

СПИСОК

членов диссертационного Д 212.132.13 при НИТУ «МИСиС», присутствовавших на заседании по защите кандидатской диссертации Бабенкова Владимира Александровича на тему «Повышение эффективности управления технологическими процессами с использованием наблюдателей и регуляторов состояния (на примере производства экстракционной фосфорной кислоты)» по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность) от « 2 » марта 2016 г., пр. № 4.

- | | |
|--|--|
| 1. Кривоножко Владимир Егорович
(председатель) | Д. ф.-м. н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 2. Шкундин Семен Захарович
(заместитель председателя) | Д.т.н. 05.13.06 – по техническим наукам |
| 3. Лычев Андрей Владимирович
(ученый секретарь) | К.ф.-м.н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 4. Будадин Олег Николаевич | Д.т.н. 05.13.06 – по техническим наукам |
| 5. Карабутов Николай Николаевич | Д.т.н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 6. Климовицкий Михаил Давидович | Д.т.н. 05.13.06 – по техническим наукам |
| 7. Краснова Светлана Анатольевна | Д.т.н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 8. Кубрин Сергей Сергеевич | Д.т.н. 05.13.06 – по техническим наукам |
| 9. Овчинникова Татьяна Игоревна | Д.т.н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 10. Осадчий Валентин Алексеевич | Д.т.н. 05.13.06 – по техническим наукам |
| 11. Певзнер Леонид Давидович | Д.т.н. 05.13.06 – по техническим наукам |
| 12. Петров Андрей Евгеньевич | Д.т.н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 13. Рожков Игорь Михайлович | Д.т.н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 14. Соколов Сергей Михайлович | Д.ф.-м.н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 15. Стрижко Леонид Семенович | Д.т.н. 05.13.06 – по техническим наукам |
| 16. Темкин Игорь Олегович | Д.т.н. 05.13.01 – по техническим наукам |
| 17. Фомин Станислав Яковлевич | Д.т.н. 05.13.01 – по техническим наукам |

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.132.13
НА БАЗЕ ФГАОУ ВО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС» МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ БАБЕНКОВА ВЛАДИМИРА АЛЕКСАНДРОВИЧА НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 02.03.2016 г.

протокол № 4

О присуждении БАБЕНКОВУ ВЛАДИМИРУ АЛЕКСАНДРОВИЧУ,
гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Повышение эффективности управления технологическими процессами с использованием наблюдателей и регуляторов состояния (на примере производства экстракционной фосфорной кислоты)» в виде рукописи по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)» принята к защите «28» декабря 2015 г. протокол № 3 диссертационным советом Д 212.132.13, созданным на базе Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4) приказом Минобрнауки России № 965/нк от 26 августа 2015 г.

Соискатель **Бабенков Владимир Александрович**, дата рождения - 02.06.1989, в 2012 году окончил Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» с присуждением квалификации инженер по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». В 2015 г. окончил очную аспирантуру Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Диссертация выполнена на кафедре «Автоматизированные и информационные системы управления» Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова

(филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Минобрнауки России.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент **Кривоносов Владимир Алексеевич**, профессор кафедры «Автоматизированные и информационные системы управления» Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Официальные оппоненты:

1. **Лабутин Александр Николаевич**, гр. РФ, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», заведующий кафедрой «Техническая кибернетика и автоматика»

2. **Бажанов Александр Геральдович**, гр. РФ, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», доцент кафедры «Техническая кибернетика»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Егоровым Александром Федоровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой компьютерно-интегрированных систем в химической технологии, указала, что в диссертационной работе изложены выполненные автором научно обоснованные технические разработки, связанные с совершенствованием методов контроля и управления сложными технологическими процессами. Практическая значимость работы состоит в: разработке моделей, алгоритмов и реализующей их программы для непрерывной оценки состояния технологического процесса и формирования в рамках действующей АСУ ТП заданий для контуров управления расходами материальных потоков с целью стабилизации технологического процесса в регламентном режиме; разработке и

