

Д. А. Ковалюк, к. т. н., доц.; О. А. Ковалюк, к. т. н., доц.

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ РЕГУЛЯТОРОВ

В статье исследована работа систем управления с различными типами регуляторов на примере ацетиленового генератора. Получены их переходные характеристики и рассчитаны показатели качества. Приведены рекомендации целесообразности использования ПИД, нечеткого, адаптивного и нейросетевого регуляторов.

Ключевые слова: технологический процесс, система управления, регулятор, моделирование.

Введение

Системы управления технологическими процессами чрезвычайно важны, так как во многом определяют качество конечной продукции и ее себестоимость. Важность системы управления и качество ее функционирования существенно возрастают для промышленных объектов непрерывного действия с большими объемами производства. Также следует учитывать фактор опасных производств. Одним из таких процессов является производство ацетилена – важного и распространенного компонента промышленности.

Анализ проблемы

Несмотря на различные методы производства ацетилена, одним из самых распространенных остается так называемый карбидный метод, где входным сырьем является карбид кальция, подаваемый в воду [1]. Технологически данный метод производства реализуется в ацетиленовом генераторе, где при разложении карбида выделяется ацетилен. Получение ацетилена сопровождается выделением большого количества теплоты, что создает опасность сильного перегрева реакционной массы, а при недостаточном охлаждении может привести к взрыву. Это подтверждает актуальность разработки системы управления ацетиленовым генератором, в частности его температурным режимом.

Анализ работ показывает, что подавляющее большинство действующих на производстве систем управления реализовано на основе классических подходов теории управления, которые достаточно просто реализуются с помощью ПИД-регуляторов. Вместе с тем такие системы не всегда могут обеспечивать необходимое качество управления, особенно в условиях сложности, инерционности, случайных возмущений, наличия качественной и неполной информации [2, 3].

Поэтому целью работы является повышение эффективности управления процессом с помощью сравнения различных типов систем управления и разработка рекомендаций по целесообразности их применения.

Математическая модель объекта и настройки ПИД-регулятора

На основе проведенного анализа можно сделать выводы, что наиболее важным параметром процесса является температура в аппарате. Это объясняется тем, что взаимодействие карбида кальция с водой происходит довольно бурно со значительным выделением теплоты, а для нормального протекания процесса необходимо поддерживать заданную температуру.

Управлять температурным режимом генератора можно несколькими способами: изменяя расход карбида или расход воды. Расход карбида кальция можно изменять с помощью скорости вращения барабана. В свою очередь, расход воды можно легко изменять с

помощью клапана. Именно этот способ используют на практике, поэтому в качестве канала управления берем «Расход воды на охлаждение – температура в аппарате».

На основе уравнений материальных балансов, используя линеаризацию и преобразование Лапласа, получили следующую передаточную функцию канала управления [4]:

$$W(p) = \frac{1.54}{10.61p + 1} \cdot e^{-9.2p}.$$

Поскольку наиболее важным показателем качества системы управления является точность, то в качестве параметра эффективности системы управления выбираем минимум среднеквадратичного отклонения. Синтез параметров ПИД-регулятора настраиваем в интерактивном режиме в среде Control System Toolbox.

Система управления с нечетким регулятором

Сейчас наряду с классическими регуляторами широкое распространение получили нечеткие алгоритмы управления. Подробно преимущества нечетких систем и методика их создания описаны в работах [2, 3, 5]. Для создания регулятора использована классическая схема, представленная на рис. 1.

