DOI: 10.17117/nv.2015.04.077

Поступила (Received): 24.11.2015

<http://ucom.ru/doc/nv.2015.04.077.pdf>info@ugntu-str.ru**Муллабаев И.З.****Разработка системы регулирования температуры
воды на основе нечеткого регулятора****Mullabaev I.Z.****Development of water temperature control
system based on fuzzy controller**

Главное преимущество нечетких регуляторов возможность управления сложными объектами с плохо изученной динамикой на основе методов, базирующихся на знаниях. Идея нечеткого управления при этом сводится к моделированию поведения человека-эксперта, способного управлять объектом, не зная его математической модели. Эксперт формулирует свои действия по управлению в виде некоторых лингвистических правил, представляемых затем с помощью аппарата нечеткой логики. Однако сам переход от лингвистических правил к их количественному представлению является недостаточно формализованным и зависит, в частности, от произвольного выбора формы функций принадлежности. Поскольку качество нечеткого регулятора существенно зависит от изменения формы функций принадлежности, то необходима оптимизация (подстройка) параметров этих функций. Разработанный проект посвящен созданию автоматизированной системы управления температуры воды в емкости в среде Unity Pro XL на основе многомерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью

Ключевые слова: контроллер, SCADA-система, датчик температуры

The main advantage of fuzzy controllers is the ability to control complex objects with poorly understood dynamics using the knowledge-based methods. The idea of fuzzy control thus amounts to the simulation of human expert behavior, able to manipulate the object without knowing its mathematical model. Expert formulates its control actions in the form of some linguistic rules, then submitted using fuzzy logic. However, the transition from the linguistic rules to their quantitative representation is not sufficiently formalized and depends, in particular, on the free choice of the membership functions shape. Since the fuzzy controller quality significantly depends on changes in the membership functions shape, the optimization (tuning) of these functions parameters is necessary. The developed project is dedicated to the water temperature automated control system creation in Unity Pro XL environment, based on multi-dimensional fuzzy controller with the precise terms

Key words: controller, SCADA-system, temperature sensor

Муллабаев Искандер Зинурович

Студент

Уфимский государственный нефтяной
технический университет (филиал)
г. Стерлитамак, пр. Октября, д. 2**Mullabaev Iskander Zinurovich**

Student

Ufa State Petroleum Technological University
(branch)
Sterlitamak, Oktyabrya ave., 2**Введение (Introduction)**

Главное преимущество нечетких регуляторов возможность управления сложными объектами с плохо изученной динамикой на основе методов,

базирующихся на знаниях. Идея нечеткого управления при этом сводится к моделированию поведения человека-эксперта, способного управлять объектом, не зная его математической модели. Эксперт формулирует свои действия по управлению в виде некоторых лингвистических правил, представляемых затем с помощью аппарата нечеткой логики. Однако сам переход от лингвистических правил к их количественному представлению является недостаточно формализованным и зависит, в частности, от произвольного выбора формы функций принадлежности. Поскольку качество нечеткого регулятора существенно зависит от изменения формы функций принадлежности, то необходима оптимизация (подстройка) параметров этих функций.

Разработанный проект посвящен созданию автоматизированной системы управления температурой воды в емкости в среде Unity Pro XL на основе многомерного нечеткого регулятора с четкими термами.

Регулирование температуры – важнейшая задача любого технологического процесса. Важно при этом регулировать температуру с заданной точностью и в заданном интервале. Использование нечеткого алгоритма позволяет справиться с этой задачей.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Краеугольным принципом использования многомерных нечетких регуляторов с четкими термами (МНРсЧТ) является интерпретация входных и выходных переменных, а также функций компенсации взаимовлияния контуров регулирования совокупностью четких термов, т. е. термов с прямоугольной формой функции принадлежности. На рисунке 1 представлена интерпретация регулируемого параметра *temp* совокупностью из 14 четких термов: $T_1, T_2, \dots, T_{14}$. Передний фронт этих термов описывается жестким, а задний – мягким неравенствами, например, $78^\circ\text{C} < T_{11} \leq 84^\circ\text{C}$ и т. д.

