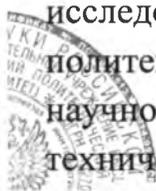


УТВЕРЖДАЮ:

И.о. проректора Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета по  
научной работе и инновациям, доктор  
технических наук



И.Б. Степанов



2018 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»

Диссертация «**Автоматизированная система стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн**» выполнена в научно-образовательной лаборатории «Электроника и автоматика физических установок» Инженерной школы ядерных технологий.

В период подготовки диссертации соискатель **Иванов Константин Александрович** обучался в заочной аспирантуре Национального исследовательского Томского политехнического университета и работал на Радиохимическом заводе (РХЗ) АО «Сибирский химический комбинат» (АО «СХК») в должности инженера по АСУ ТП.

В 2007 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский политехнический университет» по специальности «Электроника и автоматика физических установок».

Справка об обучении в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2017 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель – Горюнов Алексей Германович, доктор технических наук, руководитель отделения ядерно-топливного цикла (ОЯТЦ) Инженерной школы ядерных технологий (ИЯТШ) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ).

По итогам обсуждения принято следующее **заключение**.

### **Оценка выполненной соискателем работы**

Диссертационная работа Иванова К.А., посвященная разработке и исследованию автоматизированной системы стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн РХЗ АО «СХК», является актуальной законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические и программные разработки, обеспечивающие решение важной прикладной задачи – обеспечение эффективности и безопасности технологических процессов экстракции урансодержащих растворов на РХЗ АО «СХК». Диссертация охватывает вопросы поставленных научных задач и соответствует требованию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований и взаимосвязи результатов, выводов и рекомендаций.

Решение научных задач, поставленных в работе, позволило внедрить систему стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн РХЗ АО «СХК», обеспечивающую эффективное, надежное и безопасное управление технологическим процессом экстракции. Данная система успешно испытана и внедрена, на производстве, что подтверждено актом внедрения результатов диссертационных исследований №70-1445 от 22.05.2017. Разработанные алгоритмы, вошедшие в состав САУ экстракционного каскада приняты в промышленную эксплуатацию приказом по РХЗ АО «СХК» от 19.05.2014. Внедрение модернизированной САУ стабилизации ОФ на РХЗ АО «СХК», позволило повысить прои качество управления экстракционным каскадом, сократить количество внеплановых остановок технологического оборудования, а также увеличить межремонтные сроки погружных насосов.

Диссертационная работа Иванова К.А. является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, по своему научному уровню, актуальности, новизне результатов, их достоверности, обоснованности выводов, научной и практической значимости удовлетворяющей требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» Министерства образования и науки Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и соответствует специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (химическая промышленность)».

### **Актуальность работы**

Поскольку радиохимическая технология является неотъемлемой частью ядерного топливного цикла (ЯТЦ), то научно-исследовательские работы по её совершенствованию весьма актуальны и своевременны. С другой стороны, высокие требования, предъявляемые к безопасности и качеству ведения

технологических процессов, ставят новые задачи по эффективному и надёжному управлению этими процессами.

Начиная с 2011 года, на РХЗ проводятся исследования по увеличению производственной программы в связи с концентрацией конверсии производства урана в АО «СХК», что потребовало модернизации существующих каскадов переработки ядерного топлива, в частности установки М-1345 (каскад экстракционных колонн). Новые режимы работы установки потребовали новых исследований с дальнейшей модернизацией действующей системы автоматизированного управления установкой М-1345.

Подводя итог выше сказанному актуальность данной работы обусловлена:

- высокими требованиями безопасности ведения технологического процесса;
- необходимостью повышения эффективности производства конечного продукта (нитрат уранила);
- необходимостью изменения режимов работы установки и её производительности;
- введением современных программно-технических средств;
- работой установки на новых режимах.

**Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации,** заключается в анализе литературы по теме диссертации. Разработка и реализация математической модели каскада экстракционных колонн как объекта управления. Синтез системы стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн РХЗ АО «СХК». Испытание системы стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн РХЗ АО «СХК». Внедрение системы стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн РХЗ АО «СХК». Публикация полученных результатов в научных изданиях. Соавторы не возражают против использования соискателем совместных работ. Личный вклад Иванова К.А. в полученных результатах составляет не менее 70 %.

