

**Neidorf Rudolf Anatol'evich** – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: ran\_pro@mail.ru; 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344010, Russia; phone: +79034722292; the department of the computer and automation systems soft; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 519.714

**Д.А. Белоглазов, В.Ю. Евтушенко**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА РЕГУЛЯТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ\***

*Рассматривается решение задачи автоматизации синтеза регуляторов систем автоматического управления на основе биоинспирированных алгоритмов. Выполнен сравнительный анализ качественных характеристик методов проектирования регуляторов, а именно классических, адаптивных, робастных, нечетких, нейронных. Представлена зависимость предпочтения выбора методов проектирования регуляторов в различных условиях информационной обеспеченности проектировщика. Приведены основные отличия нечетких регуляторов от классических. Рассмотрены наиболее значимые проблемы проектирования нечетких контроллеров. Предложена последовательность шагов метода автоматизации синтеза нечетких регуляторов на основе генетических алгоритмов. Представлена структура хромосомы параметров нечеткого контроллера, объединяющая в себе функции принадлежности и базу управляющих правил. Предложено в качестве функции приспособленности генетического алгоритма использовать интегральный критерий качества функционирования систем автоматического управления. Рассмотрены способы поиска оптимальных значений параметров регуляторов на основе интегрального критерия качества. Сделаны выводы относительно возможности применения метода автоматизации синтеза для настройки пропорционально-интегральных (ПИ), пропорционально-дифференциальных (ПД), пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторов.*

*Регуляторы; нечеткая логика; генетические алгоритмы; синтез; автоматизация.*

**D.A. Beloglazov, V.Y. Evtushenko**

### **AUTOMATION CONTROLLER SYNTHESIS USING GENETIC ALGORITHMS**

*We consider the problem of automation controller synthesis systems of automatic control based on bioinspired algorithms. Performed comparative analysis of the qualitative characteristics of methods of designing controllers, namely classical, adaptive, robust, fuzzy, neural. Presented dependence selection preference design methods regulators in various conditions of information security designer. The main differences from the classical fuzzy controllers. Considered the most important design issues of fuzzy controllers. The sequence of steps of the method of synthesis automation fuzzy controllers based on genetic algorithms. The structure of the chromosome parameters fuzzy controller, which combines the membership functions and control rules base. Proposed as the fitness function of the genetic algorithm to use the integral performance criterion systems of automatic control. The methods of finding optimal values of controller parameters based on the integral quality criterion. Conclusions as to the suitability of the method for the synthesis automation settings proportional integral (PI), proportional-differential (PD), a proportional-integral-differential (PID) controllers.*

*Regulators; fuzzy logic; genetic algorithms; synthesis; automation.*

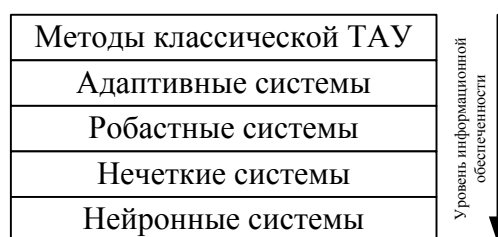
---

\* Материалы статьи подготовлены в рамках выполнения работ по гранту Российского научного фонда № 14-19-01533.

**Введение.** Теория автоматического управления (ТАУ) прошла в своем развитии длительный путь, каждый из этапов которого характеризовался разработкой и исследованием новых способов проектирования регуляторов [1]. В настоящий момент известны такие методы синтеза систем автоматического управления (САУ) как классический [2, 3], адаптивный [4], робастный [5], нечеткий [6, 7], нейросетевой [6] и т.д. Каждый из методов имеет определенные достоинства и недостатки, выражающиеся в необходимости наличия определенного качества и количества информации об объекте управления (ОУ), качестве обеспечиваемого регулирования, ограничениях [1, 7].