Рис. 1. Интерпретация регулируемого параметра *temp* четкими термами

Замена регулируемого параметра *temp* совокупностью четких термов позволяет построить следующую систему продукционных правил, например, при

любом заданном значении температуры, попадающем в интервал значений терма T_4 ($36\text{ }^{\circ}\text{C} < T_4 \leq 42\text{ }^{\circ}\text{C}$):

Если $temp = 20$, то $S = 1$;
 Если $temp = 21$, то $S = 1$;
 ...
 Если $temp = 37$, то $S = 1$;
 Если $temp = 38$, то $S = 1$;
 Если $temp = 39$, то $S = 1$;
 Если $temp = 40$, то $S = 0$;
 Если $temp = 41$, то $S = 0$;
 Если $temp = 42$, то $S = 0$;
 ...
 Если $temp = 100$, то $S = 0$,

где S – состояние нагревателя (1 – включен, 0 – выключен).

Ширина термов T_1 и T_{14} равна соответственно $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, ширина термов $T_2, T_3, \dots, T_{13}$ – $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В данном случае система продукционных правил реализует регулирование в диапазоне температур с интервалом $\pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Общая схема разработанной установки представлена на рисунке 2.

Рис. 2. Схема установки регулирования воды

Для измерения температуры использован термопреобразователь сопротивления марки NZPJ-230 с пределами измерений от 0 до 300 °С, выдающий унифицированный выходной сигнал 4-20 мА.

Для разработки системы управления в проекте выбран контроллер Modicon M340. Функциональные устройства контроллера конструктивно оформлены в виде модулей и блоков, оснащенных необходимым количеством разъемов и клемм для объединения в систему и подключения внешних устройств.

Стандартные и усовершенствованные процессорные модули платформы автоматизации Modicon M340 обеспечивают полноценное управление всем монтажным шасси ПЛК, оснащенным максимум 11 слотами под установку:

- модулей дискретного ввода/вывода;
- модулей аналогового ввода/вывода;
- специализированных модулей (счетного, связи по Ethernet TCP/IP и др.).

Четыре процессорных модуля отличаются друг от друга по объему памяти, скорости обработки данных, типу и количеству портов связи и максимальному количеству каналов ввода/вывода.

Кроме этого, в зависимости от модели, процессорный модуль может иметь:

- от 512 до 1024 каналов дискретного ввода/вывода;
- от 128 до 256 каналов аналогового ввода/вывода;
- от 20 до 36 счетных каналов;
- от 0 до 2 портов Ethernet TCP/IP (со встроенным портом и сетевым модулем или без них).

Модули дискретного ввода/вывода для платформы автоматизации Modicon M340 представляют собой стандартные модули, занимающие один слот и оснащенные одним из следующих разъемов:

- разъемом под винтовую или пружинную 20-контактную съемную клеммную колодку;
- одним или двумя 40-контактными соединительными разъемами.

Большое количество дискретных входов и выходов в состоянии удовлетворять любым требованиям с точки зрения:

- функций: входы/выходы переменного или постоянного тока, положительная или отрицательная логика;
- модульности – 8, 16, 32 или 64 каналов на модуль.

На входы модуля могут подаваться сигналы датчиков и при этом обеспечивается:

- сбор сигналов;
- адаптация уровней;
- электрическая развязка;
- фильтрация;
- защита от “паразитных” помех.

В состав модулей аналогового ввода/вывода входят:

Три изолированных модуля аналогового ввода:

- 4 высокоскоростных аналоговых канала (16 бит) напряжения/тока ВМХ АМІ 0410;

- 4 и 8 аналоговых каналов (15 бит + знак) для термопар и датчиков температуры Pt, Ni или Cu, ВМХ АТ 0414/0814.

– Один модуль аналогового ввода с 2 каналами напряжения/тока BMX АМО 0210;

– Один смешанный модуль (12 бит) с 4 аналоговыми входными каналами и 2 аналоговыми выходными неизолированными каналами напряжения/тока, BMX АММ 0600.

В модулях аналогового ввода/вывода предусмотрен разъем под 20-контактную съемную клеммную колодку, за исключением модулей аналогового ввода BMX ART 0414/0814 с термopарами/датчиками температуры, которые снабжены 40-контактным соединительным разъемом.

Программирование контроллера осуществляется с помощью персонального компьютера – в системе программирования Unity Pro XL 7.0.

Unity Pro – это программная среда, при помощи которой проводят программирование ПЛК. Unity Pro версии 7.0 поддерживает следующие аппаратные платформы: Modicon M340, Quantum, Premium, Atrium. Unity Pro содержит следующие ИЕС языки программирования: диаграмма функциональных блоков (FBD), схемы электроцепей (LD), диаграмма последовательного управления (SFC), список команд (IL) и структурированный текст (ST).

