья глава</u> посвящена рассмотрению канала преобразования солнечной энергии в электрическую, осуществляющему ее накопление, хранение и преобразование постоянного тока в переменный.

При разработке канала преобразования энергии решались, главным образом две задачи: влияние условий эксплуатации в Мали на работу системы и разработка системы управления, оптимизирующей выработку электроэнергии при переменном световом потоке.

Для получения фотобатареи требуемой мощности установок, было предварительно определено число последовательных и параллельных модулей. По типовым ВАХ модулей представленные на рис.2, были построены зависимости выходной мощности от тока модуля при переменном световом потоке ($P_{опті} = f(I_м)\big|_{E=var}$), имеющие явновыраженный максимум.

Для каждого значения светового потока E определены значения оптимального тока $I_{м.опт}$, при котором он отдает максимальную мощность.

Аналитическая зависимость $I_{м.опт}=f(E)$ устанавливается использованием метода квадратур. Выражение, обеспечивающее проведение аппроксимирующей кривой имеет вид:

$$F(x) = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{h} \cdot (x - x_0) + \frac{y_2 - 2 \cdot y_1 + y_0}{2! \cdot h^2} \cdot (x - x_0) \cdot [x - (x_0 + h)] + \\ + \frac{y_3 - 3 \cdot y_2 + 3 \cdot y_1 - y_0}{3! \cdot h^3} \cdot (x - x_0) \cdot [x - (x_0 + h)] \cdot [x - (x_0 + 2 \cdot h)] \quad (1)$$

В результате получим

$$I_{м.опт} = k_0 + k_1 \cdot E + k_2 \cdot E^2 + k_3 \cdot E^3. \quad (2)$$

Используя эту зависимость, была разработана система регулирования, обеспечивающая оптимальную отдачу мощности, функциональная схема которой представлена на рис.3.

На рисунке приняты обозначения: ИСИ – измеритель светового излучения; ФЭБ – фотобатарея; УМК – управляющий микроконтроллер; К – силовой контроллер-регулятор; ДТ1, ДТ2 – датчики тока.

Но ВАХ батареи не остаются постоянными. При изменении температуры окружающего воздуха, скорости ветра и его плотности меняется температура поверхности батареи $t_п$. По экспериментальным данным исследований фотомодулей ФСМ –30 –12, выполненных вблизи Ашхабада в условиях близких к условиям Мали специалистами ВИЭСХ установлено, что имеется существенное смещение ВАХ фотомодулей при повышенной температуре батарея как показано на рис.4.

Общие закономерности сдвига характеристики для фотоэлементов из монокристаллического кремния были получены в 1995 г. М.Я. Бакировым и в настоящее время они являются общепризнанными.