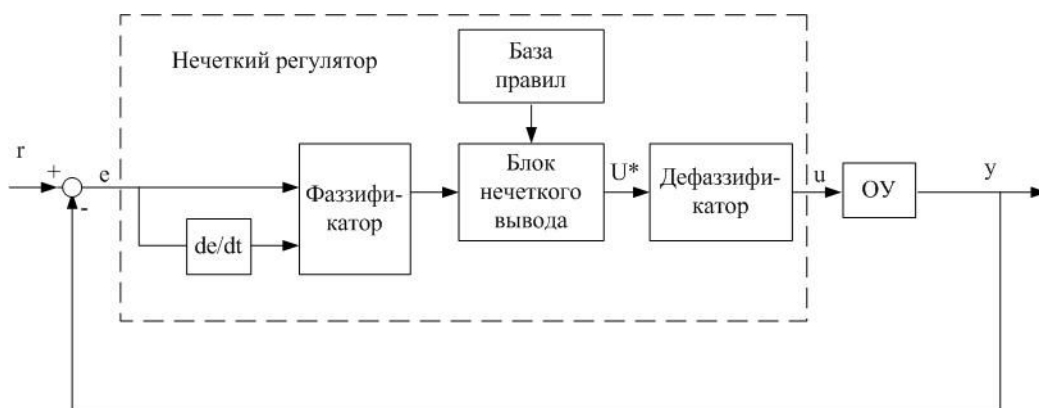


Рис. 1. Система управления с нечетким регулятором

Нечеткая система управления создана в среде Fuzzy Logic Toolbox пакета Matlab и описана в работе [4].

Система управления с адаптивным регулятором

Как показано в [2], адаптивные системы позволяют решать ряд важных задач управления:

- 1) осуществить оптимизацию работы объекта;
- 2) обеспечить работоспособность системы с необходимыми показателями качества в условиях, когда свойства объекта изменяются;
- 3) повысить надежность сложных систем, унифицировать алгоритмы управления для классов объектов;
- 4) уменьшить требования к процессу проектирования систем за счет следующего пополнения информации в процессе функционирования.

Для решения этих задач используют два подхода: изменения структуры регулятора и изменения параметров регулятора. В работе предлагаем второй вариант, изображенный на рис. 2. Система работает следующим образом:

- 1) анализируют погрешность управления (её значение, скорость изменения, сумму).
- 2) на основе этой информации в блоке адаптации рассчитывают параметры регулятора.
- 3) сигнал управления рассчитывают на основе ПИД-закона.

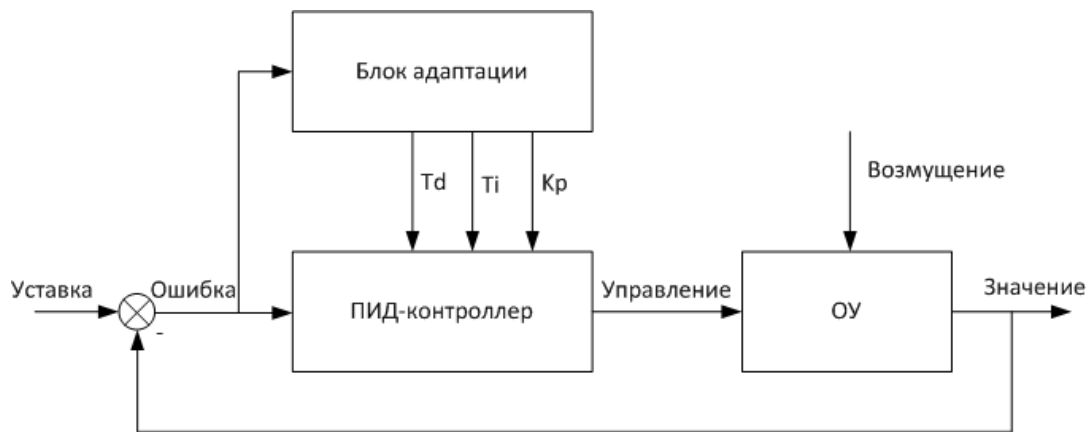


Рис. 2. Структура адаптивной системы

Для реализации приведенного выше алгоритма нечеткого моделирования использована среда Simulink и инструментальный Fuzzy Logic Toolbox [6]. В редакторе системы (Fuzzy Inference System Editor) использован тип системы Мамдани, заданы входы: $\varepsilon(k)$ – значение ошибки, $\Delta \varepsilon(k)$ – скорость изменения ошибки (производная), $\int \varepsilon(k)$ – интеграл ошибки. Выходы модели – коэффициенты регулятора.