Результаты (Results)

Реализация нечеткого алгоритма осуществлена на языке ST. Фрагмент программы, реализующей данный алгоритм, представлен на рис. 3.

```
If temp_ust=39 and ((temp>=37 and temp<=39) or temp<37) then
ten:=1;
elsif temp_ust=39 and ((temp>=40 and temp <=42) or temp>=43) thei
ten:=0;
end_if;

If temp_ust=40 and ((temp>=37 and temp<=39) or temp<37) then
ten:=1;
elsif temp_ust=40 and ((temp>=40 and temp <=42) or temp>=43) thei
ten:=0;
end_if;

If temp_ust=41 and ((temp>=37 and temp<=39) or temp<37) then
ten:=1;
elsif temp_ust=41 and ((temp>=40 and temp <=42) or temp>=43) thei
ten:=0;
end_if;

If temp_ust=42 and ((temp>=37 and temp<=39) or temp<37) then
ten:=1;
elsif temp_ust=42 and ((temp>=40 and temp <=42) or temp>=43) thei
ten:=0;
end_if;

If temp_ust=43 and ((temp>=43 and temp<=45) or temp<43) then
ten:=1;
elsif temp_ust=43 and ((temp>=46 and temp <=48) or temp>48) then
ten:=0;
end_if;
```

Рис. 3. Фрагмент листинга программы в среде Unity Pro на языке ST

Окно редактора переменных представлено на рисунке 4.

Name	Type	Address	Value	Comment
m_temp	INT	%MW2		
m_ten	EBOOL	%M6		
temp	INT	%IW0.3.1.0		
temp_ust	INT	%MW3	20	
ten	EBOOL	%Q0.2.21		

Рис. 4. Окно редактора переменных

В программе объявлены следующие переменные:

1. temp – переменная, в которую записывается значение температуры, приходящее с термопреобразователя;
2. temp_ust – задаваемое пороговое значение температуры;
3. ten – переменная, принимающая значение «0» или «1» после сравнения температуры, приходящей с термопреобразователя, с пороговым значением температуры;
4. m_temp – переменная для передачи данных в Vijeo Citect, хранящая значение температуры, приходящее с термопреобразователя;
5. m_ten – переменная для передачи данных в Vijeo Citect, хранящая данные о состоянии нагревательного тента (включен/выключен).

Опишем алгоритм работы программы управления установкой автоматической контроля и регулирования температуры.

Производится сравнение температур между термопреобразователем сопротивления NZPJ-230 (temp) и установленным значением (temp_ust). Если температура установки больше температуры установленного значения, то сигнал, подаваемый на реле, будет логический ноль. Если меньше, то будет подаваться логическая единица. Например, если установленное значение temp_ust=38 °C, ему соответствует значение терма T_4 . Если регулируемый параметр temp равен одному из термов T_1, T_2, T_3 , то значение переменной ten равно единице, и на реле идет сигнал логической единицы – нагреватель включен. Если регулируемый параметр temp равен одному из термов $T_5, T_6, \dots, T_{14}$, то значение переменной ten равно нулю, и на реле идет сигнал логического нуля – нагреватель выключен.

Каждый терм разделен на два интервала. Так, например, если установленное значение температуры соответствует терму T_4 , то, если значение переменной temp равно одному из первых трех значений 37, 38, 39 °C, нагреватель включен. Если же значение переменной temp равно одному из остальных трех значений 40, 41, 42 °C – нагреватель выключен.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) автоматизированной системы регулирования температуры воды разработано на базе интегрированной системы проектирования и управления Vijeo Citect.

В программе имеется главный экран, предоставляющий пользователю всю необходимую информацию для наблюдения изменения параметра технологического процесса и необходимые инструменты для управления им (рис. 5).

Рис. 5. Экран АРМ в среде Vijeo Citect

На экране отображены:

- шкала температуры, позволяющая с точностью до 1 °C устанавливать задание температуры;
- задание температуры – установленное значение температуры;
- текущее значение температуры.

Для удобства отображена мнемосхема установки регулирования температуры воды (рисунок 6), сообщающая о состоянии нагревателя (включен/выключен).

