

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. М. Зиятдинов

В статье исследуется вопрос повышения эффективности регулирования технологических процессов нефтегазодобывающей промышленности и рассматривается автоматизированное управление системы транспорта и подготовки нефти с различными типами логических регуляторов.

Ключевые слова: транспорт и подготовка нефти, нефтегазодобывающее предприятие, автоматизация, логический регулятор

Одним из важнейших направлений развития экономики России является переход промышленности на инновационный путь развития, что предполагает разработку и внедрение новых технологий и технических средств. Актуальными задачами для нефтегазодобывающего сектора являются: снижение потерь углеводородного сырья, поддержание его качества и энергосбережение в процессах транспорта и подготовки нефтепродуктов, так как основу данных технологических процессов составляют электроприводы большой единичной мощности, потребляющие до 65 % всей вырабатываемой электроэнергии [1]. Очевидно, что значительное энергосбережение в процессах транспорта и подготовки нефти можно ожидать при переводе в регулируемый режим применяемых в нефтегазодобывающей промышленности турбомеханизмов с внедрением интеллектуальных автоматизированных систем технологическими процессами. Систе-

мы автоматизации и управления электроприводами с асинхронными электродвигателями (АД) широко освещаются в научной литературе [2–9], однако основу регулирования технологическими процессами составляет схема с классическим пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) регулятором (рисунок 1).

$$U(t) = P + I + D = K_p \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt + \frac{1}{T_d} \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad (1)$$

где $U(t)$ – выходной сигнал регулятора, P – пропорциональная часть, I – интегральная часть, D – дифференциальная часть, K_p – коэффициент усиления, T_i – постоянная интегрирования, T_d – время дифференцирования, $\varepsilon(t)$ – ошибка (входной сигнал регулятора) [10].

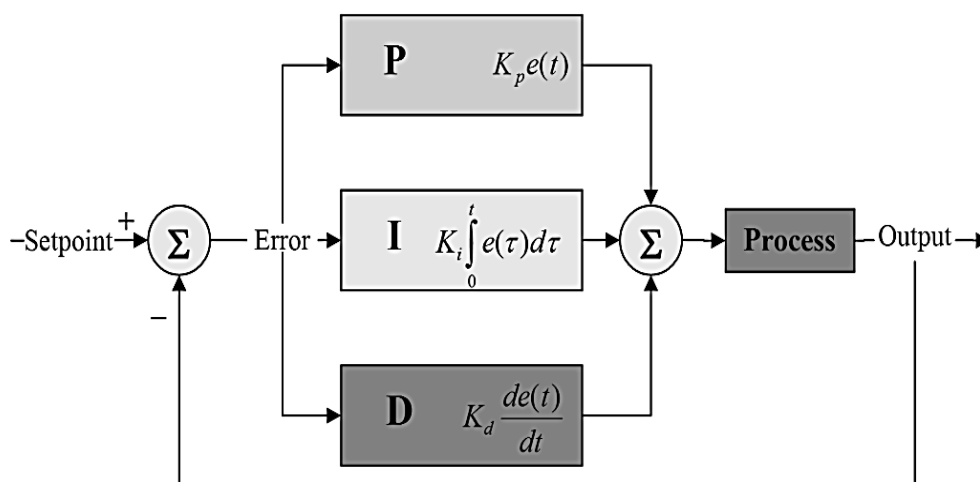


Рисунок 1 – Схема процесса, управляемого классическим ПИД регулятором

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В связи с тем, что функционирование насосных станций систем транспорта и подготовки нефти связано с непрерывным изменением технологических режимов эксплуатации и параметров работы электродвигателей насосов (представляет собой сложный и многомерный, с точки зрения управления, объект), ПИД регуляторы не могут обеспечить высокое качество регулирования данного технологического процесса, что приводит к увеличению потерь и неоправданным энергозатратам при транспорте и подготовке нефтяной продукции.

Следовательно, основной задачей данной работы является анализ систем логического управления технологическими процессами нефтегазодобывающего предприятия с целью выбора наиболее подходящего подхода к построению системы управления данными процессами, позволяющей повысить качество управления, снизить энергетические затраты и реализовать интеллектуальное управление указанным процессом на основе экспертной базы правил персонала.

