

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы **Самигулина Тимура Ильдусовича**
на тему **«Разработка Smart-технологии для систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта»**,
предоставленной на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D070200 - «Автоматизация и управление»

В связи с ростом новых информационных технологий в настоящее время наблюдается значительный прогресс в сфере создания современных систем управления с помощью достижений в области искусственного интеллекта. Крупнейшие компании производители высокоэффективных систем управления, такие как Honeywell, Schneider Electric, Siemens, Yokogawa, Emerson, Allen-Bradley вкладывают денежные средства в развитие технологий умного производства, промышленного искусственного интеллекта, моделирование цифровых двойников предприятий и внедрение систем анализа больших данных. Введение в мире концепции четвертой промышленной революции или «Индустрия 4.0» подразумевает создание высокоэффективного, экологичного, гибкого и безопасного производства, которое ориентировано на цифровизацию современных средств управления с возможностью анализа потребительского поведения. Рост вычислительных мощностей персональных компьютеров и промышленных контроллеров позволяет решать сложные задачи управления производством, в которых необходимо учитывать большое количество параметров и ограничений, при этом позволяя менять стратегии управления в режиме реального времени. Современные системы моделирования технологических процессов дают возможность выполнять эксперименты на цифровых двойниках предприятия, исследовать и разрабатывать контуры управления в зависимости от текущего состояния технологического объекта и внедрять корректировки в системы супервизорного управления. В это же время аппаратная часть характеризуется высокой отказоустойчивостью, путём внедрения дополнительных каналов передачи данных, резервированных контроллеров и элементов управления. Гибкость такого оборудования заключается в возможности миграции в режиме реального времени программного обеспечения и масштабирования в случае увеличения объемов производства.

Промышленный искусственный интеллект получил широкое применение в аэрокосмической, металлургической, химической, нефтегазовой и др. отраслях производства. Методы ИИ позволяют выполнять оптимизационные расчёты в случаях неполноты информации об объекте управления, успешно могут применяться для расчётов в многомерных и многосвязных объектах управления с большим количеством входных и выходных переменных процесса.

Основание и исходные данные для разработки темы.

Основанием для научных исследований является выписка из протокола заседания кафедры «Автоматизация и управление» Института автоматики и

информационных технологий КазНИТУ им. Сатпаева №1195-д от 29 сентября 2018 года, в которой утверждена тема докторской диссертации PhD, научных и зарубежный руководитель для специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление». Исходными данными для проведения научно-исследовательской работы послужили научные публикации и монографии по проекту КН МОН РК №AP05130018 на тему «Разработка когнитивной Smart-технологии для интеллектуальных систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта» (2018-2020 гг), учебные материалы с тренинг-центра «Honeywell Automation College Amsterdam», технические регламенты с ТОО «Ханиуэлл – Автоматические системы управления».

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы. Внедрение методов ИИ в промышленное производство сопряжено с рядом трудностей при вводе в эксплуатацию в реальное промышленное производство:

а) большинство работ по применению метаэвристических алгоритмов направлены на исследование SISO-систем, тогда как для MIMO-систем, с учётом влияния взаимосвязей проводится достаточно мало исследований;

б) используемые метаэвристические алгоритмы должны обладать следующими свойствами: простотой реализации; минимальными требованиями к вычислительным ресурсам; способностью обработки данных в реальном времени; низкими требованиями к памяти устройств.

Таким образом, существует необходимость в разработке технологии для внедрения методов ИИ при решении задач управления сложными MIMO-объектами в современные системы управления, например в PCU Honeywell Experion PKS.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, патентных исследованиях и выводы из них. Моделирование процесса очистки газа в дистилляционной колонне и расчёт интеллектуальных регуляторов выполнен в пакете прикладных программ Mathwork MATLAB. Расчёт дистилляционной колонны и динамическое моделирование для проверки результатов выполнено в программном обеспечении Honeywell Unisim Design R470, включающий в себя библиотеку Peng Robinson. Разработка системы управления на базе контроллеров Honeywell C300 выполнено в продукте Honeywell Experion PKS R501 с использованием инструментов HMIWeb Display Builder для создания когнитивных мнемосхем, Configuration Studio для конфигурации оборудования сервера, Control Builder для разработки стратегий управления промышленным контроллером, Enterprise Model Builder для разработки модели предприятия, Quick Builder для настройки станции управления.

Актуальность темы диссертационного исследования.

