

УТВЕРЖДАЮ:

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



Р.В. Оствальд

2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Автоматизированная система управления электроэрозионной водоочистной установкой с прогнозирующей моделью» выполнена в научно-образовательной лаборатории «Электроника и автоматика физических установок» Инженерной школы ядерных технологий.

В период подготовки диссертации соискатель **Надеждин Игорь Сергеевич** обучался в очной аспирантуре Национального исследовательского Томского политехнического университета и работал в научно-образовательной лаборатории «Электроника и автоматика физических установок» Инженерной школы ядерных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета в должности младшего научного сотрудника.

В 2014 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по специальности «Электроника и автоматика физических установок».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2018 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель – Горюнов Алексей Германович, доктор технических наук, профессор 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 Надеждина И.С., посвященная разработке и исследованию автоматизированной системы управления электроэрозионной водоочистной установкой, является актуальной законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические разработки, обеспечивающие решение важной прикладной задачи – повышение эффективности химико-технологического процесса протекающего в электроэрозионной водоочистной установке. 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 автоматизированную систему управления электроэрозионной водоочистной установкой ООО «ТКГЭ», обеспечивающую повышение эффективности технологического процесса очистки воды. Элементы указанной системы будут использованы при расширении линейки приборов ОАО «Манотомь» (г. Томск). Кроме того, был развит и запатентован принцип управления на базе адаптивной прогнозирующей модели, обеспечивающий повышение эффективности и безопасности протекания химико-технологических процессов.

Диссертационная работа Надеждина И.С. 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

Функционирование современных технологических процессов, как правило, не обходится без автоматизированных систем управления. Необходимость в разработке и применении систем управления для различных технологических процессов обусловлена требованиями повышения эффективности, безопасности и стабильности протекания процессов. Особенно актуальной задачей это является для технологических

процессов химической, атомной, нефте- и газоперерабатывающей промышленности, где предъявляются повышенные требования к безопасности протекания процессов, в силу того, что в ряде случаев эти процессы, являются взрыво- и пожароопасными, вредными для организма человека, а также образуют большое количество отходов, которые можно использовать в качестве вторичного сырья.

Частным случаем химико-технологических процессов являются процессы, протекающие в водоочистных установках. Очистка природных и промышленных сточных вод от вредных примесей является актуальной задачей. На сегодняшний день известно много методов, используемых для решения этой задачи. Наиболее распространенными методами водоочистки являются: обратный осмос, коагуляция, ионообменное осаждение, аэрация, отстаивание и т.д. Эти классические методы водоочистки обладают достоинствами и недостатками. Среди существенных недостатков можно выделить следующие: высокий расход реагентов; необходимость периодической замены мембран; высокая стоимость мембран и реагентов; требуются большие площади, для размещения оборудования; и самый главный недостаток состоит в том, что с помощью перечисленных методов практически невозможно (или не эффективно) очищать водные источники от токсичных веществ (мышьяк) и растворенных солей. В связи с этим, в последнее время, интерес исследователей направлен на применение электрической энергии для очистки водных источников. Одним из таких методов, основанном на использовании электрической энергии, является очистка воды с помощью электроэрозионной обработки металлических шариков в очищаемой воде. Для управления и повышения эффективности современных водоочистных установок разрабатываются системы управления.

Актуальность создания автоматизированной системы управления электроэрозионной водоочистной установкой обусловлена необходимостью повышения эффективности процесса водоочистки и отсутствием наработок в области разработки систем управления электроэрозионными водоочистными установками.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в анализе литературы по теме диссертации и участии в обсуждении планов экспериментальных исследований; в обработке результатов экспериментальных исследований, их обсуждении и подготовка их к публикации; в разработке и реализации математической модели электроэрозионной водоочистной установки как объекта управления; в синтезе системы управления электроэрозионной водоочистной установкой; в развитии принципа управления химико-технологическими процессами на базе адаптивных прогнозирующих моделей; в разработке интеллектуального многопараметрического измерительного преобразователя на базе оптических измерительных систем.

Исследования выполнялись с привлечением сотрудников, аспирантов и студентов ТПУ. Их личный вклад учтен в совместных публикациях. Соавторы не возражают против использования соискателем совместных работ. Личный вклад Надеждина И.С. в полученных результатах составляет не менее 75 %.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждена успешным испытанием системы автоматизированного управления электроэрозионной водоочистной установкой ООО «ТКГЭ», а принятые в работе авторские решения основаны на известных и проверенных методах и методиках разработки систем управления и контроля технологических процессов. Положения диссертации базируются на анализе и практических результатах автоматизации химико-технологических процессов, 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 соответствие.