Из экспериментальных данных этого автора были получены соотношения

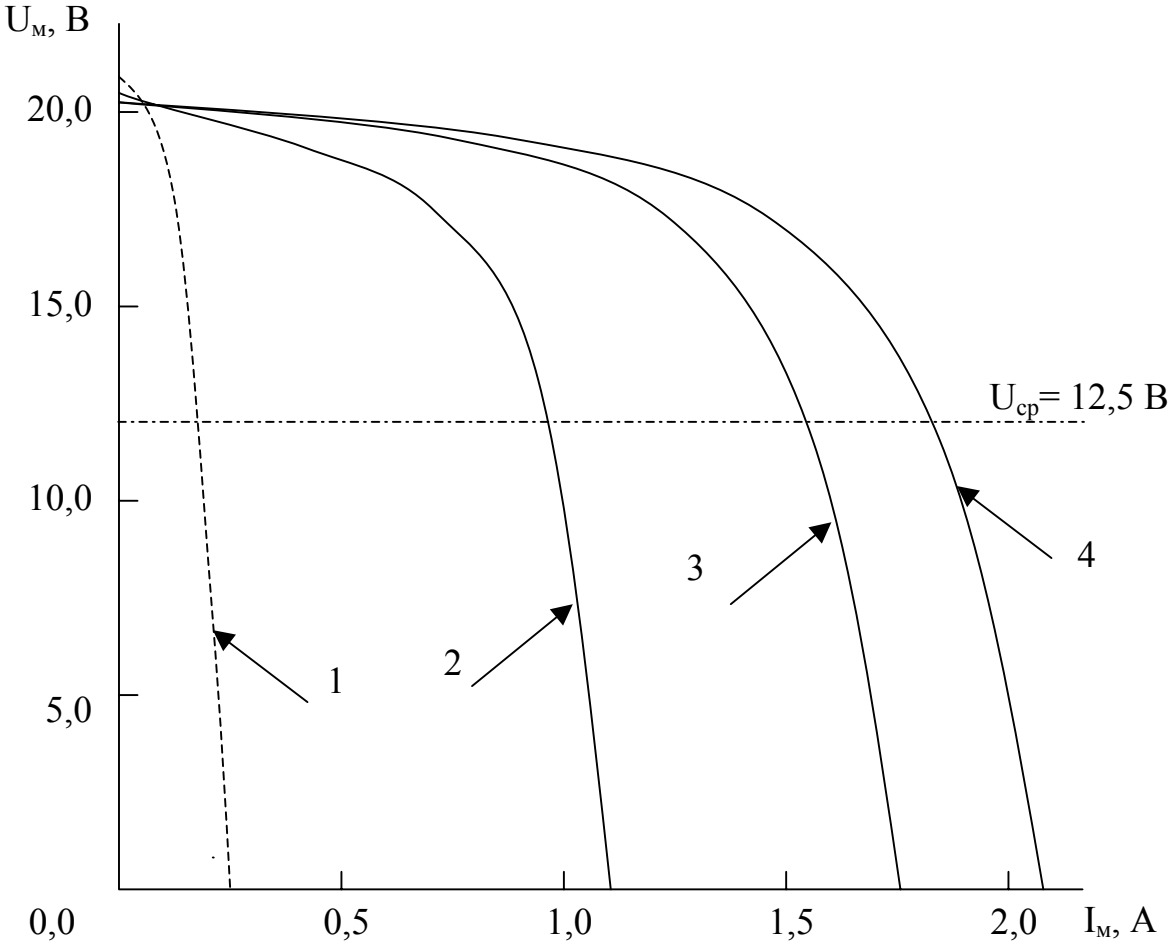

Рис.2. Семейство внешних вольтамперных характеристик модуля ФСМ-30-12 при средних и максимальных интенсивностях излучения Е: 1 – 200 Вт/м^2, 2 – 500 Вт/м^2, 3 – 800 Вт/м^2, 4 – 1000 Вт/м^2.

$$I_{кз}(t) = I_{кз}(10°C)\cdot(1 + k_{It}\cdot\Delta t_{п});$$

$$U_{xx}(t) = U_{xx}(10°C)\cdot(1 - k_{Ut}\cdot\Delta t_{п}); \qquad (3)$$

$$P_{вых}(t) = P_{вых}(10°C)\cdot(1 - k_{Pt}\cdot\Delta t_{п});$$

где $k_{It} = \dfrac{\Delta I}{I_{кз}(10°C)\cdot\Delta t_{п}} = (0{,}001 \div 0{,}0011)\ \dfrac{1}{°C}$,

$$k_{Ut} = \frac{\Delta U}{U_{xx}(10°C)\cdot\Delta t_{п}} = -(0{,}0048 \div 0{,}005)\ \frac{1}{°C},$$

$$k_{Pt} = \frac{\Delta P}{P_{вых}(10°C)}\cdot\Delta t_{п} = -0{,}0035\ \frac{1}{°C}.$$