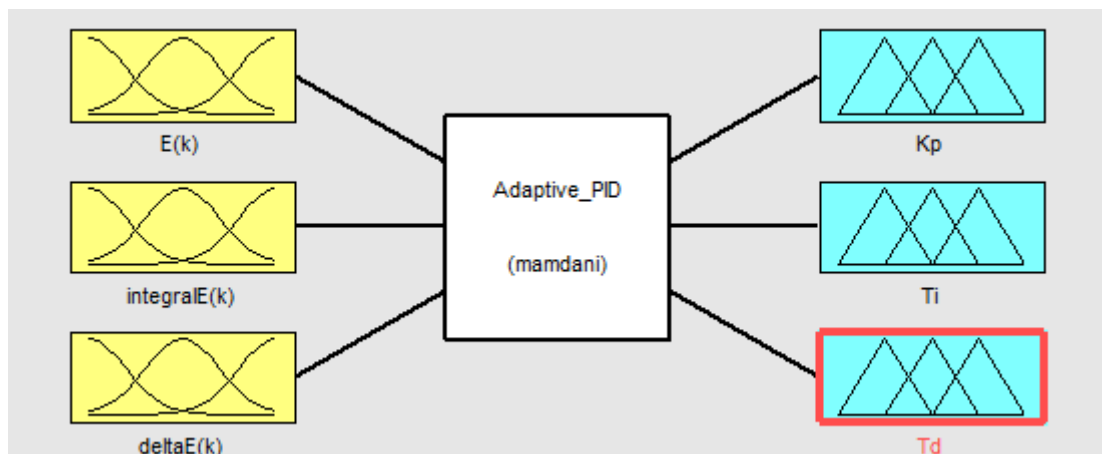


Рис. 3. Структура нечеткого блока адаптации

Моделирование системы управления с нейросетевым регулятором

На сегодняшний день существует более семи способов использования нейронных сетей в системах управления [7]. Одним из самых простых являются системы нейроуправления, в которых нейроконтроллер учится на примерах динамики обычного контроллера по обратной связи на основе ПИД-схемы управления. Схема подражающего нейроуправления показана на рис. 4.

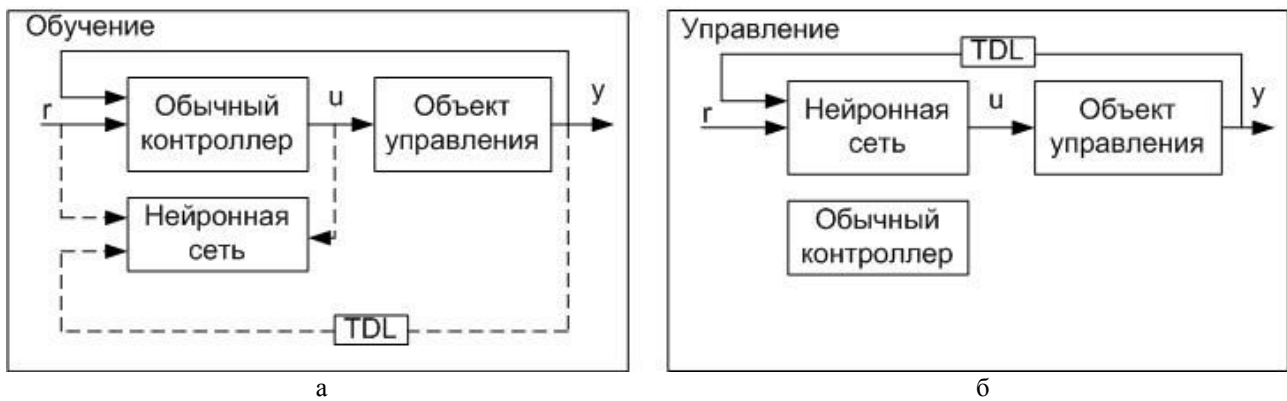


Рис. 4. Схема подражающего нейроуправления:
а) режим обучения нейронной сети; б) режим управления

После обучения нейронная сеть в точности воспроизводит функции заданного контроллера и подключается вместо исходного контроллера. Полученный нейроконтроллер может быть более выгодным экономически, чем исходный контроллер. Основным недостатком этого метода является необходимость в предварительно настроенном исходном контроллере, что не всегда возможно. Кроме того, полученный путем обучения нейроконтроллер в принципе не может обеспечить лучшее качество управления, чем существующий регулятор.