Для устранения указанных недостатков ПИД регуляторов используются схемы с поисковой, беспойсковой или аналитической самонастройкой, т. е. адаптацией ПИД-управления. Однако, основными недостатками данных схем являются сложность настройки в связи с необходимостью идентификации и определения всех параметров объекта управления и отсутствие возможности учета неконтролируемых возмущающих воздействий в процессе идентификации. Данные системы с ПИД регулированием относятся к классу традиционных и применимы, в основном, к управлению объектами и процессами, линейно описываемыми в математической форме.

В последнее время, все большее распространение получают интеллектуальные системы управления (системы управления, использующие нечеткую логику, нейронные сети, генетические алгоритмы), способные к

распознаванию, созданию системы базы знаний и обучению в отношении объектов управления, возмущений, внешней среды и условий работы [11–13]. Особенно в интеллектуальных системах управления получила внедрение схема с нечетким регулятором (Fuzzy регулятор), представленным на рисунке 3, который был впервые внедрен в 1974 г. в схему управления паровым поршневым двигателем доктором Е. А. Мамдани [14].

На рисунке 2 представлена функция принадлежности нечетких переменных (“управление отрицательное” (T_{-1}), “управление приблизительно нулевое” (T_0), “управление положительное” (T_1)). Функция принадлежности характеризуется совокупностью нечетких термов и может принимать треугольную (рисунок 2), трапецеидальную, колоколообразную формы. Из рисунка 2 следует, что на универсальной числовой оси смежные термы перекрывают друг друга и это позволяет математически описать технологический процесс в нечеткой форме как при помощи его описания естественным языком (вербально).

На рисунке 3 представлена общая схема нечеткого регулятора (НР) с четкой обратной связью [15], в которой с помощью четкого сравнивающего устройства заданное и реальное значения регулируемой величины сравниваются в четком формате и комплектуются определенным набором (базой) правил. Основное преимущество Fuzzy регуляторов заключается в возможности регулирования значений физической величины по экспертной информации, описывающей объект управления в вербальной форме, т. е. для управления не требуется описание объекта математической моделью, что позволяет персоналу или квалифицированному эксперту по управлению процессом передавать системе управления опыт и навыки в виде системы нечетких производственных правил.

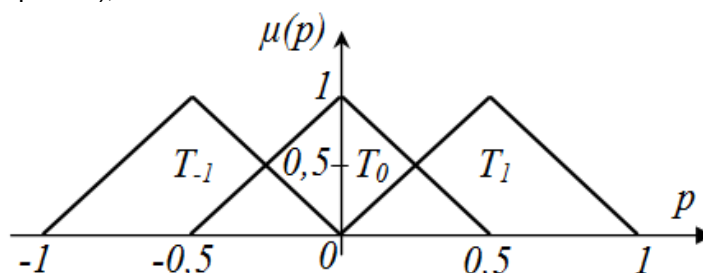


Рисунок 2 – Функция принадлежности нечетких переменных “управление отрицательное” (T_{-1}), “управление приблизительно нулевое” (T_0), “управление положительное” (T_1)