Несмотря на разнообразие существующих способов проектирования САУ подавляющее большинство практических реализаций остается за ПИД, ПИ, ПД регуляторами. Это объясняется простотой их синтеза, наладки и внедрения. Помимо всего прочего ПИД, ПИ, ПД регуляторы обеспечивают логическую прозрачность своей работы, т.е. даже не имея специальной инженерной подготовки можно определить причины получения одного решения, а не другого.

**Анализ методов управления.** Выбор метода проектирования регулятора напрямую зависит от качества информации доступной об объекте управления (ОУ). Методы синтеза условно можно упорядочить в порядке предпочтительности их применения в зависимости от степени информационной обеспеченности разработчика, как показано на рис. 1.



*Рис. 1. Ранжирование методов синтеза регуляторов в зависимости от уровня информационной обеспеченности*

Каждый из перечисленных методов имеет свои особенности практического применения, достоинства и недостатки, краткий сравнительный анализ которых приведен в табл. 1 [1].

Эффективность применения перечисленных выше методов подтверждена различными исследователями, практическими результатами использования, однако для некоторых из них существует сложность адаптации параметров к изменяющимся условиям окружающей среды. В большей степени это утверждение справедливо для нечетких регуляторов.

Рассмотрим метод, который позволяет осуществлять поиск регуляторов на основе генетических алгоритмов на примере нечетких контроллеров. Результаты предлагаемого подхода могут быть расширены применительно к другим регуляторам упомянутым ранее, например ПИД, ПД и т.д.

**Разработка метода автоматизации синтеза регуляторов САУ.** Проектирование нечетких контроллеров требует наличия априорных знаний об объекте управления, которые в дальнейшем трансформируются в определенные параметры регулятора: базу управляющих правил, терм-множества лингвистических переменных.

Таблица 1

**Сравнительный анализ методов управления**

Характеристика	Методы управления				
	Классические	Адаптивные	Робастные	Нечеткие	Нейронные
Управление существенно нелинейными объектами	-	±	±	+	+
Управление объектами, содержащими неопределенности	-	+	+	+	+
Необходимость использования математической модели объекта управления	+	±	±	-	-
Необходимость идентификации ОУ посредством внешних воздействий	-	±	-	-	-
Способность обучаться	-	+	-	-	+

Процесс создания нечетких контроллеров (НК) значительно отличается от создания регуляторов на основе классической ТАУ. Основное отличие заключается в том, что НК создаются в большинстве случаев для ОУ математическая модель (ММ) которых не известна. Это является основной причиной того, что в настоящий момент нет математических методов определения оптимальной совокупности параметров НК. Так же нет способов определения на этапе проектирования наличия такого важного свойства для САУ как устойчивость [8]. Первая из приведенных проблем решается проектировщиком путем последовательного исследования и приближения параметров НК, т.е. итерационно. Вторая проблема более сложна и до сих пор в полной мере не решена [8], хотя отдельные исследования достаточно успешны.

Скорость создания, переналадки САУ на основе аппарата нечеткой логики может быть значительно увеличена, а общая трудоемкость процесса снижена за счет применения бионспирированных алгоритмов оптимизации, например генетических (ГА) [9, 10]. Это позволит снизить влияние на процесс синтеза НК присущих им недостатков, приведенных в табл. 2 [1].

Таблица 2

**Недостатки проектирования нечетких регуляторов**

Недостаток	Описание
Отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем	Применение ГА позволит сделать синтез нечетких регуляторов единым процессом с незначительными отличиями определяемыми условиями каждой конкретной задачи
Сложность априорного определения формы функций принадлежности и базы правил	ГА позволяют в процессе своей работы осуществлять оптимальный подбор большого числа параметров. Это делает процесс настройки НК автоматизированным.
Сложность адаптации	

Предлагаемый метод автоматизации синтеза представляет собой определенную последовательность действий, представленную на рис. 2. Рассмотрим кратко особенности каждого из шагов метода.