Внедрение технологий умного производства позволяют увеличить доходность предприятий, путем внедрения методов искусственного интеллекта в системы автоматического управления, увеличить безопасность и экологичность предприятий. Согласно исследованиям консорциума ASM по

учёту внештатных ситуаций на производстве, экономика США каждый год теряет более чем 20 миллиардов долларов из-за аварий на производстве, что равняется от 3 до 8% потерь промышленного потенциала. При этом говорится, что от 20 до 25% всех потерь можно избежать путем внедрения систем правильного управления сигнализациями и внедрению высокоэффективных дисплеев на производстве, для лучшей осведомленности персонала о ситуации на промышленном предприятии.

Научная новизна темы исследования. Диссертационная работа посвящена разработке интеллектуальной системы управления сложным промышленным объектом дистилляционной колонной на основе метаэвристических алгоритмов с целью внедрения в распределённую систему управления Honeywell, где используются классические ПИД-регуляторы.

Экспериментальные исследования и результаты моделирования получены на примере реального сложного промышленного объекта нефтегазовой отрасли - дистилляционной колонны.

Научной новизной проводимых исследований являются:

- Разработка модифицированных критериев качества для сложной ММО-системы управления реальным промышленным объектом дистилляционной колонной;

- Настройка параметров ПИ-регуляторов сложной ММО-системы с учётом предложенных модифицированных критериев качества на основе метаэвристических алгоритмов искусственного интеллекта.

- Внедрение полученных результатов в распределённую систему управления Experion PKS фирмы Honeywell.

- Разработка когнитивных НМИ-интерфейсов для операторов и инженеров станций распределенной системы управления с учётом психофизических особенностей человека.

Цель работы заключается в разработке инновационной Smart-технологии для системы управления сложным объектом нефтегазовой отрасли на основе подходов искусственного интеллекта, таких как: алгоритм колонии муравьев (ACO), алгоритм стрекозы (DA), алгоритм оптимизации серого волка (GWO), алгоритма поиска кукушки (CS), генетического алгоритма (GA) и алгоритма искусственным иммунных систем на базе клональной селекции (CLONALG), а так же её реализация для распределенной системы управления Honeywell Experion PKS.

Решение поставленной цели достигается с помощью выполнения следующих задач, где необходимо:

1. Произвести анализ состояния и перспективы развития искусственного интеллекта в современном промышленном производстве.
2. Обосновать структуру SMART-системы управления.
3. Выполнить построение модели дистилляционной колонны и произвести операцию развязки для уменьшения влияния взаимосвязей многомерного и многосвязного технологического объекта.

4. Разработать модифицированные критерии качества для сложного объекта управления с целью обеспечения точности регулирования и стабильности переходных процессов.

5. Разработать программу для расчёта интеллектуальных ПИ регуляторов, включающая связь оптимизационных алгоритмов искусственного интеллекта, модифицированных критериев качества сложного объекта управления и модели процесса очистки газа с учётом матрицы развязки.

6. Выполнить сравнительный анализ рассчитанных регуляторов с помощью алгоритмов оптимизации ACO, GWO, DA, CS, GA, CLONALG для разработанных модифицированных критериев качества и выбрать наиболее подходящий вариант. Произвести расчёт дистилляционной колонны в программном продукте Unisim Design и выполнить динамическое моделирование колонны с учётом рассчитанных интеллектуальных ПИ-регуляторов. Обобщить результаты исследования.

7. Разработать стратегию управления процессом очистки газа с помощью ПИ-регуляторов в распределенной системе управления Experion PKS. Разработать когнитивные мнемосхемы для управления процессом очистки газа операторами или инженерами промышленного предприятия с учётом психофизических особенностей человека.

Объект исследования. Рассматривается процесс очистки газа в дистилляционной колонне на предприятии нефтегазовой отрасли.

Предмет исследования. Методы и алгоритмы интеллектуального управления многомерными и многосвязными технологическими объектами.

Задачи исследований, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом. Задача исследования заключается в реализации современных методов, подходов и алгоритмов ИИ, научные результаты которых успешно внедряются в реальное промышленное производство с целью реализации управления сложными технологическими объектами, характеризующимися многомерной и многосвязной структурой.

Методологическая база исследований. Исследовательская работа выполнялась путем выполнения практических исследований с учетом теоретических материалов. В ходе выполнения экспериментов рассматривались биоинспирированные алгоритмы искусственного интеллекта, такие как: алгоритм колонии муравьев; генетический алгоритм; алгоритм поиска кукушки; алгоритм стрекозы; алгоритм оптимизации серого волка; алгоритм искусственных иммунных систем на базе клональной селекции. Для реализации управления сложным объектом использовался метод развязывающего управления для многомерных и многосвязных процессов.

Положения, выносимые на защиту. На защиту докторской диссертации автором выносятся следующие положения:

1) Модель развязывающего управления для процесса очистки газа, реализованная в программном продукте MATLAB Simulink.