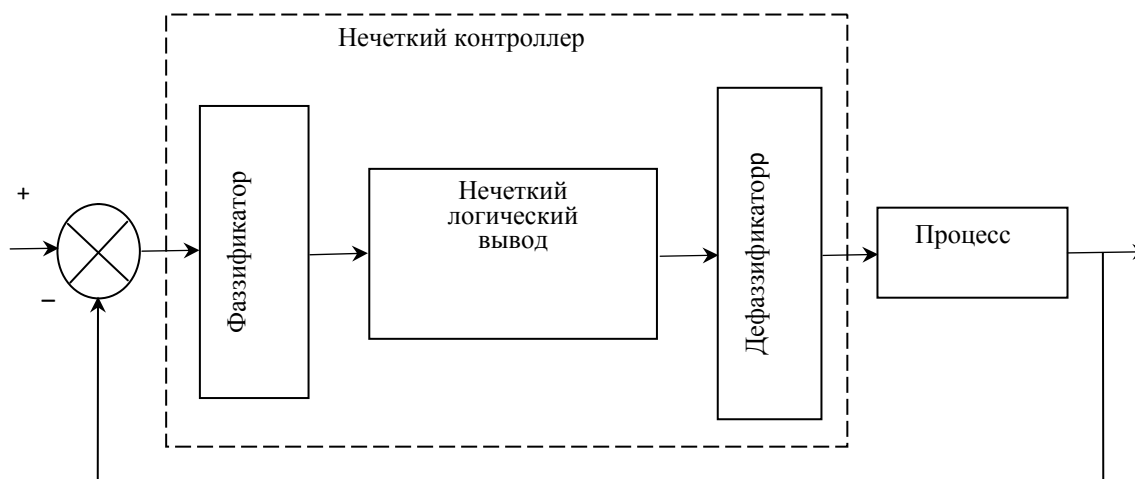


Рисунок 3 – Схема процесса, управляемого Fuzzy регулятором с четкой обратной связью

Также, Fuzzy регуляторы имеют и ряд существенных недостатков, ограничивающих их широкое внедрение:

- для управления технологическим процессом (ТП) с Fuzzy регулятором необходим грамотный персонал, в совершенстве владеющий навыками настройки базы производственных правил и опытом алгоритма работы ТП;
- Fuzzy регуляторы рекомендуется использовать в сложных, с точки зрения управления, ТП, в которых сложно подобрать параметры для их нормального функционирования, но есть возможность описать опыт эксперта вербально;
- значительная погрешность Fuzzy регуляторов регулирования в процессе дефаззификации, так как ПИД-управление процессами не только в нелинейных, но и в линейных многосвязных объектах управления, значительно выше;
- значительное время отклика Fuzzy регуляторов вследствие двойного сравнения текущего и заданного значения регулируемой величины – в сравнивающем устройстве на входе регулятора в четкой форме и в блоке нечеткого логического вывода в нечеткой форме.

Анализ работ [16–18], посвященных автоматизации сложных процессов, показывает, что возможности многомерных ПИД и Fuzzy регуляторов практически исчерпаны в направлениях по снижению погрешности управления, компенсации взаимовлияния контуров регулирования и увеличению времени отклика регуляторов, приводящих к повышению качества готовой продукции и уменьшению потерь энергии.

Достижение указанной цели и решение поставленных задач возможно при использо-

вании четкого логического регулятора, включающего фаззификатор, блок логического вывода с заданными функциями принадлежности четких термов переменных, на вход которого подаются входные и выходные переменные, а также дискретные входные и выходные переменные объекта управления, дефаззификатор, исполнительное устройство, объект управления и датчик обратной связи, ANY-TIME алгоритма, расположенного в начале системы производств правил [19].

На рисунке 4 представлена структурная схема четкого логического регулятора, предлагаемого для управления технологическим процессом транспорта и подготовки нефти, в котором входные и выходные переменные представлены совокупностью четких термов, т. е. таких термов, функция принадлежности которых равна единице на заданном отрезке универсальной числовой оси и равна нулю на всех остальных участках этой оси (рисунок 4), где $u(t)$ – текущее значение регулирующего параметра на выходе дефаззификатора 3, $z(t)$ – усиленное текущее значение регулирующего параметра на выходе исполнительного органа 4, $p(t)$ – текущее значение регулируемого параметра, $R_{\text{дверх}}$ – верхнее допустимое значение $p(t)$, $R_{\text{верх}}$ – верхнее значение $p(t)$, $R_{\text{ном}}$ – номинальное значение $p(t)$, $R_{\text{ниж}}$ – нижнее значение $p(t)$, $R_{\text{дниж}}$ – нижнее допустимое значение $p(t)$, T – вектор четких термов регулируемого $p(t)$ и регулирующего $z(t)$ параметров, U_T – вектор термов на выходе блока логического вывода 2, X – вектор входных дискретных параметров объекта управления 5, Y – вектор выходных дискретных параметров объекта управления 5.