внедрении программного тренажера оператора ТП для проведения первоначальной подготовки, повышения квалификации, проверки навыков и знаний оперативного персонала; внедрении методических разработок, выполненных на основании приведенных в диссертационной работе исследований, в учебный процесс на кафедре «Автоматизированные и информационные системы управления» Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Практические результаты работы рекомендуются к использованию на предприятиях по производству экстракционной фосфорной кислоты (Балаковский филиал АО «Апатит», АО «ФосАгро – Череповец», ОАО «Белореченские минудобрения»), в научно-исследовательских и проектных организациях, занимающихся автоматизацией непрерывных ТП с дискретными измерениями управляемых выходов, а также в учебном процессе ВУЗов, где проводится подготовка в направлении математического моделирования, контроля и управления технологическими процессами.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их квалификацией и наличием публикаций в области исследований, соответствующих паспорту специальности 05.13.06.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в т.ч. по теме диссертации 17 научных работ (объемом 13,68 п.л., авторский вклад 50,4%), из которых 2 - программы для ЭВМ (свидетельства о государственной регистрации №2014616963 от 12.09.14 и №2015614179 от 08.04.15), 3 работы - в рецензируемых научных журналах и изданиях:

1. Бабенков, В.А. Математическая модель процесса экстракции и фильтрации производства фосфорной кислоты ООО «Балаковские минеральные удобрения» [Текст] / В.А. Кривоносов, В.А. Бабенков, В.В. Соколов и др. // Автоматизация в промышленности. – 2013. – №7. – С. 24-29.
2. Бабенков, В.А. Непрерывно-дискретный наблюдатель состояния химико-технологического процесса [Текст] / В.А. Кривоносов, В.А. Бабенков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – №1. – С. 128-135.
3. Бабенков, В.А. Система управления технологическими параметрами процесса производства экстракционной фосфорной кислоты [Текст] / В.А. Кривоносов, В.А. Бабенков // Информационные системы и технологии. – 2015. – №2. – С. 73-80.

В опубликованных работах **авторский вклад** состоит в: разработке многосвязной динамической математической модели процесса производства экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК); решении задачи непрерывного контроля расширенного вектора координат состояния динамического объекта по дискретным данным выполняемых измерений выходных сигналов и непрерывным показаниям автоматических средств контроля расходов входных потоков путем разработки наблюдателя состояния; синтезе алгоритмов управления многосвязным объектом на основе наблюдателей и регуляторов состояния; разработке программного тренажера оператора технологического процесса; программной реализации разработанных алгоритмов для работы в составе действующих АСУ ТП.

На диссертацию и автореферат поступило 6 положительных отзывов от:

1) Кудряшова В.С., д.т.н., профессора кафедры информационных и управляющих систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (г. Воронеж); 2) Бобыря М.В., д.т.н., доцента кафедры «Вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет» (г. Курск); 3) Мамоilenко С.Н., д.т.н., доцента, зав. кафедрой вычислительных систем ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»; 4) Чалого С.Ф., д.т.н., профессора кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники; 5) Денисовой Л.А., д.т.н., доцента кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»; 6) Мышляева Л.П. и Евтушенко В.Ф., д.т.н., профессоров кафедры автоматизации и информационных систем ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет».

Обзор замечаний:

1. В автореферате не приведена процедура выбора коэффициента усиления λ и длительности τ импульсов коррекции координат наблюдателя при различных периодах $T_{\text{и}}$ дискретности измерения выходов (Кудряшов В.С.).
2. Из автореферата не ясно, каким способом обеспечивается компенсация перекрестных связей каналов регулирования для дальнейшей настройки сепаратных подсистем (Кудряшов В.С.).