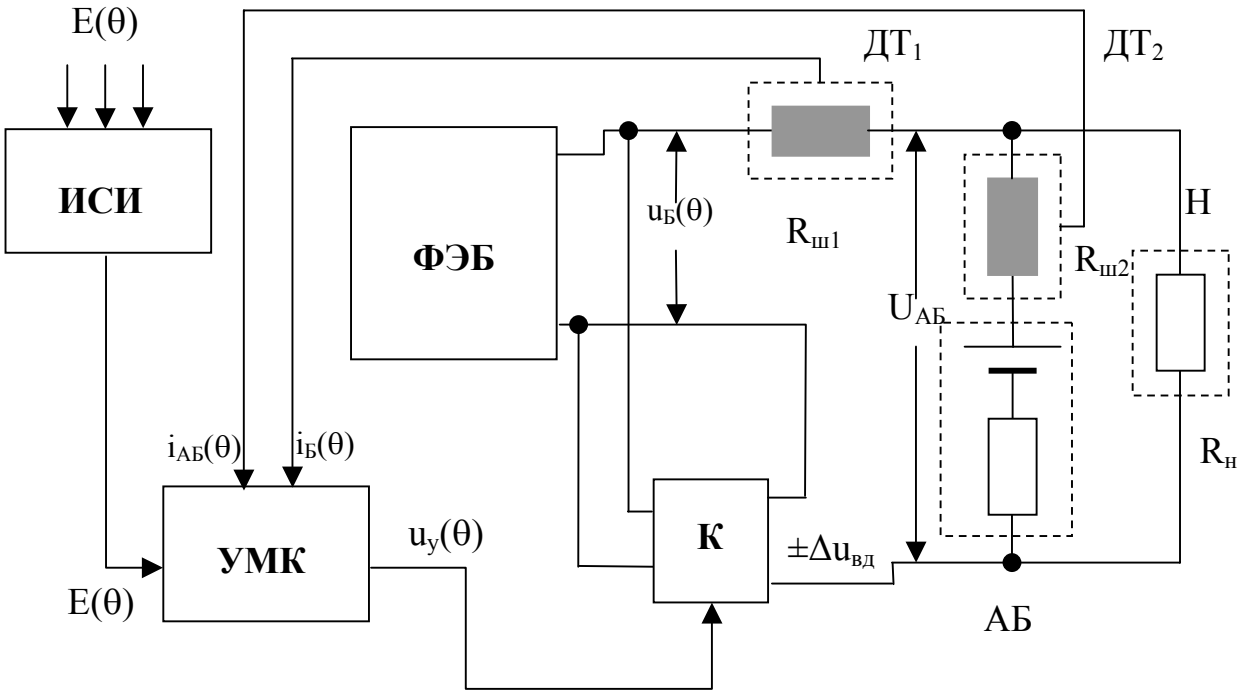

Рис.3. Блок-схема регулирования мощности, отдаваемой фотоэлектрической батареей.

Эти выражения позволяют рассчитать температурные сдвиги ВАХ фотомодулей и фотобатареи в целом. В результате разработана подпрограмма позволившая для каждой температуры поверхности батареи $t_п$ представить зависимости оптимального тока от светового потока $i_{Мопт}$= f(E) полином II-ого порядка,

$$I_{м\ опт\ i} = k_{0i} + k_{1i} \cdot E + k_{2i} \cdot E^2, \qquad (4)$$

где $k_0 = f_0(t_п)$, $k_1 = f_1(t_п)$, $k_2 = f_2(t_п)$.

По представленным соотношениям (3), (4) для любых соотношений температуры поверхности батарея $t_п$ и светового потока E можно найти значение $I_{Бопт}$ которое отрабатывается схемой регулирования.

Указанное влияние температуры на работу фотобатареи анализировались при неподвижном горизонтальном расположении гелиостата на поверхности земли. Однако, в ФЭУ, планируемых к использованию в условиях Мали, используется азимутальное слежение за Солнцем. Очевидно, что только в

полдень платформа гелиостата займет горизонтальное положение. Поэтому необходимо рассматривать и наклонные положения гелиостата.

