

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.031.03,

СОЗДАННОГО НА БАЗЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Воронежский государственный технический университет»,

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Воронежский государственный университет»,

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Липецкий государственный технический университет»,

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,

ПО ДИССЕРТАЦИИ

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 07.04.2023г. № 57

О присуждении Белоусовой Олеся Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Автоматизация технологического процесса нанесения фоторезиста на основе моделей и методов цифрового управления» по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами принята к защите 03.02.2023 (протокол заседания № 55) диссертационным советом 99.2.031.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж, ул.20-летия Октября, 84, приказ №1328/нк от 25.10.2016 г.

Соискатель Белоусова Олеся Владимировна, 26 ноября 1984 года рождения, в 2007 году окончила ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет» по специальности «Роботы и робототехнические системы». Профессиональную деятельность Белоусова О.В. начала в 2007 г. с должности ассистента кафедры электроэнергетики НОУ ВПО «Международный институт компьютерных технологий», в 2012 г. переведена на должность старшего преподавателя кафедры электроэнергетики НОУ ВПО «Международный институт компьютерных технологий». В настоящее время работает в должности старшего преподавателя кафедры электроэнергетики автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Международный институт компьютерных технологий».

Диссертация выполнена на кафедре электроэнергетики автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Международный институт компьютерных технологий», подведомственной Министерству науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Анненков Андрей Николаевич, автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Международный институт компьютерных технологий», проректор по научной работе.

Официальные оппоненты:

Кудинов Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», кафедра информатики, заведующий кафедрой;

Кудряшов Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий», кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, профессор,
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов), в своем положительном отзыве, подписанном Дмитриевским Борисом Сергеевичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Информационные процессы и управление», указала, что диссертация Белоусовой О.В. является законченным научным исследованием, имеющим существенное значение для российской промышленности. Тема диссертации является актуальной, научные положения и выводы – достоверными, содержание опубликованных работ соответствует основным положениям диссертации и достаточно полно отражает их.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2003 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, а её автор, Белоусова Олеся Владимировна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 17 научных работ, в том числе по теме диссертационной работы опубликовано 15 работ, из них в рецензируемых по научной специальности изданиях опубликовано 4 работы, получены 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент Российской Федерации на полезную модель. Общий объём публикаций составляет 8,9 п.л., личный вклад автора составляет 6,5 п.л.

В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в автореферате, лично автором получены следующие результаты: [1, 3, 7, 10] – модель системы автоматического управления технологическим процессом нанесения фоторезиста, [4, 5, 6, 11 - 13] – методика формирования адаптивного управления разгоном привода центрифуги, [9, 14] – динамическая модель автоматической системы управления центрифуги, [2, 8, 15] – алгоритмы управления отдельными модулями оборудования и комплексного алгоритма автоматизированной установки нанесения фоторезиста.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Анненков, А.Н. Анализ автоматизированной установки нанесения фоторезиста как объекта управления / А.Н. Анненков, О.В. Белоусова // Вестник ТГТУ. – 2022. – Т.28. – №2. – С. 214-225.

2. Анненков, А.Н. Разработка программного обеспечения автоматизированной установки нанесения фоторезиста / А.Н. Анненков, О.В. Белоусова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2022. – Т.18. – №3. – С. 18-29.

3. Анненков, А.Н. Развитие моделей и алгоритмического обеспечения системы управления установки нанесения фоторезиста / А.Н. Анненков, О.В. Белоусова // Информационные системы и технологии. - 2022. - №4 (132).- С. 60 - 68.

4. Анненков, А.Н. Методика построения быстродействующего микропроцессорного регулятора системы автоматического управления со специальным видом преобразования передаточной функции / А.Н. Анненков, О.В. Белоусова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2022. – Т.18. – №6. – С. 21 - 32.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Богатилов Валерий Николаевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Информационные системы» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет». Замечания: в исследовании не рассматривается задача предварительной обработки исходных данных, с помощью которых настраиваются параметры модели системы автоматического управления центрифуги, отличающейся наличием обратной связи по скорости, обеспечивающей постоянство ускорения за счёт регулирования угла нагрузки путём опережения включения токов в обмотке бесконтактного двигателя.

2. Затонский Андрей Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизации технологических процессов» Березниковский филиал «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (БФ ПНИПУ).

Замечания: 1. Главное при настройке регулятор – передаточная функция объекта управления. На стр. 9 подробно описано, как её определили, но сама она почему-то не приведена. 2. На стр. 10 заявлено, что при идентификации использовалось z-преобразование с 255 уровнями сигнала, однако далее это никак не отражается на процессах синтеза САР. 3. На стр. 13 заявлено, что PID-Tuner не справился с синтезом регулятора, но даже не сделано попытки объяснить – почему? Вроде бы объект механический, не обладает существенным запаздыванием, такого быть не должно.