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

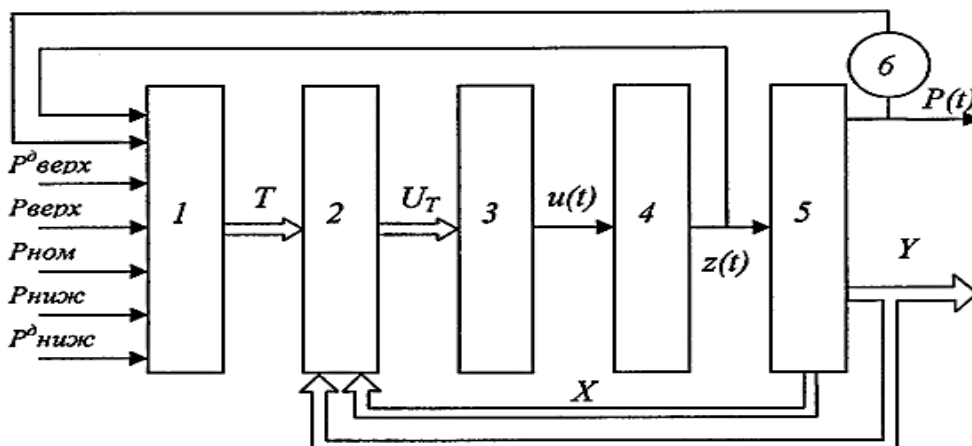


Рисунок 4 – Структурная схема четкого логического регулятора

Из рисунков 5, а и 5, б следует, что внутри каждого из термов лингвистических переменных P и Z любому четкому значению физической величины соответствует единичное значение функции принадлежности. В этом заключается принципиальное различие четких и нечетких термов [15]. Именно это обстоятельство позволяет оперировать с ними как аргументами двузначной логики.

Графическая интерпретация продукционного правила (2) (рисунок 5, в) означает, что если значение входного параметра p находится в диапазоне $l(1 \div 2)$ (терм T_2), то выходной параметр z (терм Z_3) необходимо поддерживать в интервале $l(2 \div 3)$, т. е. терму T_2 входной переменной P соответствует терм Z_3 выходной переменной Z ($i=2$ и $j=3$).

Терм-множество физической величины на основе четких множеств можно представить в виде: l – длина одного из термов на числовой оси физической величины, n – количество термов.

Связь l и n можно представить:

$$l = m/n,$$

где m – коэффициент, определяющий обратно-пропорциональную зависимость между l и n , т. е. при увеличении количества термов уменьшается длина каждого отдельно взятого терма, что приводит к повышению или уменьшению точности преобразования физической величины из четкого формата в нечеткий.

Продукционное правило с условной и заключительной частями в виде аргумента двузначной логики имеет следующий вид:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle \# \rangle: \text{ЕСЛИ } P = T_i, \text{ ТО } Z = Z_j, \quad (2)$$

где P и Z – соответственно входная и выходная физические переменные с четкими термами T_i и Z_j , где

$$\begin{aligned} P &= \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, \dots, T_n\}; \\ Z &= \{Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_j, \dots, Z_m\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где n и m – количество термов, идентифицирующих переменные P и Z .

Особенность логических правил на основе четких термов, используемых в системах логического вывода, состоит в том, что условия и заключения отдельных правил формулируются в форме логических высказываний вида:

$$1. P \text{ есть } T_i, \quad (4)$$

где P – логическая переменная, а T_i – четкий терм из базового терм-множества T , i -ое значение P , функция принадлежности которых равна единице, т. е. T_i является аргументом булевой логики.

$$2. P \text{ есть } \nabla T_i, \quad (5)$$

где ∇ – модификатор, соответствующий M_1 (при расширении зоны действия четкого терма T_i в k раз) и M_2 (при уменьшении зоны действия четкого терма T_i в k раз).

3. С помощью логических операций (4) и (5) булевой логики И, ИЛИ и НЕ, образуются составные логические высказывания.