а)

б)

Рис. 6. Мнемосхема установки регулирования температуры воды

а) нагреватель выключен; б) нагреватель включен

Для контроля температуры на экране оператора есть возможность просмотра трендов температуры (рис. 7).

Рис. 7. Тренды в реальном времени

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

В результате разработки системы были внедрены новые технологии, как на программном уровне, так и на прикладном уровне. Это позволит обеспечить более гибкое управление процессом, комфортную и автоматическую работу системы по заданному алгоритму работы.

В качестве алгоритма управления системой автоматического регулирования был использован алгоритм нечеткого регулятора с интерпретацией четких термов. Это позволило регулировать температуру с заданной точностью в заданном интервале, что очень важно с точки зрения качества регулирования.

Список используемых источников:

1. Муравьева Е.А., Шарипов М.И., Каяшева Г.А., Григорьева Т.В., Боев Е.В., Афанасенко В.Г. Системы искусственного интеллекта. Часть 1. Уфа, 2015.
2. Сагдатуллин А.М., Муравьева Е.А., Емеев А.А. Классическая теория нечеткого управления в контексте методов дефаззификации // Современные проблемы науки и образования в техническом вузе. Уфа, 2015. С. 198-204.
3. Сагдатуллин А.М., Емеев А.А., Муравьева Е.А. Системно-интегративный подход к автоматизации процессов проектирования и контроля разработки нефтегазовых месторождений // Нефтяное хозяйство. 2015. № 3. С. 92-95.
4. Муравьева Е.А., Соловьев К.А., Султанов Р.Г., Соловьева О.И. Синтез нечеткого регулятора с заданной многомерной статической характеристикой // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2015. № 1. С. 245-260.
5. Соловьев К.А., Муравьева Е.А., Султанов Р.Г., Соловьева О.И. Синтез нечеткого регулятора для управления соотношением расходов «газ – воздух» на основе режимной карты // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2015. № 1. С. 275-291.
6. Sagdatullin A., Emekeev A., Muravyova E. Intellectual control of oil and gas transportation system by multidimensional fuzzy controllers with precise terms. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 756. P. 633.

7. Муравьева Е.А., Сагдатуллин А.М. Система управления насосной станцией с интерпретацией компенсационной функции совокупностью четких термов // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2015. Т. XIII. № 1. С. 363-368.
8. Шарипов М.И., Муравьева Е.А., Каяшев А.И., Багров К.А. Нечеткие когнитивные модели с представлением характеристик концептов совокупностью аргументов двузначной логики // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support. 2014. С. 18-21.
9. Емеев А.А., Сагдатуллин А.М., Муравьева Е.А. Интеллектуальное логическое управление электроприводом насосной станции // Современные технологии в нефтегазовом деле-2014. Уфа, 2014. С. 218-221.
10. Sagdatullin A., Muravyova E. Technological processes management by fuzzy controllers with multidimensional precise terms fuzzy regulator // Молодежь и современные информационные технологии. Томск, 2014. С. 305-306.
11. Каяшев А.И., Шарипов М.И., Муравьева Е.А., Багров К.А. Когнитивные карты с интерпретацией концептов и связей между ними совокупностью аргументов двузначной логики // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. 2014. С. 4126-4131.
12. Kayashev A., Muravyova E., Sharipov M., Emekeev A., Sagdatullin A. Verbally defined processes controlled by fuzzy controllers with input/output parameters represented by set of precise terms. // Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, 2014. С. 698.
13. Соловьев К.А., Муравьева Е.А., Султанов Р.Г. Адаптация нечеткого регулятора // Нефтегазовое дело. 2014. № 12-3. С. 123-128.
14. Муравьева Е.А., Сагдатуллин А.М., Емеев А.А. Artificial intelligence in objects recognition // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2014. Т. 12. № 1. С. 226-230.
15. Муравьева Е.А., Сагдатуллин А.М., Емеев А.А. Моделирование систем автоматизированного электропривода // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2014. Т. 12. № 1. С. 250-258.
16. Муравьева Е.А., Сагдатуллин А.М., Емеев А.А. Artificial intelligence and artificial neural network in images recognition // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. 2014. Т. 1. № 2. С. 98-101.
17. Муравьева Е.А., Шарипов М.И., Маннанов Ф.Ф. Система автоматизации отопления при помощи инфракрасных обогревателей механического цеха на ОАО «Красный Пролетарий» // Научные труды SWorld. 2014. Т. 2. № 4. С. 64-66.
18. Муравьева Е.А. Автоматизированное управление промышленными технологическими установками на основе многомерных логических регуляторов. Автореферат. Уфа, 2013.
19. Муравьева Е.А. Автоматизированное управление технологическими установками на основе многомерных логических регуляторов (на примере процессов термообработки). Уфа, 2013.
20. Муравьева Е.А. Автоматизированное управление промышленными технологическими установками на основе многомерных логических регуляторов: на примере процессов термообработки. Диссертация. Уфа, 2013.
21. Муравьева Е.А. Методология автоматизированного управления многосвязными технологическими процессами, реализованная на многомерных четких логических регуляторах // Современные проблемы науки и образования в техническом вузе. Уфа, 2013. С. 102-107.
22. Сергушин Г.С., Варламов О.О., Чибирова М.О., Елисеев Д.В., Муравьева Е.А. Исследование возможностей информационного моделирования сложных систем управления технологическими процессами на основе миварных технологий // Автоматизация и управление в технических системах. 2013. № 2. С. 51-66.
23. Сергушин Г.С., Чибирова М.О., Варламов О.О., Муравьева Е.А., Елисеев Д.В. Математическое моделирование автоматизированных систем управления на основе миварных технологий // Информация и образование: границы коммуникаций. 2013. № 5 (13). С. 143-145.
24. Каяшев А.И., Муравьева Е.А., Габитов Р.Ф. Четкий логический регулятор для управления технологическими процессами. Патент на изобретение RUS 2445669, 15.02.2010.
25. Гузаиров М.Б., Муравьева Е.А. Управление технологическими процессами, реализованное на четких логических регуляторах. Москва: Машиностроение, 2012.
26. Муравьева Е.А., Варламов О.О. Об особенностях реализации миварной концепции в системах управления многосвязными технологическими процессами на основе четких логических регуляторов // Научная сессия НИЯУ МИФИ – 2012 АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ. 2012. С. 277.
27. Гузаиров М.Б., Муравьева Е.А., Соловьев К.А. Компьютерная модель функции выходной мощности паровой винтовой машины // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2012. Т. 16. № 1 (46). С. 106-111.