3. Позняк Александр Семёнович, д.т.н., профессор, член Мексиканской академии наук, отдел автоматического управления Центра исследований и перспективных исследований Национального политехнического института. Замечания: 1. Из автореферата не ясно, какие параметры при исследовании динамических характеристик электропривода центрифуги оказывают наибольшее влияние на его быстродействие. 2. В автореферате не отражено, в чём состоят характерные особенности алгоритмов программного управления отдельных модулей автоматизированной установки нанесения фоторезиста.

4. Полещенко Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент, и.о. зав. кафедрой «Автоматизированных и информационных систем управления» Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»» (СТИ НИТУ «МИСИС»). Замечания: из текста автореферата не ясно, каким образом в разработанной модели системы автоматического управления процессом нанесения фоторезиста учитываются ограничения на сигналы управления регуляторов. Также из текста автореферата невозможно оценить требования, предъявляемые разработанной системой управления к техническим средствам автоматизации, применяемым в установке УНФ-200А – будет ли возможно её функционирование в уже существующей конфигурации технических средств или необходима модернизация.

5. Русинов Леон Абрамович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация процессов химической промышленности» ФГБОУ ВО «Санкт-

Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». Замечания: 1. В автореферате не приведены сведения о марках используемых фоторезистов, моментах инерции роторов центрифуг, а также скоростей и рабочих ускорений модифицированных установок нанесения. 2. Отсутствуют сведения о модели базового бесконтактного двигателя электропривода центрифуги и его производителе, а также аналогичные сведения по самому электроприводу.

6. Соловьев Денис Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры «Математическое моделирование и информационные технологии» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина». Замечания: в материалах, касающихся разработки модели системы автоматического управления центрифугой, не приведены результаты вычислительного эксперимента относительно её применимости для различных соотношений моментов инерции центрифуги и пускового момента, а также механических и других видов потерь.

7. Тугашова Лариса Геннадьевна, к.т.н., доцент кафедры автоматизации и информационных технологий ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт». Замечания: 1. В автореферате не показано, за счёт чего при построении модели системы автоматического управления процессом нанесения фоторезиста достигается высокая точность контроля подогрева модулей подготовки фоторезиста, термообработки и термостабилизации, определяющих температурные параметры рабочих поверхностей и сред. 2. В автореферате не приведены критерии и допущения, использованные для определения параметров модели системы автоматического управления центрифуги.

Все отзывы положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой компетентностью в области автоматизации технологических процессов, разработки цифровых систем управления, анализа, синтеза и настройки модифицированных регуляторов, наличием публикаций в соответствующей области исследований, а также их согласием.

Выбор ведущей организации обоснован широкой известностью её сотрудников в области математического моделирования объектов управления,

моделирования автоматических систем управления, разработки программного обеспечения и управления автоматизированными системами, способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также полученным согласием; направление научно-исследовательской деятельности структурного подразделения (кафедра «Информационные процессы и управление») соответствует теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая модель системы автоматического управления процессом нанесения фоторезиста, отличающаяся наличием обратной связи по скорости вращения центрифуги, а также обратными связями по температурным параметрам модулей контроля подогрева фоторезиста, термообработки и термостабилизации, определяющих температурные параметры рабочих поверхностей и сред, с целью обеспечения требуемой толщины пленки и её целостности,

предложена новая методика формирования адаптивного управления разгоном привода центрифуги, обеспечивающего линейный рост её скорости, что позволяет достичь требуемой равномерности плёнки фоторезиста,

доказана на основе проведенных экспериментальных исследований, а также введенных в эксплуатацию и успешно работающих оборудования на различных заводах, эффективность предложенной методики формирования адаптивного управления разгоном привода центрифуги, обеспечивающего линейный рост её скорости,

введен новый параметр, как угол нагрузки, при использовании которого в качестве обратной связи функции изменения угла опережения включения в зависимости от величины заданного ускорения позволит обеспечить постоянство угла наклона скоростной характеристики центрифуги, т.е. равномерность толщины плёнки фоторезиста.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны новые функциональные связи динамической модели автоматической системы управления, а также модулей стабилизации её температурных параметров,