Научную новизну составляют следующие результаты диссертационного исследования:

- предложена математическая модель электроэрозионного процесса очистки воды, учитывающая геометрические размеры используемого аппарата, массу и размеры загружаемых металлических шариков, электрофизические свойства обрабатываемого водного раствора и позволяющая решать задачи синтеза систем управления и оптимизации;
- на базе предложенной математической модели разработана автоматизированная система управления электроэрозионной водоочистной установкой, позволяющая стабилизировать концентрацию продуктов электрической эрозии в обработанном водном растворе;
- развит принцип управления химико-технологическими процессами, отличающийся наличием адаптивной прогнозирующей модели процесса и блока оптимизации для формирования оптимального управляющего воздействия и позволяющий повысить эффективность и безопасность протекания химико-технологических процессов (защищен патентом на изобретение № 2657711).

Теоретическая значимость работы заключается:

- в расширении использования метода клеточных автоматов для моделирования процесса распространения электрических разрядов между металлическими шариками в водном растворе;
- в развитии принципа управления химико-технологическими процессами с применением адаптивной прогнозирующей модели процесса.

Практическая значимость работы заключается:

- в повышении эффективности и безопасности протекания химико-технологических процессов, за счет применения развитого принципа управления с адаптивной прогнозирующей моделью процесса;
- во внедрении результатов диссертационного исследования в автоматизированную систему управления электроэрозионной водоочистной установкой ООО «ТКГЭ», что обеспечило снижение затрат электроэнергии на процесс очистки воды, при сохранившемся качестве очищенной воды;
- в создании и практическом применении опытного образца интеллектуального многопараметрического измерительного преобразователя на базе оптических измерительных систем с применением оптоволоконных кабелей.

Ценность научных работ соискателя заключается в том, что им предложены алгоритмические и конструктивные решения, позволяющие решать задачи синтеза автоматизированных систем управления на базе прогнозирующих моделей, для повышения эффективности и безопасности химико-технологических процессов, в частности, процессов, протекающих в электроэрозионной водоочистной установке.

Специальность, которой соответствует диссертация. Анализ диссертации Надеждина И.С. 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: VII Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» (Томск, 2015); 18-ой Международной конференции «Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES'15)» (Кучинг, Малайзия, 2015); Седьмой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015) (Москва, 2015); 24-ой Международной конференции «International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2016)» (Гонконг, КНР, 2016); 19-ой Международной конференции «Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES'16)» (Прага, Чешская Республика, 2016); 64-ой Международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации» (Владивосток, 2016); XXII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых

«Научная сессия ТУСУР – 2017» (Томск, 2017); 20-ой Международной конференции «Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES'17)» (Тяньцзинь, КНР, 2017); Восьмой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017) (Санкт-Петербург, 2017).

Основные положения диссертации опубликованы в 22 работах, включая 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК; 9 публикаций в изданиях, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science; 1 статью в издании, не относящемся к перечисленным выше; 1 патент на изобретение; 2 отчета о НИР; 6 тезисов докладов на 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. Надеждин, И.С. Математическое моделирование электроэрозионных лунок на поверхности металлических шариков / И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 4. – С. 89–91.

2. Надеждин, И.С. Моделирование распространения электрических разрядов между металлическими шариками в водном растворе / И.С. Надеждин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – № 4. – С. 153–155.

3. Надеждин, И.С. Система управления электроэрозионной водоочистной установкой на базе MPC регулятора / И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов // Приборы. – 2018. – № 5. – С. 21–26.

Документы, подтверждающие наличие исключительных прав на объекты интеллектуальной собственности:

4. Патент на изобретение № 2657711; заявка № 2017120953 от 14.06.2017, дата рег. 14.06.2018; Бюл. № 17 от 14.06.2018 // Надеждин И.С., Горюнов А.Г., Дьяченко А.Н., Бахтадзе Н.Н., Быков А.А., Громов О.Б., Максимов Е.М., Михеев П.И., Травин С.О. Комплекс для моделирования химико-технологических процессов.

Публикации в изданиях, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science:

5. Manenti, F. Operational Optimization of Reverse Osmosis Plant Using MPC / F. Manenti, I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, K.A. Kozin, S.A. Baydali, D. Papasidero, F. Rossi, R.V. Potemin // Chemical Engineering Transactions. – 2015. – Vol. 45. – P. 247–252.