28. Каяшев А.И., Муравьева Е.А., Габитов Р.Ф. Оптимизация температурного режима прокалки катализаторов крекинга по экономическим показателям технологического процесса // Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18. № 2. С. 106-110.
29. Guzairov M.B., Gabitov R.F., Kayashev A.I., Muravyova E.A. Autoregressive neural network for model predictive control of multivariable cracking catalyst calcinatory // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2011. Т. 20. № 3. С. 216-223.
30. Габитов Р.Ф., Каяшев А.И., Муравьева Е.А. Управление печью прокалки цеолитсодержащих катализаторов крекинга нефтепродуктов методом плавающего горизонта с использованием нейросетевой модели // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2010. № 12. С. 12-19.
31. Каяшев А.И., Муравьева Е.А., Габитов Р.Ф. SCADA-система на основе многомерного четкого логического регулятора для управления цементной печью // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2010. Т. 14. № 4 (39). С. 119-125.
32. Антипин А.Ф., Каяшев А.И., Муравьева Е.А. Система автоматического управления элементами дистилляции на базе многомерного логического регулятора // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2010. Т. 14. № 4 (39). С. 126-131.
33. Муравьева Е.А., Антипин А.Ф. Многомерный дискретно-логический регулятор расхода воздуха парового котла с минимизацией времени отклика // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2009. Т. 13. № 2. С. 83-87.
34. Муравьева Е.А. Интегрированные системы проектирования и управления // Автоматизация технологических процессов и производств. Уфа, 2008.
35. Каяшева Г.А., Муравьева Е.А., Байманов И.Ф. Дискретно-логическая система регулирования величины pH электролита в производстве хлора методом электролиза // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 1. С. 10.
36. Муравьева Е.А., Каяшева Г.А. Нечеткие регуляторы с ану-тайм алгоритмом минимизации времени фазификации параметров технологических процессов в совокупность четких термов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2008. Т. 10. № 2. С. 53-57.
37. Муравьева Е.А., Каяшева Г.А. Нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью для управления технологическими процессами. Патент на изобретение RUS 2309443 09.03.2006.
38. Муравьева Е.А. Управление химико-технологическими процессами с идентификацией отклонения терм-множеством лингвистических переменных // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 3. С. 104-108.
39. Каяшев А.И., Муравьева Е.А. Синтез логических структур химико-технологических систем на основе последовательностных уравнений // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 3. С. 97-100.