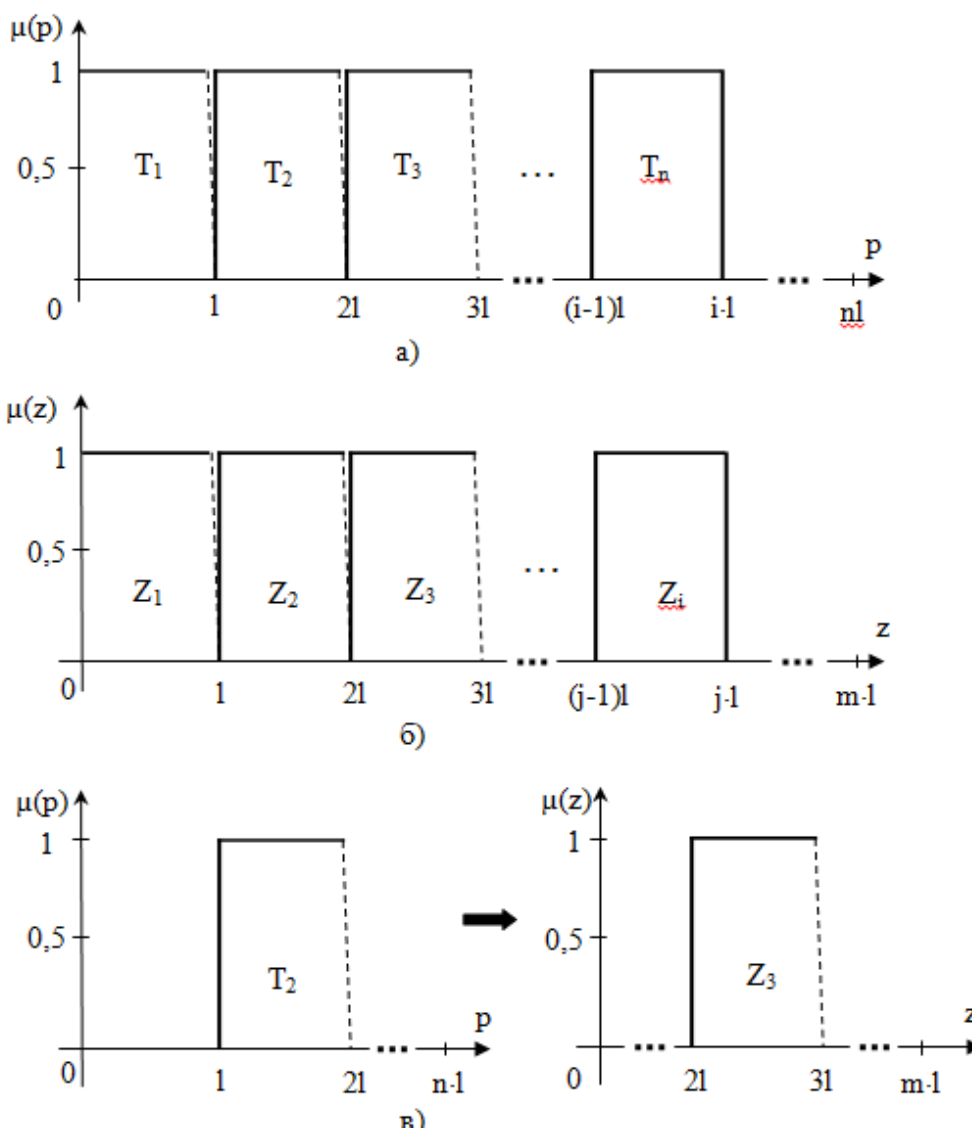


Рисунок 5 – Совокупность четких термов

Т. е. четкие термы используются не только в операциях конъюнкции $K_1 \div K_s$ (6), но и в выходных лингвистических переменных, а также дискретных входных и выходных переменных объекта управления:

$$P \text{ есть } (K_1 \cup K_2 \cup K_3 \cup \dots \cup K_s), \quad (6)$$

где s – количество конъюнкций $K_1 \div K_s$ в структуре составного логического высказывания.

Таким образом, четкие регуляторы позволяют повысить точность и быстродействие входных и выходных переменных регулятора благодаря их представлению в виде четких термов, обеспечить наибольшую частоту срабатывания за счет использования специальных алгоритмов (например, АНУ-

ТМЕ алгоритма) и наименьшую из известных логических регуляторов постоянную времени отклика, что позволит автоматически управлять быстродействующими и многомерными технологическими процессами, снизить энергетические затраты и реализовать интеллектуальное управление на основе экспертной базы правил персонала.

