Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Зенченко Артем Сергеевич

Исследование системы позиционирования солнечных панелей

Направление подготовки

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Коротченко
Лариса Никитовна
Проверено
30.03.2024 Зачтено Библиотека

2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Научный руководитель	Кандидат технических наук, доцент кафедры Черный Сергей Петрович
Рецензент	Кандидат технических наук, главный инженер, ООО «Одиссей-ДВ» Бакаев Виктор Викторович

Защита состоится «15» марта 2024 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Автореферат разослан 1 марта 2024 г.

Секретарь ГЭК А.В. Бузикаева

На сегодняшний день сохраняется проблема обеспечения электроэнергией потребителей, отдалённых от централизованной системы энергоснабжения, обусловленная значительной удалённостью, труднодоступностью и изолированностью данных потребителей. При этом в энергетическом обеспечении отдалённых и труднодоступных регионов России большая роль принадлежит малой энергетике, которая обеспечивает электрической и тепловой энергией 70 % территории страны. Из года в год наблюдается всё большая тенденция роста стоимости добычи ископаемых природных ресурсов и производства электрической энергии, а значит использовать альтернативные – возобновляемые источники электроэнергии (ВИЭ) более целесообразно. ВИЭ сегодня – это наиболее успешно развивающееся направление в электро и теплоэнергетике. Возобновляемые ресурсы имеют большое значение в децентрализованных системах электроснабжения, характерных для значительных территорий России и других стран.

Целью данной работы является разработка и исследование энергосберегающей системы ориентации солнечных батарей.

Основной задачей данной магистерской диссертации является повышение энергетической эффективности технологического процесса производства электрической энергии АФЭУ путем разработки автоматизированной системы управления, обеспечивающей за счет слежения за Солнцем максимальную энергетическую эффективность солнечных батарей при минимизации энергопотребления на слежение и управление при учете возмущающих воздействий, в том числе ветровой нагрузки.

Объектом исследования в работе являются фотоэлектрические энергоустановки малой мощности. Предмет исследований – является автоматическая система управления слежения солнечных батарей за солнцем с использованием шаговых двигателей и датчиков солнца.

Методика выполнения работы базировалась на применении математического и физического моделирования. В теоретических

исследованиях применялись аналитические и численные методы расчёта. Постановка и обработка численных экспериментов велась с применением ЭВМ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– разработана АСУ слежения солнечных батарей за солнцем с использованием шаговых двигателей и датчиков положения солнца.

– разработан алгоритм управления двух координатной системой слежения при учете внешних возмущений, в том числе действия ветровой нагрузки, и исследования ее динамических характеристик;

– созданы и реализованы модели процессов в объекте исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, определены цели и задачи диссертационного исследования, а также методы исследования, благодаря которым решены поставленные задачи, отражена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведена общая характеристика и структура диссертации, а также производится определение объекта и предмета данного исследования.

В первой главе рассмотрены технические характеристики известных фотоэлектрических энергоустановок с автоматизированным слежением солнечных батарей за солнцем и их составных частей. Выполнен анализ структур АСУ слежения АФЭУ за солнцем (рисунок 1), и рассмотрены разновидности датчиков положения солнце в автономных фотоэлектрических установок.

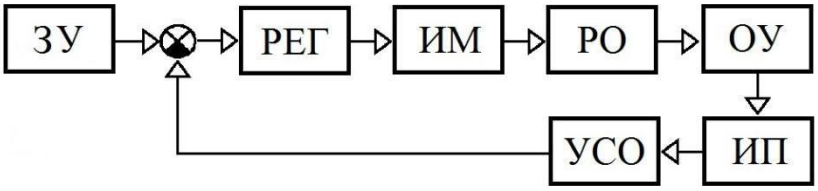


Рисунок 1 – Функциональная схема АСУ

Представлено влияние ветровой нагрузки на автономную фотоэлектрическую энергетическую установку, особенности структур систем слежения, учитывающих влияние ветровой нагрузки. Приведены требования к системам слежения автономных фотоэлектрических энергетических установок как объекта АСУТП.

Для АФЭУ мощностью 3–5 кВт целесообразно использовать в электромеханических исполнительных механизмах шаговые двигатели, в системе слежения за Солнцем целесообразно использовать двух координатный датчик положения Солнца на основе фотоэлементов, обеспечивающих заданную точность и эффективность слежения. Структура АСУ слежения СБ за Солнцем должна обеспечивать непрерывно-дискретное слежение с регулируемым циклом перемещения и иметь нелинейный алгоритм слежения СБ за Солнцем.