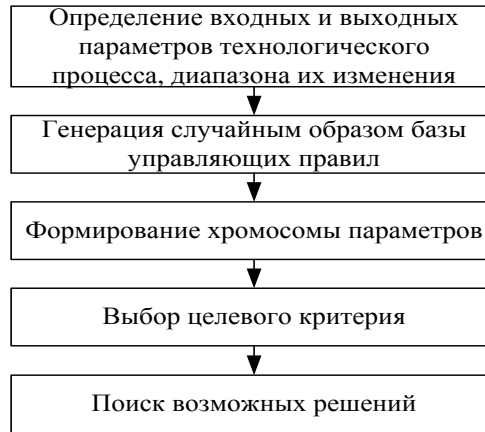


Рис. 2. Последовательность действий метода автоматизации настройки параметров регуляторов

Реализация регулятора любого технологического процесса начинается с его изучения и первым шагом является идентификация входных и выходных параметров и диапазона их изменения. Это позволит ввести соответствующие ограничения параметров синтезируемого контроллера.

Генерация первоначальных управляющих правил осуществляется следующим образом: создается максимальное количество правил, отражающих все возможные комбинации входных и выходных параметров нечеткого контроллера; осуществляется модификация базы правил путем перебора комбинаций и одновременного удаления некоторых из них.

Хромосома генетического алгоритма представляет собой совокупность всех изменяемых параметров нечеткого контроллера, рис. 3. В случае, если функции принадлежности известны, то в хромосому параметров они не включаются.

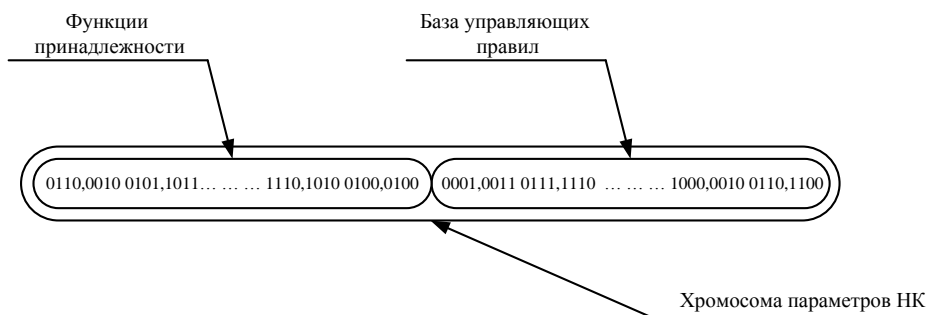


Рис. 3. Хромосома параметров нечеткого контроллера

В настоящее время для определения качества функционирования систем автоматического управления часто применяются интегральные критерии качества, которые могут быть использованы для оценки качества хромосом решений.

Интегральные оценки представляют собой определенные интегралы по времени (в пределах от 0 до  $\infty$ , или до ожидаемого времени переходного процесса) от некоторой функции управляемой переменной  $y(t)$  (или сигнала ошибки  $e(t)$ ) [1]:

$$Q = \int_0^{\infty} f(y(t), t) dt \rightarrow \min.$$

Интегральный критерий будет использоваться для выбора оптимального значения какого-либо параметра системы, обеспечивающего экстремум критерия оптимальности. Оценка значения интегрального критерия позволит обеспечить эффективный перебор решений генерируемых на основе генетического алгоритма.

Предполагается два схожих варианта использования интегрального критерия. Первый основан на непосредственной минимизации критерия, т.е. выбора решения с наименьшим значением  $Q$ . Второй вариант представляется несколько искусственным, но не менее интересным. Он предполагает изначальное задание значения критерия  $Q$ . В дальнейшем поиск осуществляется на основе разности между  $Q$  и значением хромосомы параметров НК. Чем меньше разность, тем больше приспособленной для решения задачи является хромосома.