Основные выводы:

- схемы с поисковой, беспойсковой или аналитической самонастройкой, т. е. адаптацией ПИД-управления являются сложными в настройке и не соответствуют требованиям по управлению сложными технологическими процессами;

- схемы с Fuzzy регуляторами характеризуются значительной погрешностью и большим временем отклика, что не позволяет

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

использовать их в быстродействующих технологических процессах;

– в четких регуляторах физические величины представляются в виде совокупности четких множеств, что исключает недостатки схем с Fuzzy регуляторами, позволяя управлять быстродействующими и сложными с точки зрения управления технологическими процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, О. В. Энергосберегающий частотно-регулируемый синхронный электропривод магистрального насоса : автореф. дис. канд. техн. наук. – Уфа, 2013.
2. Ковчин, С. А. Теория электропривода / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин. – СПб. : Энергоатомиздат, 1994 – 496 с.
3. Козярук, А. Е. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / А. Е. Козярук, В. В. Рудаков. – СПб. : Электротехническая компания, 2004 – 127 с.
4. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин : учебник для вузов / И. П. Копылов; 2-е изд-е. – М. : Высшая школа, 1994. – 318 с.
5. Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург : УРО РАН, 2000. – 654 с.
6. Сипайлов, Г. А. Математическое моделирование электрических машин / Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос. – М. : Высшая школа, 1980. – 176 с.
7. Blaschke, F. Das Prinzip der Feldorientierung die Grundlage fur Transvector Regelung von Drehfeldmaschinen / F. Blaschke // Siemens Zeitschrift. – 1971. – Bd. 45. N. 10. – s. 761–764.
8. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М. : ACADEMIA, 2004. – 249 с.
9. Меньшов, Б. Г. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности : учеб. для вузов / Б. Г. Меньшов, М. С. Ершов, А. Д. Яризов. – М. : Недра, 2000. – 487 с.
10. Современная прикладная теория управления / под ред. А. А. Колесникова. В 3-х частях. – Таганрог : Издательство ТРТУ, 2000.
11. Усков А. А. Системы с нечеткими моделями объектов управления : монография / А. А. Усков. – Смоленск : Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ "Российский университет кооперации", 2013. – 153 с.: ил.
12. Интеллектуальные системы автоматического управления / под. ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина. – М. : Физматлит, 2001.
13. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. – Харьков : Основа, 1997.
14. Mamdani, E. H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, IEEE Transactions on Computers 26(12): 1182–1191.
15. Гузаиров, М. Б. Управление технологическими процессами, реализованное на четких логических регуляторах : монография / М. Б. Гузаиров, Е. А. Муравьева. – М. : Машиностроение, 2012. – 305 с.
16. Васильев, В. И. Интеллектуальные системы с использованием нечеткой логики : учебное пособие / В. И. Васильев, Б. Г. Ильясов. – Уфа : УГАТУ, 1995.
17. Каяшев, А. И. Четкий логический регулятор температуры в автоклаве для производства газосиликатных шлакоблоков / А. И. Каяшев, Л. Ю. Полякова, Т. В. Сазонова, Е. А. Муравьева // Вестник Уфим. гос. авиац. ун-та. – Уфа, – 2011. – Т. 15, – № 2 (42). – С. 114–118.
18. Компьютерная модель функции выходной мощности паровой винтовой машины / М. Б. Гузаиров, Е. А. Муравьева, К. А. Соловьев // Вестник УГАТУ : науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. – 2012. – Т. 16, – № 1(46). – С. 106–111.
19. Патент «Четкий логический регулятор для управления технологическими процессами» / А. И. Каяшев, Е. А. Муравьева, Р. Ф. Габитов // № 2445669 от 20.03.2012 г.

Зиятдинов А. М., аспирант, E-mail: saturn-s5@mail.ru, Россия, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт», кафедра «Автоматизация и информационные технологии».