Вторая глава посвящена исследованию и разработке АСУ слежения СБ за солнцем с использованием шаговых двигателей и датчиков положения Солнца. Исследование и разработка функциональной и структурной схемы системы слежения солнечных батарей за Солнцем построена на основе принципа непрерывно-дискретного перемещения в режиме слежения (рисунок 2).

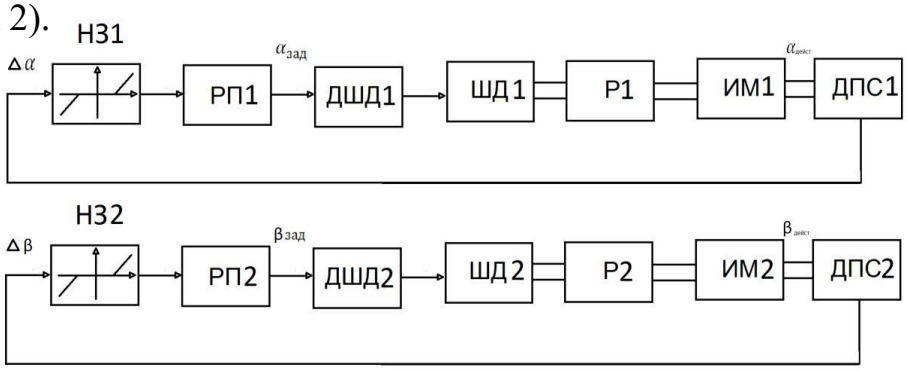


Рисунок 2– Функциональная схема системы слежения с ШД

Исходя из требований к системе слежения СБ за Солнцем, разработанной структурной и функциональной схем АСУ слежения для АФЭУ определена двухцелевая задача создания управления системой слежения СБ за Солнцем, обеспечивающей: слежение за Солнцем по двум

координатам с заданной точностью, и минимизацию энергопотребления электромеханическим исполнительным механизмом с ШД при слежении.

Произведено исследование и разработка алгоритма слежения солнечных батарей за Солнцем с использованием датчика положения Солнца (рисунок 3).