References:

1. Muravyova E.A., Sharipov M.I., Kayasheva G.A., Grigoryeva T.V., Boev E.V., Afanasenko V.G. Artificial intelligence systems Textbook. Part 1. Ufa, 2015.
2. Sagdatullin A.M., Muravyova E.A., Emekeev A.A. The classical fuzzy control theory in the context of defuzzification methods. In proceedings: Modern problems of science and education in a technical university. Ufa, 2015. P. 198-204.
3. Sagdatullin A.M., Emekeev A.A., Muravyova E.A.. System-integrative approach to the design and control processes automation of oil and gas fields. Oil Industry. 2015. № 3. P. 92-95.
4. Muravyova E.A., Solovyov K.A., Sultanov R.G., Solovyov O.I. Synthesis of fuzzy controller with a preset multi-dimensional static characteristic. Electronic Scientific Journal Oil and Gas Business. 2015. № 1. P. 245-260.
5. Solovyov K.A., Muravyova E.A., Sultanov R.G., Solovyov O.I. Synthesis of fuzzy controller to control the flow rate ratio "gas – air" on the basis of the regime card. Electronic Scientific Journal Oil and Gas Business. 2015. № 1. P. 275-291.
6. Sagdatullin A., Emekeev A., Muravyova E. Intellectual control of oil and gas transportation system by multidimensional fuzzy controllers with precise terms. Applied Mechanics and Materials. T. 2015. Vol. 756 P. 633.
7. Muravyova E.A., Sagdatullin A.M. The pumping station control system with the interpretation of the compensation function by the precise terms set. Scientific notes of Almet'yevsk State Petroleum Institute. 2015. Vol. XIII. № 1. P. 363-368.

8. Sharipov M.I., Muravyova E.A., Kayashev A.I., Bagrov K.A. Fuzzy cognitive models with the presentation of concepts characteristics by the set of two-valued logic arguments. In proceedings: Information Technologies for Intelligent Decision Making Support. 2014. P. 18-21.
9. Emekeev A.A., Sagdatullin A.M., Muravyova E.A. Pumping station electric drive smart logic control. Modern technologies in the oil and gas business – 2014. Ufa, 2014. P. 218-221.
10. Sagdatullin A., Muravyova E. Technological processes management by fuzzy controllers with multidimensional precise terms fuzzy regulator. Youth and the modern information technologies. Proceedings of the XII International scientific and practical conference of students, post graduate students and young scientists. Tomsk, 2014. P. 305-306.
11. Kayashev A.I., Sharipov M.I., Muravyova E.A., Bagrov K.A. Cognitive maps with the interpretation of the concepts and links between by a set of two-valued logic arguments. XII All-Russian conference on control problems VSPU 2014. 2014. P. 4126-4131.
12. Kayashev A., Muravyova E., Sharipov M., Emekeev A., Sagdatullin A. Verbally defined processes controlled by fuzzy controllers with input/output parameters represented by set of precise terms. Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014. 2014. P. 698.
13. Solovyev K.A., Muravyova E.A., Sultanov R.G. Fuzzy controller adaptation. Oil and gas business. 2014. V. 12. № 3. P. 123-128.
14. Muravyova E.A., Sagdatullin A.M., Emekeev A.A. Artificial intelligence in objects recognition. Scientific notes of Almet'yevsk State Petroleum Institute. 2014. V. 12. № 1. P. 226-230.
15. Muravyova E.A., Sagdatullin A.M., Emekeev A.A. Modelling of systems of automated electric. Scientific notes Almet'yevsk State Petroleum Institute. 2014. T. 12. № 1. P. 250-258.
16. Muravyova E.A., Sagdatullin A.M., Emekeev A.A. Artificial intelligence and artificial neural network in images recognition. Proceedings of the scientific session of Almet'yevsk State Petroleum Institute scientists. 2014. V. 1. № 2. P. 98-101.
17. Muravyova E.A., Sharipov M.I., Mannanov F.F. The heating automation system using infrared heaters in the machine shop of JSC "Red Proletarian". SWorld proceedings. 2014. V. 2. № 4. P. 64-66.
18. Muravyova E.A. Technological units automated control based on multi-dimensional logic controllers (the case of heat treatment processes). Abstract of dissertation. Ufa, 2013.
19. Muravyova E.A. Technological units automated control based on multi-dimensional logic controllers (the case of heat treatment processes). Ufa, 2013.
20. Muravyova E.A. Technological units automated control based on multi-dimensional logic controllers: the case of heat treatment processes. Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences. Ufa, 2013.
21. Muravyova E.A. The methodology of multivariable process automated control implemented on multidimensional precise logic controllers. In proceedings: Modern problems of science and education in a technical university. Ufa, 2013. P. 102-107.
22. Sergushin G.S., Varlamov O.O., Chibirov M.O., Yeliseyev D.V., Muravyova E.A. Investigation of possibilities of complex process control systems information modeling based on mivar technology. Automation and control in technical systems. 2013. № 2. P. 51-66.
23. Sergushin G.S., Chibirov M.O., Varlamov O.O., Muravyova E.A., Eliseev D. Mathematical modeling of the automated control systems based on mivar technology. Information and education: border communications. 2013. № 5 (13). P. 143-145.
24. Kayashev A.I., Muravyova E.A., Gabitov R.F. The precise logic controller for process control. RUS patent 2445669, 15.02.2010.
25. Guzairov M.B., Muravyova E.A. Process Control implemented on precise logic controllers. Moscow: Masinostroenie, 2012.
26. Muravyova E.A., Varlamov O.O. Peculiarities of the mivar concept realization in technological processes multivariable control systems on the basis of precise logic controllers. In proceedings: Scientific session MEPhI – 2012 abstracts. 2012. P. 277.
27. Guzairov M.B., Muravyova E.A., Solovyov K.A. Output power function computer model of steam screw machine. Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. 2012. T. 16. № 1 (46). P. 106-111.
28. Kayashev A.I., Muravyova E.A., Gabitov R.F. Temperature control optimization of catalysts calcination cracking using economic indicators of the process. Chemical Bashkirfn magazine. 2011. V. 18. № 2. P. 106-110.
29. Guzairov M.B., Gabitov R.F., Kayashev A.I., Muravyova E.A. Autoregressive neural network for model predictive control of multivariable cracking catalyst calcinatory. Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2011. V. 20. № 3. P. 216-223.