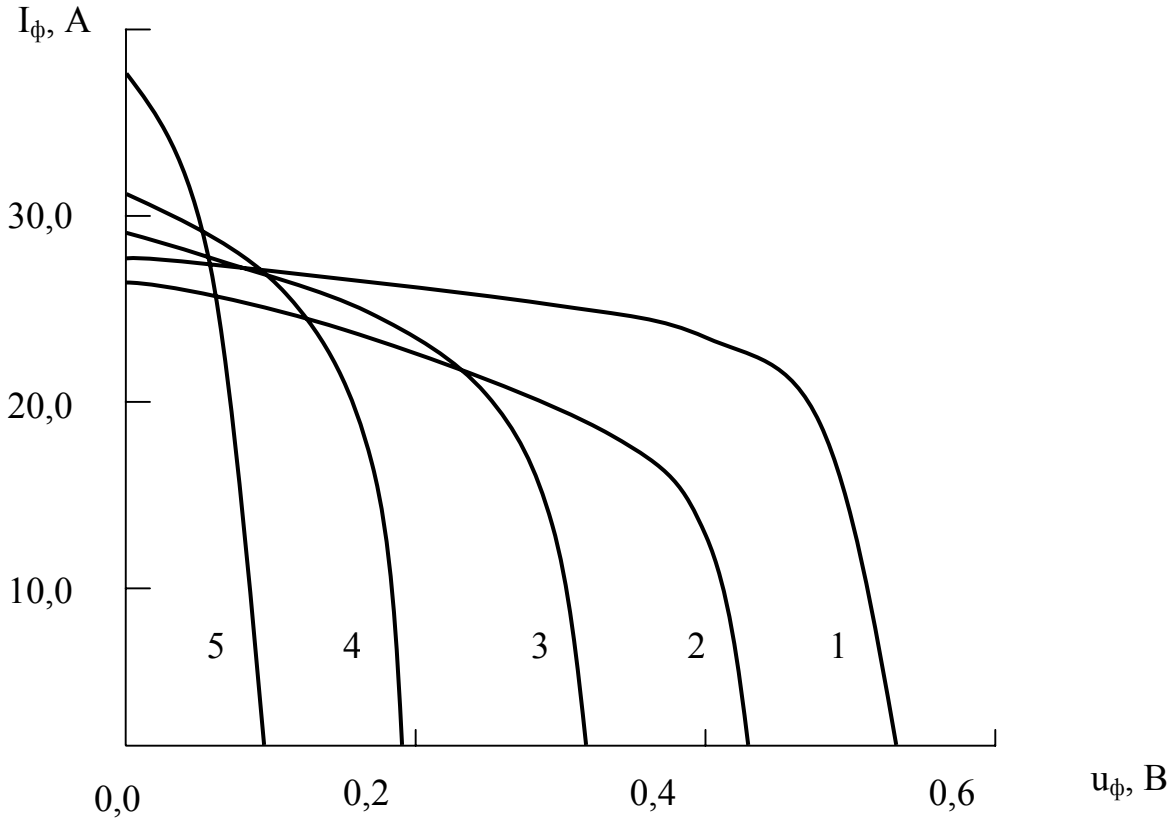

Рис.4. Вольтамперные характеристики кремниевых солнечных элементов, снятые при температурах 34(1),77(2),126(3),180(4),255(5) ºС при Е=1000 Вт/м^2.

При повороте гелиостата на угол Z по отношению к горизонту картина конвекционных потоков изменяется в отличие от горизонтального положения и самым нагретым окажется верхний край гелиостата, как при наклоне ее плоскости в восточном, так и в западном направлениях, рис.5. Это приводит к значительной неравномерности нагрева модулей.

Разработана также расчетная модель аккумуляторного батарея, позволяющая по текущим значениям сообщенного (отданного) заряда и по напряжению и температуре электролита, диагностировать состояние батареи и оценить меняющиеся во времени значения е.д.с. $E_{АБ}(\theta)$ и внутреннего сопротивления $R_{ВН}(\theta)$. Разработка этой модели, являющаяся составной

частью общей системы управления и защиты, позволила перейти к анализу системы “фотобатарея – аккумуляторная батарея – нагрузка”.