**Достоверность результатов проведенных исследований** подтверждена успешными испытаниями системы стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн РХЗ АО «СХК», принятые в работе авторские решения основаны на существующих проверенных методах и методиках разработки систем управления и контроля технологических процессов. Положения диссертации базируются на анализе практики, обобщении передового опыта в области теории математического моделирования и автоматического управления. Сопоставление авторских данных и данных, представленных в независимых источниках по рассматриваемой тематике, опубликованных ранее, позволило установить их качественное и количественное совпадение. В исследованиях использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

**Научную новизну** составляют следующие результаты диссертационного исследования:

- разработана математическая модель каскада экстракционных колонн, описывающая динамику прохождения органической фазы, позволяющая синтезировать и испытывать алгоритмы управления действующими аппаратами. Модель основана на использовании нейронечёткой логики, позволившей существенно увеличить ее точность в условиях ограниченного количества экспериментальных данных в сравнении с традиционными методами (полиномиальными, сплайн и т.д.);

- разработан алгоритм управления системы стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн, отличающийся одновременным управлением частотами вращения валов двигателей насосов и напором, что позволило повысить производительность и надёжность работы каскада экстракционных колонн;

- разработан алгоритм, отличающийся применением нейронечёткой логики в математической модели каналов управления для решения задачи адаптации системы стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн, что позволило повысить производительность и надёжность работы каскада экстракционных колонн.

**Теоретическая значимость** работы заключается в использовании аппарата нейронечёткой логики в синтезе систем стабилизации расходов жидкостей в промышленности с обеспечением увеличения точности модели объекта управления в условиях ограниченного количества экспериментальных данных.

**Практическая значимость** работы заключается в том, что основная часть полученных результатов исследований внедрена на производстве, что подтверждено актом внедрения результатов диссертационных исследований №70-1445 от 22.05.2017. Разработанные алгоритмы, вошедшие в состав САУ экстракционного каскада приняты в промышленную эксплуатацию приказом по РХЗ от 19.05.2014. Внедрение модернизированной САУ стабилизации ОФ на РХЗ АО «СХК», позволило повысить качество управления экстракционным каскадом, сократить количество внеплановых остановок технологического оборудования, а также увеличить межремонтные сроки погружных насосов.

**Ценность научных работ** заключается в том, что автором предложены программные, алгоритмические и конструктивные решения, позволяющие решать задачи синтеза и внедрения двухконтурных систем с адаптивным управлением в современном радиохимическом производстве.

**Специальность, которой соответствует диссертация.** Анализ диссертации Иванова К.А. показал, что материалы, изложенные в работе, полностью соответствуют областям исследований и формуле специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (химическая промышленность)»

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях и симпозиумах регионального, всероссийского и международного уровней:

- Научно-практическая конференция «Перспективные направления развития атомной отрасли», г. Томск, 5-6 октября 2011.

- Международная заочная научно-практическая конференция «Наука и образование в XXI веке», г. Тамбов, 31 мая 2012.

- Российская научно-практическая конференция «Обращение с отработанным ядерным топливом в России», г. Железногорск, 24–25 октября 2012.

- Всероссийская научно-практическая конференция, г. Томск, 1 – 3 октября 2014 г.

- VI Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности», г. Томск, 2014 г.

- Научно-практическая конференция молодых специалистов и аспирантов "Молодежь ЯТЦ", г. Железногорск, 21-24 октября 2015 г.

- XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», г. Томск, 14–18 апреля 2014 г.

- VII научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов атомной отрасли "Команда", г. Санкт-Петербург, 5-9 июня 2017 г.

Основные положения диссертации опубликованы в 13 работах, в том числе: 4 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК; 1 статьи в зарубежном издании; 8 тезисов докладов на Российских и Международных конференциях.

**Основными работами являются:**

Статьи в журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук:

1. Иванов К.А. Система стабилизации потока органической фазы каскада колонн с частотным управлением насосами / Горюнов А.Г., Иванов К.А. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2011. – № 2. – с. 23-28.

2. Иванов К.А. Система стабилизации потока органической фазы каскада колонн с частотным управлением насосами / Горюнов А.Г., Иванов К.А. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2011. – № 6. – с. 47-52.