2) Разработанные модифицированные критерии качества ISE_M, ITSE_M, IAE_M для управления многомерным процессом очистки газа в дистилляционной колонне.

3) Разработанная структура SMART-системы управления процессом очистки газа.

4) Алгоритм для расчёта коэффициентов ПИ-регуляторов с учетом модифицированных критериев качества с использованием алгоритмов ИИ. Расчёты и анализ регуляторов, выполненных с помощью алгоритмов искусственного интеллекта.

5) Динамическая модель и модель в устойчивом состоянии, с интеллектуальными регуляторами, реализованная в программном обеспечении Honeywell Unisim Design.

6) Разработанная стратегия управления для контроллера Honeywell Series C C300, модель предприятия с программно-аппаратной реализацией, когнитивные НМІ-мнемосхемы для управления объектом - дистилляционной колонны.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа «Разработка Smart-технологии для систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта» состоит из введения, пяти основных разделов, заключения, списка используемой литературы из 107 источников и 8 приложений. Работа содержит 118 страниц, 49 рисунков и 9 таблиц.

Первый раздел посвящен обзору современных достижений в области управления промышленными технологическими процессами с применением методов искусственного интеллекта.

Во втором разделе рассматривается технологическая схема процесса очистки газа в дистилляционной колонне (ДК), конфигурации и типы ДК.

В разделе три рассматриваются методы и алгоритмы необходимые для выполнения управления сложным многомерным и многосвязным объектом ДК. Рассматривает метод «decoupling» для уменьшения влияния взаимосвязей на основные каналы управления. Выполнен синтез модифицированных критериев качества, необходимых для расчёта ПИ-регуляторов. Рассматриваются алгоритмы ИИ, наиболее подходящие для решения поставленной задачи.

Четвертый раздел посвящён разработке программного обеспечения для расчёта ПИ-регуляторов с учётом модифицированных критериев качества на базе биоинспирированных алгоритмов. Выполнен анализ эффективности алгоритмов и выбрана лучшая комбинация разработанного критерия качества и алгоритма ИИ.

Раздел 5 посвящён вопросу интеграции интеллектуальной системы управления многомерным и многосвязным объектом управления – дистилляционной колонны на базе метаэвристических алгоритмов (ACO, GWO, DA, CS) в распределённую систему управления Experion PKS компании Honeywell. Рассматриваются вопросы реализации стратегии управления и создания когнитивных мнемосхем для повышения эффективности управления. Разработано программное обеспечение с интерфейсом для настройки регуляторов на базе алгоритма ACO. Рассматривается цифровой двойник колонны, разработанный в программном обеспечении Honeywell Unisim Design.

В заключении изложены основные результаты исследования и выводы по работе.

Заключение. В рамках диссертационной работы получены следующие основные результаты:

1) Сформулирована постановка задачи исследования по внедрению интеллектуальной SMART-системы управления в реальное промышленное производство;

2) Разработана архитектура SMART-системы управления сложным объектом на примере дистилляционной колонны и промышленного оборудования фирмы Honeywell;

3) Осуществлен анализ математической модели дистилляционной колонны;

4) Сформированы модифицированные критерии управления, в соответствии с качественными требованиями к технологическому процессу очистки газа в дистилляционной колонне;

5) Синтезированы интеллектуальные ПИ-регуляторы для системы управления дистилляционной колонны на основе алгоритмов ACO, GWO, DA, CS, GA, эффективно минимизирующие разработанные критерии качества.

6) Получены результаты моделирования синтеза интеллектуальных ПИ-регуляторов и проанализированы лучшие подходы управления.

7) Разработано программное обеспечение для SMART управления дистилляционной колонной на базе распределённой системы управления Honeywell Experion PKS.

8) Разработаны когнитивные мнемосхемы для SMART-системы управления дистилляционной колонны с учётом особенностей зрения и психофизических характеристик операторов.

9) Выполнено создание цифрового двойника технологического процесса в программном продукте Honeywell Unisim Design, где выполнено построение модели в устойчивом состоянии и в динамическом режиме.

Внедрение результатов исследования. Получено два акта внедрения результатов научных исследований. Обучающая программа интегрирована в учебные планы Казахстанско-Британского Технического Университета по специальностям «Автоматизация и управление», «Химическая технология органических веществ». Так же результаты работы внедрены в ТОО «Ханиуэлл - Автоматические Системы Управления», которая является региональным представителем компании «Honeywell International Inc».