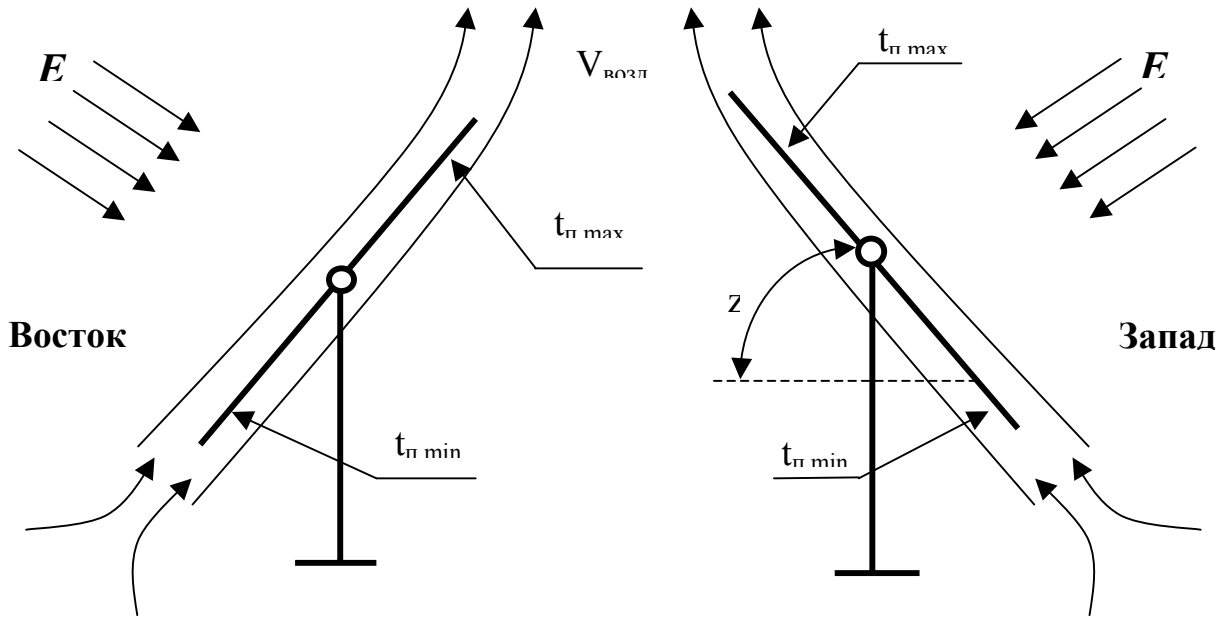

Рис.5. Охлаждающие воздушные потоки при наклоне платформы ФЭУ к горизонту.

Доказано, что при предельных температурах поверхности фотобатареи ВАХ фотомодулей может сместиться ниже уровня е.д.с. $E_{АБ}(\theta)$ аккумуляторной батареи. При этом процесс отдачи энергии от фотомодуля в аккумуляторную батарею прекращается. Это явление названо энергетическим опрокидыванием системы фотобатарея – аккумуляторный батарей (ФБ – АБ). Выходом из этого положения может быть только увеличение числа последовательных модулей при сокращении числа параллельных цепей.

Неравномерность нагрева модулей в фотобатарее (до 25°) вызывает необходимость для выравнивания режимов последовательных цепочек при предельных рабочих температурах воздуха $t_{возд}$ (для Мали 40 – 45°C) подбирать соединения модулей особым образом, так чтобы у модулей во всех последовательных цепочках средняя температура модулей $t_{мср}$ была бы приблизительно одинакова. Были разработаны рекомендации по соединению

модулей в последовательной цепочки для работы в условиях предельных температур батареи $t_п$.

С учетом этих расчетов были уточнены схемы соединения модулей в фотоэлектрических батареях для установок различной мощности при рабочих и предельных температурах. В работе даются примеры соединения последовательных модулей для установки ФЭУ – 1000.

Был разработан алгоритм для управляющего микроконтроллера УМК позволяющий обеспечить максимальную отдачу мощности от фотоэлектрического батарея в аккумуляторную батарею и нагрузку при изменениях мощности солнечного потока, температуры поверхности батареи, степени заряженности аккумуляторной батареи и мощности, отдаваемой в нагрузку.

Четвертая главе посвящена разработке и исследованию следящих систем (СС) для гелиоустановок. Проведен анализ разновидностей и основных свойств существующих СС. Отмечена сложность их конструкций, вызванная требованиями точности слежения. Это определяет высокую стоимость изготовления установки.

Доказано, что при отклонении положения гелиостата от оптимального (когда солнечные лучи перпендикулярны его плоскости) на $(12 – 15)^o$, поток солнечной радиации ослабляется не более, чем на (3 – 4)%. Поэтому с целью увеличения и упрощения привода предложен принцип программно-дискретного слежения за Солнцем, реализуемый системой дискретного позиционирования (СДП).

Сущность этого принципа управления состоит в том, что гелиостат длительное время $\theta_Н$ остается неподвижным. Лишь через заданный промежуток времени управляющим микроконтроллером УМК включается двигатель привода и разворачивает установку на заданный угол.

Для поворота используется система штормового разворота, которая, благодаря большой мощности двигателя, разворачивает установку на

требуемый угол за малое время включения $\theta_{ВКЛ}$. Среднее потребления энергии приводом оказывается малым.

Наилучшим алгоритмом управления оказался тот, при котором отставание и опережение оси гелиостата и направления солнечных лучей составляет половину угла поворота за время цикла $\theta_Ц$ ($\theta_Ц = \theta_Н + \theta_{ВКЛ}$).