30. Gabitov R.F., Kayashev A.I., Muravyova E.A. Zeolite petroleum cracking catalysts calcination furnace control by means of floating horizon using the neural network model. *Automation, remote control and communication in the oil industry*. 2010. № 12. P. 12-19.
31. Kayashev A.I., Muravyova E.A., Gabitov R.F. SCADA-system based on multidimensional precise logic controller for cement kiln. 2010. V. 14. № 4 (39). P. 119-125.
32. Antipin A.F., Kayashev A.I., Muravyova E.A. The automatic control system of distillation elements on the basis of a multi-dimensional logic controller. *Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University*. 2010. V. 14. № 4 (39). P. 126-131.
33. Muravyova E.A., Antipin A.F. Boiler air flow multidimensional discrete-logic controller with minimum response time. *Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University*. 2009. V. 13. № 2. P. 83-87.
34. Muravyova E.A. Integrated design and control systems. *Automation of technological processes and productions*. Ufa, 2008.
35. Kayasheva G.A., Muravyova E.A., Baimanov I.F. Discrete-logic electrolyte ph value control system the in the electrolysis chlorine production. *Automation, remote control and communication in the oil industry*. 2008. № 1. P. 10.
36. Muravyova E.A., Kayasheva G.A. Fuzzy controllers with any-time algorithm minimization of process parameters time fuzzification into precise terms set. *Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University*. 2008. V. 10. № 2. P. 53-57.
37. Muravyova E.A., Kayasheva G.A. Fuzzy controller with a linguistic feedback for process control. Patent for the invention RUS 2309443 09.03.2006.
38. Muravyova E.A. Chemical processes control with deviations identifying using linguistic variables term set. *Bashkirian Chemical journal*. 2006. V. 13. №3. P. 104-108.
39. Kayashev A.I., Muravyova E.A. Chemical processes logical structures synthesis on the basis of multicycled equations. *Bashkirian Chemical journal*. 2006. V. 13. № 3. P. 97-100.

© 2015, Муллабаев И.З.

Разработка системы регулирования температуры воды на основе нечеткого регулятора

© 2015, Mullabaev I.Z.

Development of water temperature control system based on fuzzy controller