**Выводы.** Возможности генетических алгоритмов позволяют вести поиск и одновременную оптимизацию большого количества взаимосвязанных параметров. Применительно к синтезу нечетких контроллеров, процесс проектирования которых итерационен, это дает возможность вести автоматический подбор наиболее полно отвечающей задаче совокупности его параметров: базы управляющих правил, функций принадлежности.

Предложенный в работе подход может быть так же успешно применен для автоматической настройки и других регуляторов, например ПИД, ПИ, ПД, нейросетевых. Единственное отличие в применении ГА к настройке упомянутых регуляторов заключается в структуре хромосом параметров.

Совместное использование ГА и разнообразных критериев оценки качества функционирования регуляторов позволяют существенно облегчить, автоматизировать процесс их синтеза и настройки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белоглазов Д.А.* Разработка и исследование методов синтеза адаптивных регуляторов на основе нейро-нечетких сетевых структур: Дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог: ЮФУ, 2012.
2. *Красовский А.А.* и др. Современная прикладная теория управления: Оптимизационный подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. Ч.1. – 400 с.
3. *Бессекерский В.А., Попов Е.Н.* Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.
4. *Тюкин И.Ю., Терехов В.А.* Адаптация в нелинейных динамических системах. – СПб.: СПГТУ, 2006. – 378 с.
5. *Пупков К.А., Егупов Н.Д.* и др. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с.
6. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Пер. с польского. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
7. *Белоглазов Д.А., Коберси И.С.* Анализ недостатков методов классической теории управления // Сборник материалов докладов VII-й Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, «Информационные технологии, системный анализ и управление». – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 152-154.

8. Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю. Анализ методов устойчивости нечетких систем управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 2 (139). – С. 127-133.
9. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. - М.: Физматлит, 2003.
10. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Под. ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2006 – 320 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Р.А. Нейдорф.

**Белоглазов Денис Александрович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: d.beloglazov@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +79281100343; кафедра систем автоматического управления; доцент.

**Евтушенко Валентин Юрьевич** – e-mail: val.evtushenko@gmail.com; тел.: +79281636187; кафедра систем автоматического управления; старший преподаватель.

**Beloglazov Denis Aleksandrovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: d.beloglazov@gmail.com; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79281100343; the department of automatic control systems; associate professor.

**Yevtushenko Valentin Yur’evich** – e-mail: val.evtushenko@gmail.com; phone: + 79281636187; the department of automatic control systems; senior lecturer.

УДК 620.9

**В.В. Соловьев, А.Я. Номерчук, М.Е. Денисенко**

### **УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ С АДАПТИВНЫМИ НЕЧЕТКИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ\***

*Выполнен анализ методов оценки устойчивости для систем управления с нечеткими регуляторами. Рассмотрен метод для анализа устойчивости систем с нелинейностью, лежащей в секторе, ограниченном первым и третьим квадрантами системы координат. На примере показана неэффективность применения этого метода для адаптивного нечеткого регулятора из-за возможности дрейфа выходной характеристики адаптивного нечеткого регулятора за пределы первого и третьего квадрантов системы координат в процессе адаптации. Рассмотрена методика синтеза систем управления с адаптивным нечетким регулятором и стабилизирующим регулятором, не позволяющим выходному сигналу объекта выходить за пределы области допустимых значений. Приведена структурная схема системы, отражающая включение адаптивного и стабилизирующего регуляторов. Показана методика синтеза стабилизирующего регулятора для нелинейных объектов с параметрической неопределенностью и аддитивным управлением. Определен закон управления и функция срабатывания стабилизирующего регулятора с использованием функции Ляпунова. Показана последовательность этапов синтеза стабилизирующего регулятора. Приведен модельный эксперимент для неустойчивого объекта с параметрической неопределенностью.*

*Адаптивный нечеткий регулятор; устойчивость; стабилизирующий регулятор.*

---

\* Материалы статьи подготовлены в рамках выполнения работ по гранту Российского научного фонда № 14-19-01533