Были выполнены расчеты взаимосвязи между длительностью времени цикла $\theta_Ц$ и среднесуточной энергией, вырабатываемой гелиостатом при непрерывном и дискретном повороте. Оценкой этой взаимосвязи является коэффициент среднесуточного снижения энергии ξ.

$$\xi = \frac{\left|W_{СДП} - W_{НЕПР}\right|}{W_{НЕПР}} 100\,\% \ . \qquad (5)$$

Зависимость $\xi = f(\theta_Ц)$ показана на рис.6.

На основании анализа результатов принято решение об использовании при СДП времени цикла, равного $\theta_Ц$ = 2 часа, что снижает поступление солнечной энергии лишь на 1%.

Для выбора “штормового” двигателя, проведены расчеты составляющих статического момента, воздействующих на гелиостат. Основным оказался ветровой момент, имеющий случайный характер и детерминированный момент сухого трения; определен коэффициент вязкого трения $k_в$ для вентиляционной и опрокидывающей составляющих моментов сопротивления для исполнительного механизма. В результате расчетов, построены зависимости потребляемой мощности двигателя для ГЭУ различной мощности при характерных скоростях ветра для песчаных бурь (диапазон 12÷20 м/с) рис.7. Это является первым положением выбора двигателя.

Среднее суточное потребление энергии при использовании СДП составляет не более 10% от количества энергии, вырабатываемой ГЭУ. В то же время при аварийном режиме, v_3 =20 м/с, мощность ветровых нагрузок в 10 раз больше, чем установленная мощность гелиоустановки. Следовательно,

рекомендуется выполнять аварийное включение привода только по направлению действия ветра при СДП.

Проведен расчет оптимального передаточного отношения редуктора для альтернативных вариантов привода. Это является вторым обязательным положением выбора мощность СДП.

Изменена методика и выполнен робастный синтез СДП с нелинейной и линеаризируемой математической моделью упруго – диссипативного кинематического механизма (редуктор – механизм вращения платформы ГЭУ).