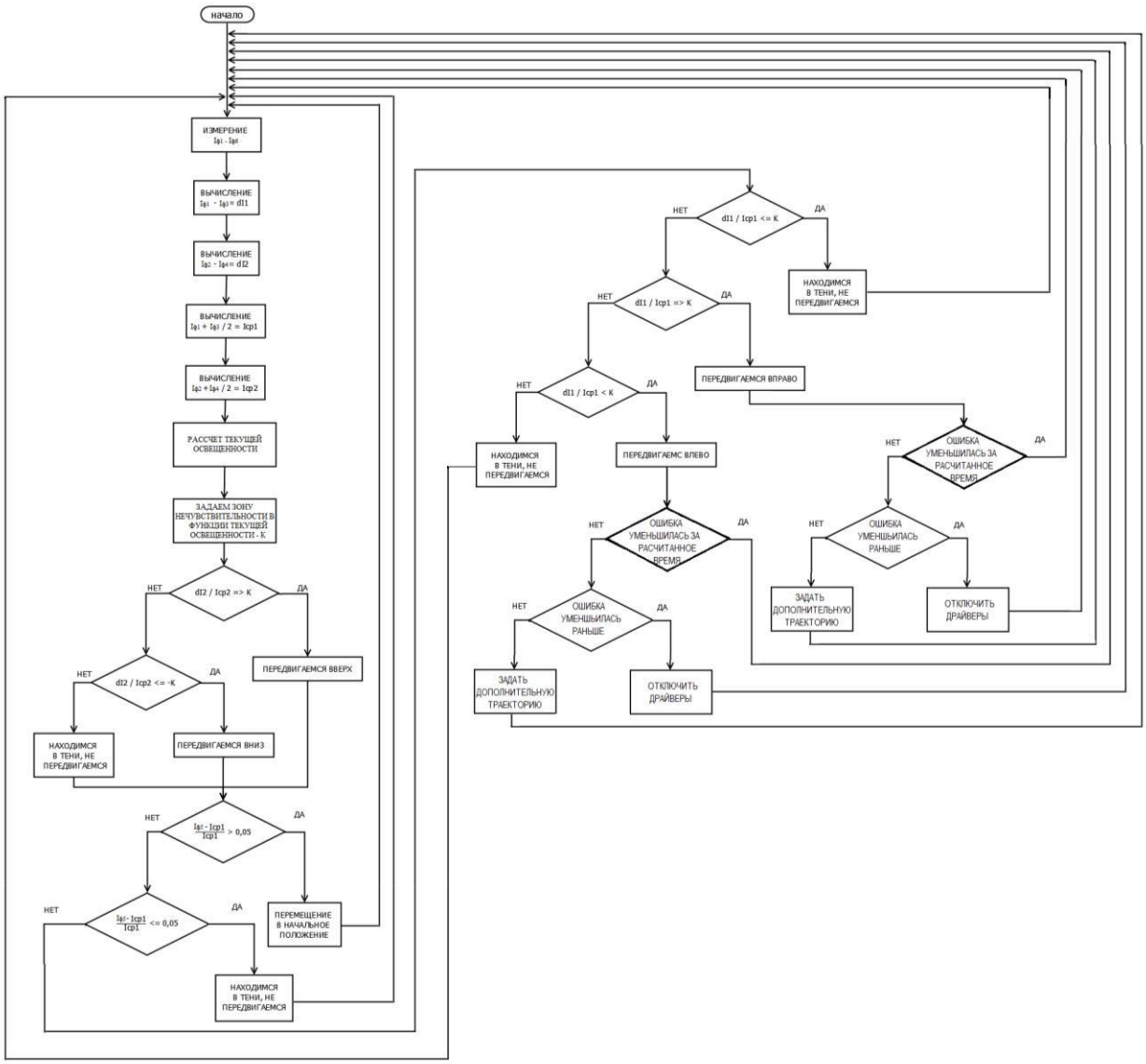


Рисунок 3 – Алгоритм слежения за Солнцем

Для минимизации энергопотребления ШД при непрерывно-дискретном слежении СБ за Солнцем в системе предлагается после осуществления цикла перемещения СБ выключать силовые драйверы ШД и исключать потребление энергии ШД при отсутствии перемещения. Результаты цифрового моделирования следяще-позиционной системы показали, что в

системе слежения обеспечивается заданная точность позиционирования без перерегулирования по положению.

В третьей главе произведен расчет изменения момента инерции для установок АФЭУ-0,5 и АФЭУ-1 по азимуту при крайних положениях рамы по углу места. Эскизы двух механических конструкций АФЭУ показаны на рисунке 4.

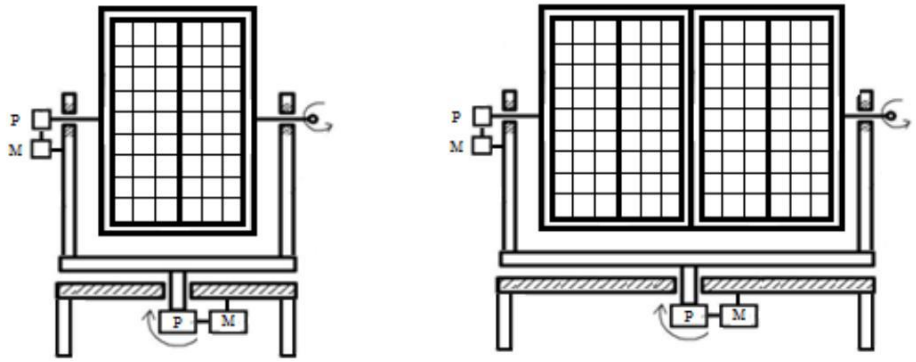


Рисунок 4 – Эскизы механических конструкций АФЭУ

Конструкция состоит из неподвижного основания; подвижного основания, приводимого в движение электромеханической системой азимутального вращения; двух стоек; рамы с закреплёнными на ней двумя СБ (или четырьмя СБ), приводимой в движение электромеханической системой слежения по углу места. При действии ветровой нагрузки на раму с СБ в АФЭУ присутствует нелинейный момент нагрузки, который возрастает по квадратичному закону от величины скорости ветра. Из таблицы 1 видно, что моментные характеристики ШД носят нелинейный характер и с превышением частоты 3000 Гц существенно уменьшаются. Также уменьшается развиваемый момент ШД при повышении момента инерции нагрузки.