3. На схеме, приведенной на рис. 3 автореферата, не выделены управляемые выходы исследуемого процесса, что может затруднить для читателя анализ полученной математической модели (Бобырь М.В.).
4. В автореферате не приведено обоснование выбора критерия J_{21} (см. формулу (16)) качества переходных процессов в контурах стабилизации технологических параметров (Бобырь М.В.).
5. На структурной схеме системы контроля и управления (см. рис. 7 автореферата) в составе подсистемы наблюдения состояния объекта выделена «Функция оценки концентрационных характеристик пульпы». К сожалению, в тексте реферата не определены, какие именно функции оценки реализованы в созданном программном обеспечении (Мамойленко С.Н.).
6. Из автореферата не ясна процедура выбора коэффициента усиления корректирующих импульсов λ , которая обеспечивает устойчивость процесса наблюдения (Чалый С.Ф.).
7. В автореферате не приведено обоснование выбора вида и параметра (весового коэффициента) принятого обобщенного квадратичного критерия (16), используемого при сравнительном анализе разработанной и традиционных систем регулирования (Денисова Л.А.).
8. Кроме того, результаты моделирования разработанной многосвязной системы управления, проиллюстрированные графиками переходных процессов (рис. 6), нуждаются в пояснении. Из графиков, по моему мнению, вовсе не следует, что системе, как отмечает автор, присуще «высокое качество управления». Возможно, следовало бы сравнить эти кривые с графиками переходных процессов традиционных систем управления, или каким-либо другим способом показать (качественно и количественно) преимущества предлагаемого подхода (Денисова Л.А.).
9. Не представлено выполнение условий теоремы о разделении на оценку состояния и регулятор (матричный усилитель) (Евтушенко В.Ф., Мышляев Л.П.).
10. Не обосновано преимущество оценивания каждого из неизвестных возмущений за счет предварительной фиксации их доли перед оцениванием так называемого приведенного возмущения, учитывающего суммарный эффект всех неконтролируемых возмущений (Евтушенко В.Ф., Мышляев Л.П.).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- построена математическая модель исследуемого производственного процесса для синтеза алгоритмов непрерывного контроля и управления состоянием многосвязного динамического объекта (05.13.06, п. 6);
- разработан непрерывно-дискретный наблюдатель координат состояния динамического объекта с дискретными измерениями выходных сигналов для непрерывной оценки его состояния и низкочастотных составляющих входных возмущений (05.13.06, п. 10);
- выполнен синтез алгоритмов контроля и управления на основе наблюдателей и регуляторов состояния, обеспечивающих непрерывный контроль и стабилизацию показателей технологического процесса в регламентном режиме (05.13.06, п. 10);
- разработан программный тренажер оператора технологического процесса производства экстракционной фосфорной кислоты (05.13.06, п. 10).

Теоретическая значимость и новизна исследования состоит в том, что:

- получена многосвязная динамическая математическая модель процесса экстракции фосфорной кислоты в полугидратном режиме, которая, в отличие от существующих математических описаний данного процесса, содержит матрицу перекрестных связей объекта;
- предложена структура наблюдателя состояния полного порядка, отличающегося тем, что он: непрерывно восстанавливает значения всех координат состояния объекта с использованием математической модели объекта и в моменты дискретных измерений выходных сигналов объекта формирует короткие корректирующие импульсы, приближающие движение наблюдателя к траектории движения объекта; коэффициент усиления корректирующих импульсов изменяется в процессе наблюдения, чем достигается высокое быстродействие на начальном этапе наблюдения и низкая чувствительность к погрешностям измерений после выхода оценок наблюдателя в окрестности истинных значений координат состояния объекта;
- разработан алгоритм функционирования многосвязной системы контроля и управления состоянием технологического процесса, особенностью структуры которой является использование непрерывно-дискретных наблюдателей, регуляторов

состояния, обеспечивающих модальное управление, матрицы перекрестных связей между регуляторами, компенсирующей взаимное влияние сепаратных контуров.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики заключается в том, что:

- разработан и внедрен в процесс обучения и проверки знаний и навыков оперативного персонала тренажер оператора технологического процесса производства ЭФК на ООО «Балаковские минеральные удобрения» (ООО «БМУ»);
- эксплуатация программного тренажера позволила повысить качество обучения операторов и аппаратчиков отделения экстракции ООО «БМУ», уменьшить сроки их подготовки, снизить количество нарушений технологического регламента, что подтверждается актом о результатах внедрения;
- разработано прикладное программное обеспечение (ПО) многосвязной системы контроля и управления технологическими параметрами для работы в информационно-советующем режиме. Разработанное ПО прошло испытания и отладку в составе автоматизированной системы управления отделения ЭФК-3,4 Балаковского филиала АО «Апатит»;
- испытание разработанной системы контроля и управления в составе действующей АСУ ТП позволило повысить коэффициент выхода (основной показатель эффективности производства) с 95,8% до 96,1% за счет повышения точности стабилизации технологического режима, что позволяет получить дополнительную прибыль около 40 млн. руб. в год.

Результаты исследования рекомендуются к использованию в автоматизации управления сложными технологическими процессами, выходы которых измеряются с большим периодом дискретности, в частности при производстве экстракционной фосфорной кислоты Балаковского филиала АО «Апатит», а при незначительной корректировке параметров математической модели технологического процесса – на аналогичных производствах в АО «ФосАгро – Череповец», ОАО «Белореченские минудобрения».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- теория построена на современных методах математического моделирования динамических объектов, современной теории автоматического управления, асимптотических наблюдателей, принципах модального управления;

– идея базируется на анализе проблем контроля и управления параметрами сложных технологических процессов промышленных производств и выявлении направлений, способствующих поддержанию регламентных режимов, рациональному использованию сырья и энергии;

– установлено, что результаты исследований не противоречат научным трудам, посвященным математическому моделированию технологических процессов, выходы которых измеряются с большим периодом дискретности, построению наблюдателей состояния динамических объектов и многосвязных систем управления;

– использованы современные методики и средства компьютерного моделирования, сбора и обработки исходной информации, которые позволили доказать адекватность полученного математического описания исследуемого процесса, а также возможность повышения эффективности управления и производства в целом;

– экспериментальные данные, использованные в работе, получены из архива действующей АСУ ТП Балаковского филиала АО «Апатит», при этом выборки экспериментальных данных для построения модели и проверки ее адекватности, а также для оценки эффективности управления соответствуют целям исследования, статистическая обработка экспериментальных данных выполнена корректно;

Личный вклад соискателя состоит в: анализе существующих математических описаний процесса экстракции фосфорной кислоты, а также функций современных АСУ рассматриваемого класса ТП; постановке целей и задач исследования; построении математической модели исследуемого процесса и проверке ее адекватности на последовательностях экспериментальных данных; постановке задачи непрерывной оценки состояния динамического объекта с дискретными измерениями управляемых выходов; разработке непрерывно-дискретного наблюдателя координат состояния объекта и низкочастотных составляющих входных возмущений; разработке подхода к адаптации матрицы коррекции наблюдателя; разработке сепаратных контуров стабилизации технологических параметров; синтезе многосвязной системы контроля и управления; разработке структуры и алгоритма работы программного тренажера; разработке программного обеспечения; разработке решений по практической реализации полученных результатов в составе действующей АСУ ТП;

экспериментальном исследовании повышения эффективности управления технологическим процессом; подготовке публикаций по теме исследования.

Диссертация Бабенкова Владимира Александровича соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» и содержит решение актуальной задачи повышения эффективности управления непрерывными технологическими процессами с дискретными измерениями выходных сигналов путем более точной стабилизации характеристик процесса в регламентном режиме, которая достигается автором за счет внедрения в состав действующей АСУ ТП разработанных алгоритмов непрерывного контроля и управления, а также обучения операторов ТП рациональному управлению сложным технологическим процессом, а ее автор Бабенков Владимир Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

На заседании от 2 марта 2016 г., протокол № 4, диссертационный совет принял решение присудить Бабенкову Владимиру Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного со
Д212.132.13,
д.ф.-м.н., проф.

Ученый секретарь
диссертационного со
Д212.132.13,
к.ф.-м.н.

2 марта 2016 г.

Кривоножко
Владимир Егорович

Лычев
Андрей Владимирович