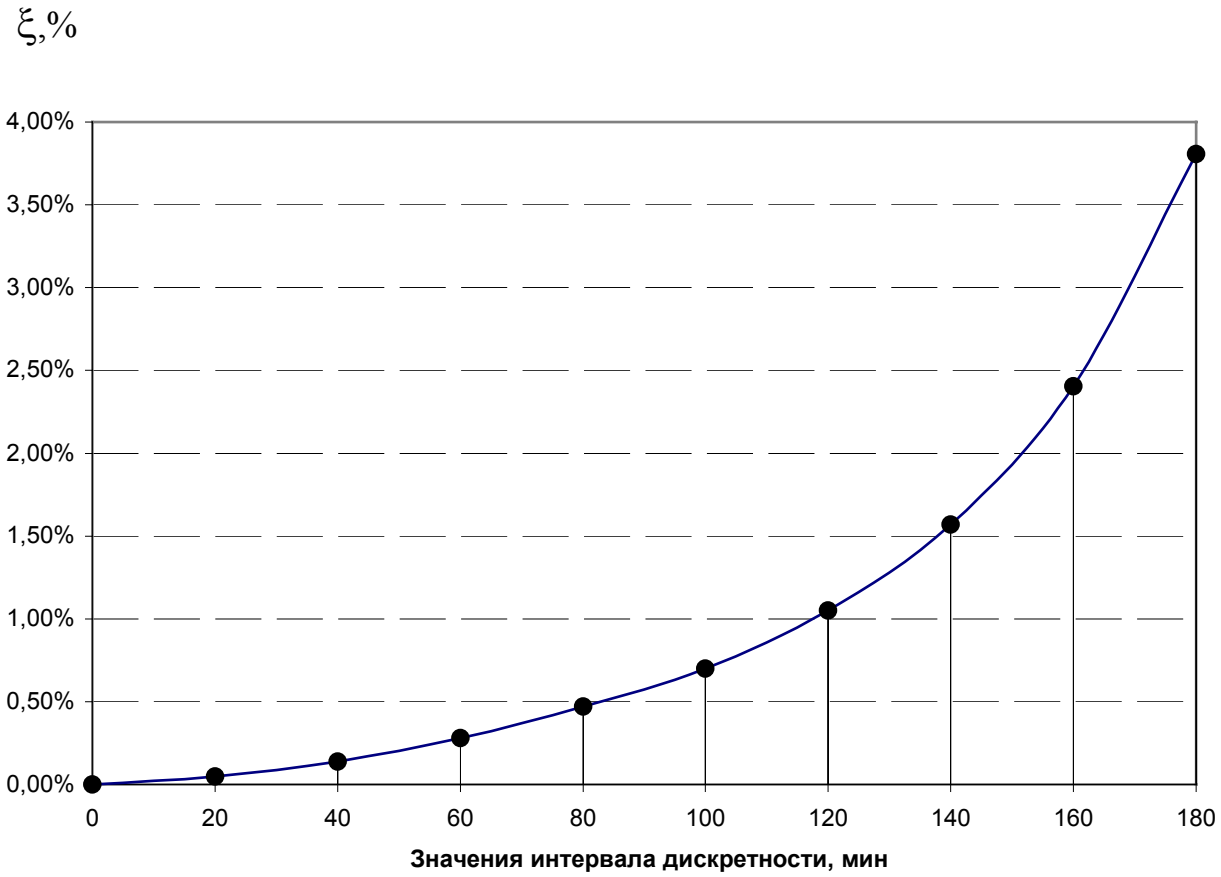

Рис.6. Зависимость коэффициента снижения энергии Солнца ξ от времени цикла $\theta_ц$ при использовании СДП.

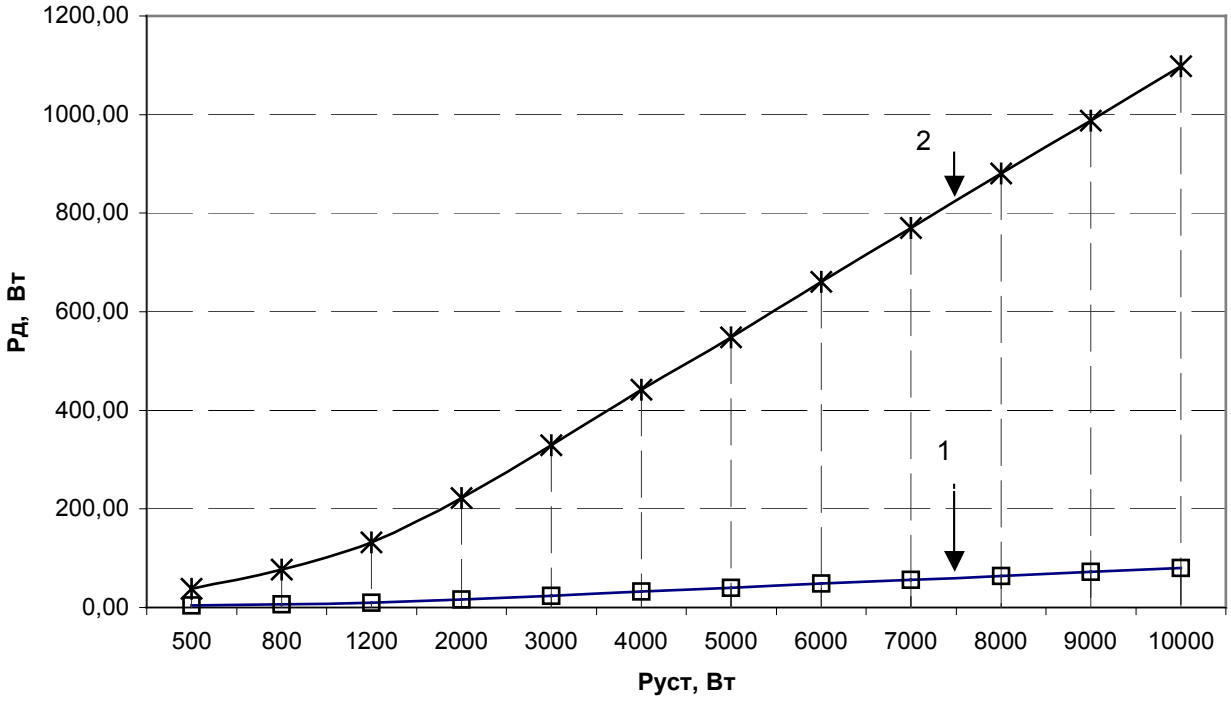

Рис.7. Зависимость потребляемой мощности двигателя от мощности ГЭУ при СДП: 1 – при скорости ветра v_1 =12 м/с, 2 – при скорости ветра v_2 =20 м/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ состояния энергетики Мали подтвердил актуальность научных разработок, посвященных использованию солнечной энергии для этой страны.