Таблица 1 – Моментные характеристики двигателя ШД-5Д

Частота управляющих импульсов, Гц	Вращающий момент нагрузки (Н·м) при различных моментах инерции нагрузки (кг·м^2)		
	$2\cdot10^{-6}$ кг·м^2	$4\cdot10^{-6}$ кг·м^2	$8\cdot10^{-6}$ кг·м^2
400	0,35	0,3	0,25
800	0,4	0,35	0,3
1000	0,45	0,4	0,35
1500	0,48	0,42	0,4
2000	0,5	0,45	0,4
4000	0,29	0,28	0,24
6000	0,2	0,15	0,12
8000	0,1	0,1	0,07
16000	0,1	0,1	0,07

Предлагается алгоритм регулирования амплитуды тока в ШД в функции от косвенной ошибки сигнала по положению и ее производной в системе слежения СБ за Солнцем, а именно в функции от разности токов в противоположных гранях фотоэлементов ДПС и ее производной. На рисунке 5 показана предлагаемая функциональная схема контура управления током электромеханического исполнительного механизма (для одной координаты) в функции от разности токов в противоположных гранях фотоэлементов ДПС (косвенной ошибки по положению) и ее производной.

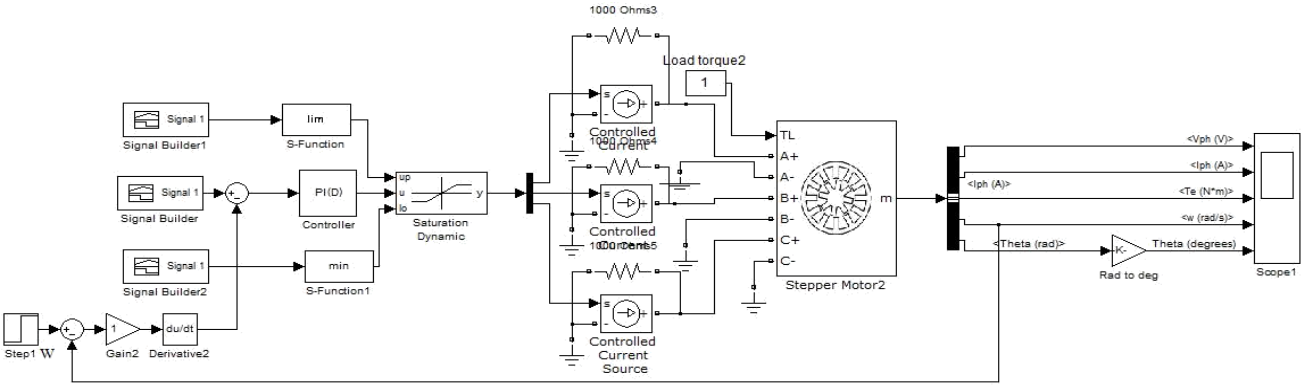


Рисунок 5 – Функциональная схема контура управления током электромеханического исполнительного механизма

Исследование динамических характеристик электромеханической системы слежения с ШД, влияния нагрузки на характеристики системы слежения, влияния переменного момента инерции, зависимости динамических характеристик от применения различных регуляторов и нелинейного задатчика интенсивности проводилось путем моделирования системы слежения с ШД в MATLAB (Simulink). На рисунке 6 показана структура модели контура регулирования амплитуды тока (согласно рисунку 5), разработанная в MATLAB (Simulink)