3. Иванов К.А. Двухканальная адаптивная система автоматического управления буферной ёмкостью с использованием частотного управления / Горюнов А.Г., Иванов К.А. // Промышленные АСУ и контроллеры, 2013. – №9. – С. 3–7.

4. Иванов К.А. Система стабилизации потока органической фазы каскада экстракционных колонн с применением частотного управления погружными центробежными насосами / Горюнов А.Г., Иванов К.А., Шенцов Э.Ю., Биянов А.В. // Известия высших учебных заведений. Физика, 2010. – №11/2. – С. 206–210.

Другие издания:

5. Ivanov K.A. Capacity pump control by dual-channel adaptive system with throttle and frequency Control / Ivanov K.A., Goryunov A.G. // *Advanced Materials Research* Vol. 1084, 2015, P. 630-635.

6. Иванов К.А. Разработка системы автоматического управления, обеспечивающей демпфирование потока органической фазы каскада экстракционных колонн / Иванов К.А., Горюнов А.Г. // *Перспективные направления развития атомной отрасли: сборник тезисов Школы-конференции молодых атомщиков Сибири*, г. Томск, 5-6 октября 2011. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 57-58.

7. Иванов К.А. Система стабилизации потока органической фазы каскада колонн с частотным управлением насосами / Горюнов А.Г., Иванов К.А. // *Наука и образование в XXI веке: Сборник трудов международной заочной научно-практической конференции*. В 5 ч. – Тамбов, 31 мая 2012. – Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2012. – Ч.2. – С. 42-45.

8. Иванов К.А. Система адаптивного управления потоком органической фазы каскада колонн с частотным управлением насосами / Горюнов А.Г., Иванов К.А. // *Обращение с отработанным ядерным топливом в России: Сборник трудов Российской научно-практической конференции*. – Железногорск, 24–25 октября 2012.

9. Иванов К.А. Нечёткая модель буферной ёмкости в адаптивной системе управления с использованием частотного привода / Иванов К.А., Горюнов А.Г., Рогозный Д.Г. // *Сборник тезисов научно-практической конференции молодых специалистов и аспирантов "Молодежь ЯТЦ"*, 2015 – с. 134-137.

10. Иванов К.А. Адаптивная система стабилизации потока органической фазы в экстракционном каскаде / Иванов К.А., Шенцов Э.Ю., Рогозный Д.Г. // *Сборник тезисов VII научно-практической конференции молодых учёных и специалистов атомной отрасли "Команда"*, 2017 – с. 13-15.

11. Ivnov K. The capacity pump control by dual-channel adaptive system with throttle and frequency control / Ivnov K., Goryunov A. // *VI Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности» Секция 1. Информационные технологии, автоматизация, системы управления*. – Томск, 2014. – С. 14

12. Иванов К.А. Система стабилизации потока органической фазы каскада колонн с частотным управлением насосами / Иванов К.А., Горюнов А.Г. // *Всероссийская научно-практическая конференция, приуроченная к 105-летию со дня рождения Б.В. Громова (Томск, 1 – 3 октября 2014 г.)*. / Томский политехнический университет; Под ред. О.Б. Громов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – С. 20–21.

13. Иванов К.А. Двухканальная система стабилизации потока органической фазы каскада колонн с частотным управлением насосами // *Современные техника и технологии: Сборник докладов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых*

ученых. Российской научно-практической конференции. – Томск, 14–18 апреля 2014 – с. 177-178.

Представленный перечень публикаций соискателя, и их тематика полностью отражают основные положения диссертационной работы и подтверждают их апробацию.

Диссертация «Автоматизированная система стабилизации потока органической фазы в каскаде экстракционных колонн» Иванова Константина Александровича **рекомендуется** к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (химическая промышленность).

Заключение принято на расширенном заседании научно-образовательной лаборатории ЭАФУ ИЯТШ ТПУ с участием профессорско-преподавательского состава отделения ядерно-топливного цикла ИЯТШ ТПУ.

Присутствовало на заседании 18 чел. Результаты голосования: «за» – 18 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 1 от «30» марта 2018 г.

Заведующий научно-образовательной лабораторией «Электроника и автоматика физических установок» Инженерной школы ядерных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доктор технических наук, профессор

С.Н. Ливенцов