6. Nadezhdin, I.S. Optimisation of EDM process for water purification / I.S. Nadezhdin, D. Papasidero, A.G. Goryunov, F. Manenti // Chemical Engineering Transactions. – 2016. – Vol. 52. – P. 325–330.

7. Nadezhdin, I.S. Control Systems of a Non-stationary Plant Based on MPC and PID Type Fuzzy Logic Controller / I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, F. Manenti, A.O. Ochoa Bique // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. – 2016. – Vol. 1. – P. 219–224.

8. Nadezhdin, I.S. Mathematical modeling of EDM method of water purification / I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, F. Manenti, A.O. Ochoa Bique // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. – 2016. – Vol. 1. – P. 254–258.

9. Krinitsyn, N.S. Plant Identification in the Closed-loop Control System / N.S. Krinitsyn, A.D. Uvarova, V.F. Dyadik, A.G. Goryunov, I.S. Nadezhdin // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. – 2016. – Vol. 1. – P. 229–233.

10. Nadezhdin, I.S. Fuzzy Adaptive Control System of a Non-Stationary Plant / I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, F. Manenti // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. – Number of article 012048.

11. Dyadik, V.F. Passive Identification is Non Stationary Objects With Closed Loop Control / V.F. Dyadik, I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, F. Manenti // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. – Number of article 012047.

12. Nadezhdin, I.S. Modeling of the distribution of electric discharge between metal balls in the aqueous solution / I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, F. Manenti // Chemical Engineering Transactions. – 2017. – Vol. 61. – P. 535–540.

13. Nadezhdin, I.S. Development of a MPC-based control system for electrical discharge of water purification plant / I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, F. Manenti // Chemical Engineering Transactions. – 2018. – Vol. 70. – P. 1393–1398.

Другие издания:

14. Manenti, F. Fuzzy adaptive control system of a non-stationary plant with closed-loop passive identifier / F. Manenti, F. Rossi, A.G. Goryunov, V.F. Dyadik, K.A. Kozin, I.S. Nadezhdin, S.S. Mikhalevich // Resource-Efficient Technologies. – 2015. – Vol. 1. – P. 10–18.

Тезисы докладов на международных конференциях:

15. Горюнов, А.Г. Адаптивная система с пассивной идентификацией параметров объекта управления в замкнутом контуре с применением имитационной модели / А.Г. Горюнов, В.Ф. Дядик, И.С. Надеждин, Ф. Маненти // Сборник трудов седьмой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика». – 2015. – С. 43–48.

16. Надеждин, И.С. Моделирование распространения электрических разрядов между металлическими гранулами в электроэрозионной водоочистной установке / И.С. Надеждин, Д.А. Сериков // Сборник докладов 64-й международной молодежной научно-технической конференции Молодежь. Наука. Инновации. – 2016. – Т. 1. – С. 141–145.

17. Надеждин, И.С. Математическая модель электроэрозионного процесса очистки воды / И.С. Надеждин // Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2017». – 2017. – № 4. – С. 161–163.

18. Надеждин, И.С. Применение клеточных автоматов для моделирования распространения электрических разрядов между металлическими шариками в водном растворе / И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов // Сборник трудов восьмой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика». – 2017. – С. 485–490.

19. Надеждин, И.С. Система управления электроэрозионной водоочистной установкой / И.С. Надеждин, А.В. Платонова // Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». – 2018. – Т. 3. – С. 77–80.

20. Надеждин, И.С. Спектрофотометрический датчик концентрации / И.С. Надеждин, М.А. Архипов // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2018. – Т. 2. – С. 41–43.

Отчеты о НИР:

21. Математическое моделирование и оптимизация электроэрозионного метода очистки воды: отчет о НИР (заключ.): Томский политехнический университет; рук. Надеждин И. С. – Томск, 2018 – 42 с. – Исполн.: Надеждин И. С. [и др.] (всего 2 чел.).

22. Разработка интеллектуального датчика дифференциального давления с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками для серийного освоения комплекса новых приборов стратегических отраслей Российской Федерации: отчет о НИР (промежуточ.): Томский политехнический университет; рук. Горюнов А. Г. – Томск, 2017 – 337 с. – Исполн.: Надеждин И. С. [и др.] (всего 22 чел.).

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

Диссертация «Автоматизированная система управления электроэрозионной водоочистной установкой с прогнозирующей моделью» Надеждина Игоря Сергеевича **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 16 чел. Результаты голосования: «за» – 16 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 2 от «18» мая 2018 г.

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

С.Н. Ливенцов