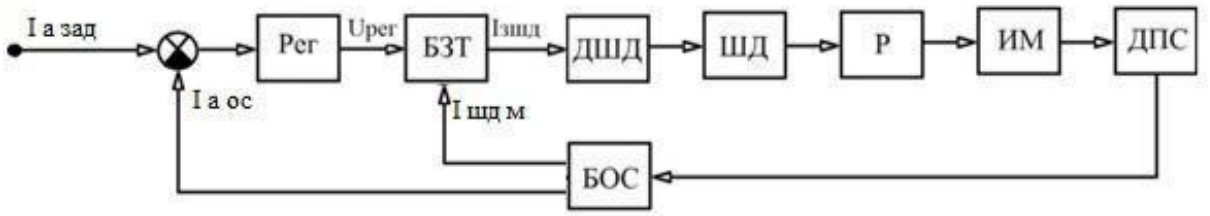
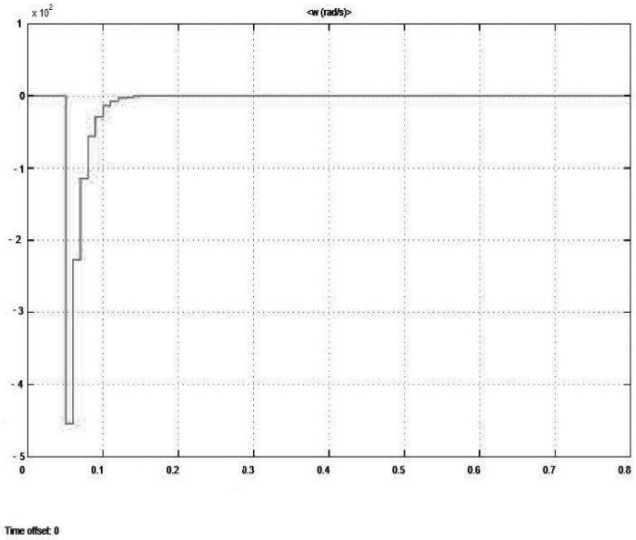
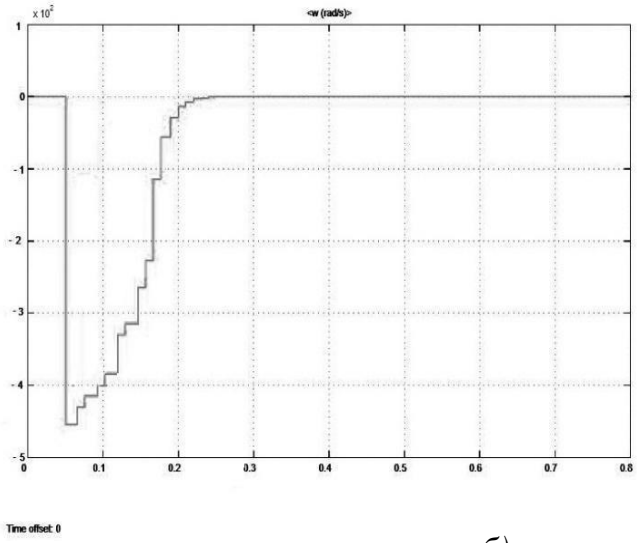


Рисунок 6 – Структура модели контура регулирования амплитуды тока

На рисунке 7 *а* приведен график скорости вращения при отработке перемещения при нагрузки 0,5 номинального значения; рисунке 7 *б* приведен график скорости вращения при отработки перемещения при номинальной нагрузке.



а)



б)

Рисунок 7 – Динамические характеристики

На рисунке 8 приведены динамические характеристики системы (отработка заданного перемещения с дополнительным контуром регулирования с ПИ-регулятором с нелинейным задатчиком интенсивности на входе), полученные на цифровой модели при различных моментах нагрузки, причем рисунок 8 *а,б* – нагрузка номинальная; рисунок 8 *в,г* – нагрузка двукратная от номинальной. Из результатов экспериментов на цифровой модели видно, что система регулирования с ПИ-регулятором с нелинейным задатчиком интенсивности на входе отрабатывает нагрузку до 2 $I_{\text{Н}}$ (до трехкратного увеличения от рекомендованной нагрузки в ШД за счет увеличения амплитуды тока ШД.