2. Доказано, что суммарная годовая энергия Солнца, поступающая на 1 м^2 гелиостата возрастает на 40% при одноосном слежении по сравнению с неподвижным горизонтально ориентированным гелиостатом и 44,5% для гелиостата с двухосным слежением. Технико-экономические оценки доказывают целесообразность использования ГЭУ с одноосным слежением для условий Мали. Для частичной компенсации снижения выработки энергии в зимнее время при одноосном слежении, разработана методика нахождения

оптимального значения угла наклона $\gamma_{опт}$ оси вращения гелиостата, осуществляемого при монтаже установки.

3. На базе сравнительного анализа технических параметров фотоэлементов и фотомодулей, выпускаемых различными фирмами принято решение базироваться при разработке планируемой гаммы ГЭУ ориентироваться на фотомодуль ФСМ-30-12 российского производства.

4. Базируясь на экспериментальных данные, полученные специалистами ВИЭСХ, создана методика расчета параметров фотомодулей при предельных температурах их поверхностей, что характерно для климатических условий Мали. На базе этой методики, аналитически, выявлена возможность потери работоспособности фотобатареи при ее работе на аккумуляторную батарею в условиях предельно высоких температур.

5. Предложена математическая модель системы фотоэлектрическая батарея – аккумуляторная батарея, позволяющая найти оптимальный режим работы фотобатареи и ее конфигурацию в условиях переменных значений солнечной радиации и нагрева поверхности фотобатареи, и обеспечить максимум отдачи мощности.

6. Разработана функциональная схема системы "фотобатарея - силовой регулирующий контроллер - аккумуляторная батарея - нагрузка" с управлением от микроконтроллера, реализующая разработанный алгоритм управления.

7. Предложен позиционно-следящий принцип работы ГЭУ, реализуемый программной системой дискретного позиционирования СДП. Для обоснования принципа разработана оценки и выполнены исследования потерь энергии ГЭУ, иллюстрируемые графиком, приведенным на рис.6.

8. Предложена методика выбора мощности двигателя для СДП, включающая два основных положения: определение и оценки основных составляющих момента сопротивления сухого и вязкого трения и случайной составляющей ветровой нагрузки; выбора оптимального варианта

передаточного отношения редуктора для альтернативных вариантов привода, определяющих допустимую максимальную скорость его вращения при аварийных ситуациях (сильном ветре), стоимость привода и режим его работы.

9. Видоизменена методика “динамического синтеза” В.А. Бесекерского и выполнены робастный синтез СДП с линеаризованной моделью исполнительного механизма, учитывающей влияния сухого и вязкого трения в элементах ГЭУ и подверженную влиянию случайных ветровых нагрузок с известными значениями математических ожиданий скорости ветра $\overline{V}(t)$, ускорения $\overline{\dot{V}}(t)$ и рывков $\overline{\ddot{V}}(t)$. При этом, использована модель привода без датчика обратной связи по скорости, настраиваемая на особый “асимметричный оптимум”.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в работе:

1. Катиле К., Курмашев А.Д. Автономные электроустановки с возобновляемыми источниками энергии в условиях Мали. // Материалы межвузовской научной конференции. «Неделя науки – 1999». – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000, с.106-107.

2. Катиле К., Курмашев А.Д. Анализ схемных вариантов автономных гелиоэлектрических установок. // Материалы межвузовской научной конференции. «Неделя науки – 2000» . – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001, с.121-122.

3. Катиле К., С.А. Ковчин. О выборе электродвигателя автономных гелиоэлектрических установок. // Фундаментальные исследования в технических университетах: Материалы V Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001, с.219-220.

4. Katile K., Kovchin S.A. Particularity for the selection of electric motors for stand-alone solar installation. //Proc. "Nordic Network for Multi Disciplinary Optimised Electric Drives. “Summer Seminar at Skagen. 12-14 Aug. 2001”.- Aalborg: Aalborg University, 2001, p.53-55.

5. Катиле К., С.А. Ковчин. Требования к следящим системам гелиоустановок. // Материалы межвузовской научной конференции. «Неделя науки – 2001». – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002, с.79-80.