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использована** методика динамического расчета электропривода центрифуги на основе новой модели, при помощи которой выполнен расчёт режимов работы автоматической системы управления, определяющих толщину и равномерность нанесения плёнки фоторезиста, являющихся важнейшими технологическими параметрами, **изложены** и обоснованы новые подходы к разработке моделей и алгоритмов, среди которых выделены: 1. Модель системы управления для автоматизации технологического процесса нанесения фоторезиста; 2. Методика формирования адаптивного управления разгоном привода центрифуги, обеспечивающая работу привода с постоянным ускорением и поддержание установившейся скорости вращения; 3. Модель системы автоматического управления центрифуги, отличающейся наличием обратной связи по скорости, обеспечивающей постоянство ускорения; 4. Алгоритмы управления отдельными модулями оборудования и комплексный алгоритм автоматизированной установки нанесения фоторезиста, **раскрыты** и формализованы основы разработки методики формирования адаптивного управления разгоном привода центрифуги, обеспечивающая работу привода с постоянным ускорением и поддержание установившейся скорости вращения, и определены пути повышения качества решения данной задачи, **изучен** генезис технологий и оборудования фотолитографии, изучены этапы развития кластерных комплексов фотолитографии для выявления значимых параметров, условий и причин, влияющих на возникновение проблемных ситуаций (снижение качества продукции) и их причинно-следственных взаимосвязей, **проведена модернизация** алгоритмов управления отдельными модулями оборудования и комплексным алгоритмом автоматизированной установки нанесения фоторезиста.

Значение полученных соискателем результатов исследования для **практики** подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены модели, алгоритмы и соответствующие программное обеспечение, составляющие основу автоматизации технологического процесса

нанесения фоторезиста,

разработаны и внедрены компоненты и программное обеспечение технологических установок нанесения фоторезиста для ряда ведущих предприятий РФ, выпускающих высокотехнологичную продукцию микро- и радиоэлектроники: ОАО «ЛЭМЗ» (Лиаозовские радары), г. Москва; Ордена Трудового Красного Знамени «Институт химии силикатов имени И.В. Гребенщикова», г. Санкт-Петербург; АО «Государственный оптический институт им. Вавилова», г. Санкт-Петербург, что позволило решить проблему импортозамещения при производстве компонентной базы микроэлектроники, при этом эффект от внедрения заключается в обеспечении требуемых технологических параметров и повышении эффективности управления разработанным оборудованием; теоретические результаты диссертационной работы используются в учебном процессе АНОО ВО «Международный институт компьютерных технологий»,

определены рекомендации, которые подробно описывают все детали при разработке установок нанесения фоторезиста,

созданы библиотеки технологических программ, в которые включены наборы макросов, обеспечивающих автоматическую обработку подложек с заданными характеристиками, а также процедуру записи макросов в двух режимах: в режиме выполнения диагностических команд и в автономном режиме, который представлен в форме табличного задания,

представлена методика применения предложенных автором методов и алгоритмов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях,

теория построена на апробированных методах теории автоматического управления, математического моделирования, цифрового управления,

идея базируется на результатах анализа, которые совпадают с результатами численного моделирования и испытаний,

использован массив фундаментальных достижений технологических лидеров в области фотолитографии, отражённый в обзоре научной литературы, **установлено** совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, а также с анализом экспериментов по разработке моделей и алгоритмов автоматизированных установок нанесения фоторезиста, при этом предложенные алгоритмы и методики позволяют достигать более точных результатов при решении поставленной задачи обеспечения качества и быстродействия,

использован многолетний опыт по разработке, обслуживанию, использованию, ремонту автоматизированных установок нанесения фоторезиста, за период с 2007 года.

Личный вклад соискателя состоит в выборе темы исследования, постановке цели и задачи, формулировке теоретических положений, необходимых для обоснования предложенного подхода; выборе методов исследования; проведения расчетов в рамках вычислительного эксперимента с целью анализа качества построенных моделей и алгоритмов; формулировке выводов исследования; подготовке публикаций по тематике научных исследований.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. К сожалению, автор не привел методику оценки чувствительности используемых моделей, методик и алгоритмов управления к помехам и погрешностям измерения.

2. Автору следовало бы при описании структурных схем алгоритмов использовать формальные средства интерпретации параметров.

Соискатель Белоусова О.В. согласилась с отдельными замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию в части обоснования и подтверждения основных положений работы.

На заседании 7 апреля 2023 г. диссертационный совет принял решение: за решение актуальной научной задачи по автоматизированному управлению технологическим процессом нанесения фоторезиста, что имеет существенное значение для развития страны в области микроэлектроники,

присудить Белоусовой О.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 14, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного
совета 99.2.031.03



Подвальный
Семён Леонидович

Ученый секретарь диссертационного
совета 99.2.031.03

Белецкая
Светлана Юрьевна

07.04.2023