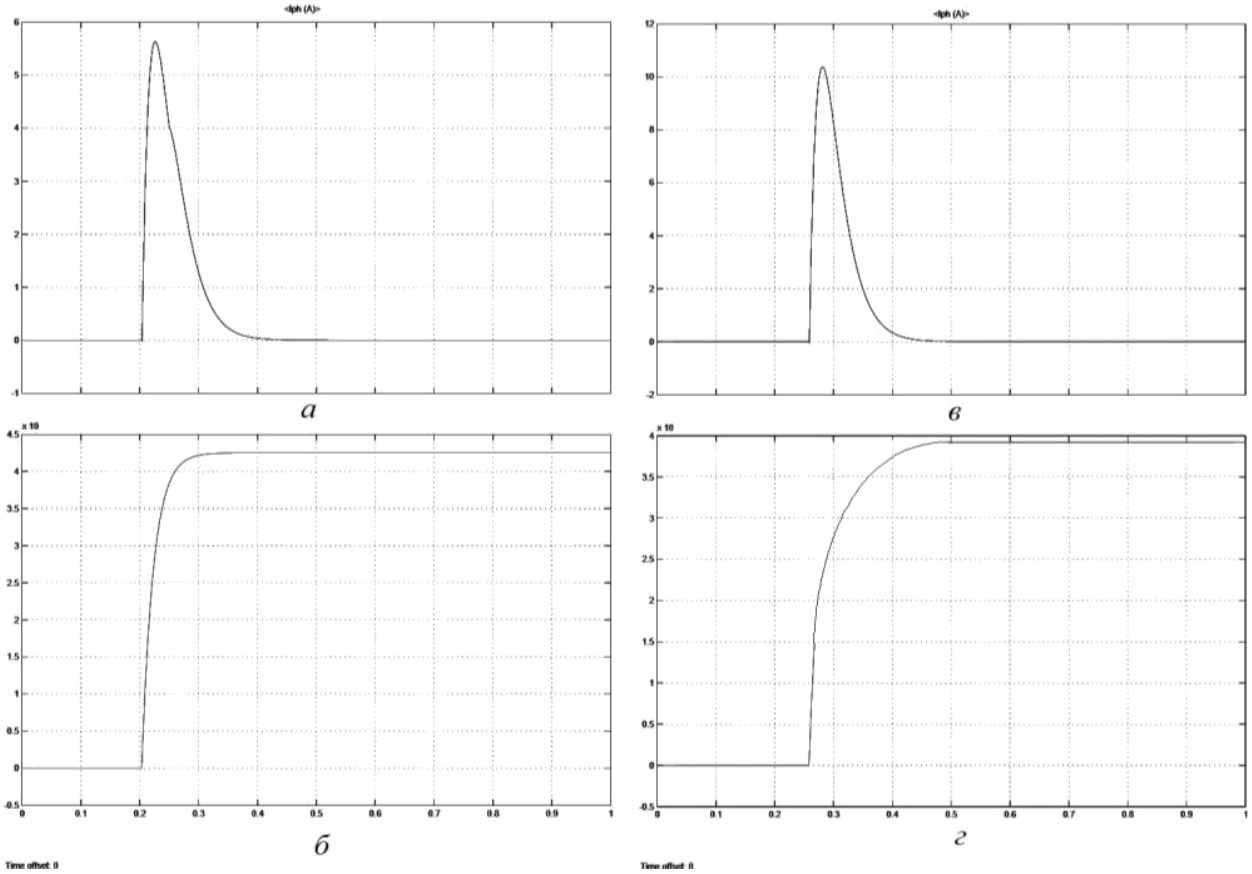


Рисунок 8 – Динамические характеристики

Заключение и выводы

Для повышения энергетической эффективности производства электрической энергии в АФЭУ разработана АСУ слежения СБ за Солнцем с непрерывно-дискретным принципом слежения, позволяющая создавать новые фотоэлектрические энергоустановки, реализующие максимальную эффективность производства энергии за счет обеспечения заданной точности слежения при минимизации затрат электрической энергии при слежении за Солнцем.

Предложена структура АСУ с непрерывно-дискретным слежением АФЭУ за Солнцем с регулируемым дискретным шагом перемещения при слежении в функции текущей освещенности, обеспечивающая заданную точность слежения, повышение энергетической эффективности солнечных батарей.

Предложена функциональная схема и алгоритм слежения АФЭУ за Солнцем, включающие релейный регулятор положения с нелинейной

характеристикой зоны нечувствительности, изменяющейся в зависимости от текущей освещенности, и коррекцией заданной траектории позиционирования в АФЭУ в зависимости от ошибки слежения, обеспечивающие поддержание заданной точности слежения при изменении текущей освещенности и внешних условий.

Разработана цифровая модель элементов системы слежения с электромеханическим исполнительным механизмом с ШД, позволяющая исследовать динамические и энергетические характеристики системы слежения, в том числе при изменении момента нагрузки и момента инерции механизма.

Для минимизации энергопотребления электромеханическим исполнительным механизмом с ШД при непрерывно-дискретном слежении СБ за Солнцем предложено после осуществления цикла перемещения СБ выключать силовые драйверы ШД, использовать червячный редуктор в механической системе перемещения и обеспечить расположение центра масс рамы с СБ соосно с осью вращения.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1 Бузикаева А.В., Павлов В.В., Зенченко А.С. Интеллектуальная система управления водогрейным котлом ДКВР/ В сборнике: Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях. Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 12-14.

2 Бузикаева А.В., Зенченко А.С., Павлов В.В. Реализация процедур управления в системе с двухзонным регулированием на основе интеллектуального подхода / В сборнике: Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях. Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 9-11.

3 Бузикаева А.В., Ковылин С.Б., Зенченко А.С., Черный С.П. Интеллектуальная система управления технологическим процессом пиролиза древесины / В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 4-х частях. Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 11-13.