Уровень достоверности и результаты апробации. По результатам исследований было опубликовано 18 печатных работ, из которых 2 в международных высокорейтинговых журналах Скопус, получено два авторских свидетельства на программы для ЭВМ а также два акта внедрения. Список опубликованных работ представлен ниже:

1. Samigulin, T., Shiryayeva, O. Development of a smart-system for a complex industrial object control based on metaheuristic algorithms of swarm intelligence // WSEAS Transactions on Power Systems. – 2021. – Vol. 16. – pp. 231-240. SCOPUS (Q3, Cite Score 0.7, 25%)

2. Samigulina G., Samigulin T. Development of a cognitive mnemonic scheme for an optical smart-technology of remote learning based of artificial immune systems // *Computer Optics*. – 2021. – Vol. 45(2). – pp. 286-295. SCOPUS (Q1, Cite Score 4.4, 82%)

3. Самигулина Г.А., Самигулин Т.И. Обзор современных подходов искусственного интеллекта для систем управления сложными объектами // *Проблемы информатики*. – Новосибирск, 2018. - №3. – С. 4-20.

4. Самигулин Т.И., Самигулина Г.А. Разработка программного обеспечения для управления сложным объектом на основе алгоритма муравьиной колонии // *Материалы X Всероссийской научно-технической конференции с междунар. участием «Робототехника и искусственный интеллект»*. – Железногорск, 2018. – С. 119-123.

5. Самигулина Г.А., Самигулин Т.И. Авторское свидетельство на программу для ЭВМ №836. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом на программное обеспечение «АССО (Ant Colony for Complex Objects)» опублик. 6.12.2018 г.

6. Самигулина Г.А., Самигулин Т.И. Разработка SMART-технологии для управления сложным объектом с использованием алгоритма муравьиной колонии. – Алматы: *Вестник Алматинского Университета Энергетики и Связи*. №1 (44). - 2019. – С. 98-105.

7. Ширяева О.И., Самигулин Т.И. Разработка искусственной иммунной системы управления многомерным объектом нефтегазовой отрасли // *Вестник НТУ "ХПИ"*. Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2019. – 2019. – № 13 (1338). – Р. 155-165.

8. Ширяева О.И., Самигулин Т.И. Сравнительный анализ настройки регуляторов системы управления процесса перегонки газа через дистилляционную колонну на основе Smart-технологий // *Международная научно-практическая конференция «Инновационные IT и Smart-технологии»*, посвященная 70-летию юбилею профессора Утепбергенова И.Т., 20 марта 2019 года. –270-273с.

9. Ширяева О.И., Самигулин Т.И. Анализ результатов моделирования процессов нефтегазовой отрасли на основе Smart-технологий // *Труды Сатпаевских чтений инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК*, 2019. – Том 2. – 270-274с.

10. Ширяева О.И., Самигулин Т.И. Моделирование и развязывание сложной системы с оптимальными CLONALG-регуляторами // – Алматы: *IV международная научно-практическая конференция "Информатика и прикладная математика"*, 25-29 сентябрь 2019г.

11. Shiryayeva O., Samigulin T. CLONALG application to the PID-controller synthesis of MIMO-systems in oil and gas industry // *Lublin: Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. – 2019. – № 3. – Р. 50-53. DOI: 10.35784/iapgos.235

12. Ширяева О.И., Самигулин Т.И., Панюкова Д. В. Базовые концепции развития искусственной иммунной системы на класс сложных систем // Вестник КазННТУ. – 2019. – № 5. – С. 501-504.

13. Самигулин Т.И., Ширяева О. И. Разработка Smart-системы управления сложным технологическим процессом нефтегазовой отрасли с применением биоинспирированных алгоритмов // Вестник КБТУ. – 2019. – Т. 16. – Вып. 4. – С. 164-171.

14. Ширяева О.И., Самигулин Т.И. Разработка программного обеспечения реализации технологии негативной селекции построения интеллектуальной системы управления для нефтегазовой отрасли // Алматы: КазННТУ имени Сатпаева, материалы конференции «Сатпаевские чтения -2020». – 2020. – С. 245-248.

15. Ширяева О.И., Самигулин Т.И. Авторское свидетельство на программу для ЭВМ №11354. Реализация Smart-технологии построения системы управления для технологических процессов нефтегазовой отрасли; опубл. 14.07.2020. – 2с.

16. Ширяева О.И., Самигулин Т.И. Реализация SMART-технологии построения оптимальных систем на основе модифицированных алгоритмов // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2020. – № 1 (3). – С.41-49.

17. Ширяева О.И., Самигулин Т.И. Интеграция современной микропроцессорной техники распределённой системы управления с алгоритмами AIS / Ширяева О.И., Самигулин Т.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2021. – №1(5). – 56-69с.

18. Самигулин Т.И., Ширяева О.И. Разработка оптимальной системы управления сложным технологическим процессом на базе метаэвристических алгоритмов роевого интеллекта и оборудования компании Honeywell // Вестник КБТУ. – 2021. – Вып. №1 (56). – С. 150-156.