Поэтому пока подражающее нейроуправление применяют в основном для первоначального обучения нейронной сети с использованием других методов для дальнейшего обучения нейроконтроллера.

Архитектура нейронной сети состоит из двух слоев и 20 нейронов в скрытом слое. Построение нейронной сети выполняют в Matlab с использованием команды `nftool`, которая позволяет построить нейронную сеть желаемого типа. Интерфейс программы приведен на рис. 5.

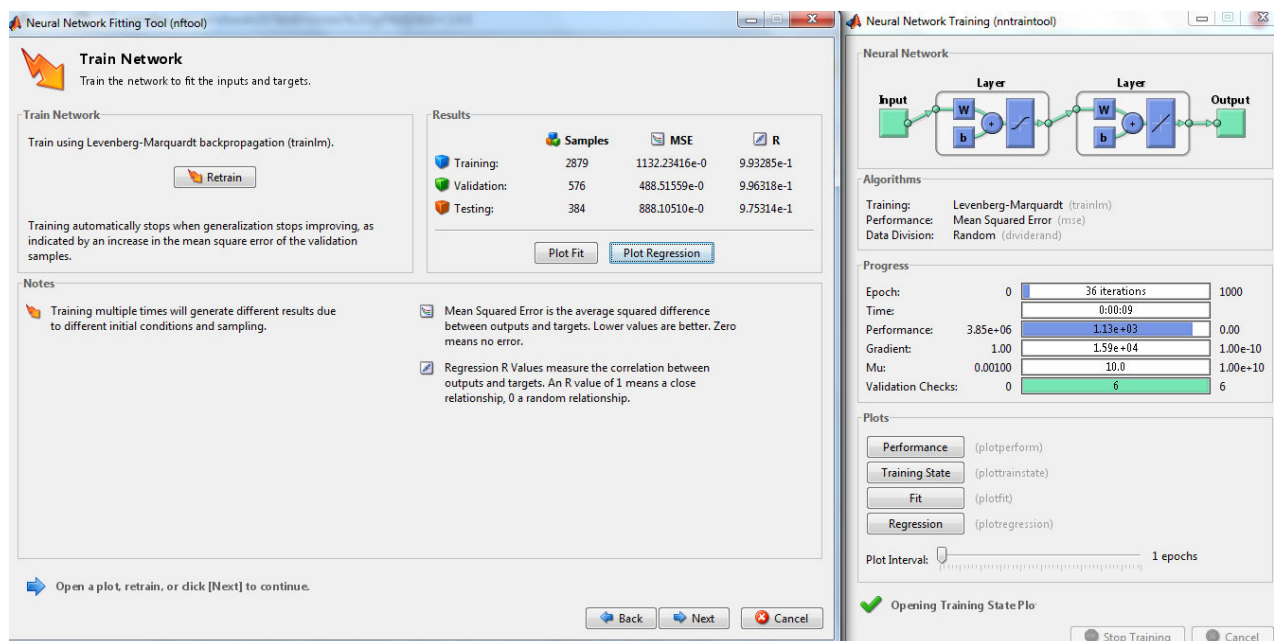


Рис. 5. Интерфейс nftool Matlab. Результат тренировки нейронной сети.

Обучение нейронной сети осуществлялась на выборке, полученной путем исследования воздействия на объект управления случайных воздействий. Размер выборки – 3893 точек.

Входному значению соответствуют значения ошибки, целевому значению – выборка управляющих воздействий, которые выходят из регулятора (ПИД-регулятор в классическом контуре).

Сравнение систем управления

Все сети были промоделированы в среде Simulink. Схема моделирования показана на рис. 6. Для более удобного анализа данные загружены из блока Scope в Workspace и занесены в таблицу. После чего рассчитаны показатели точности систем управления.

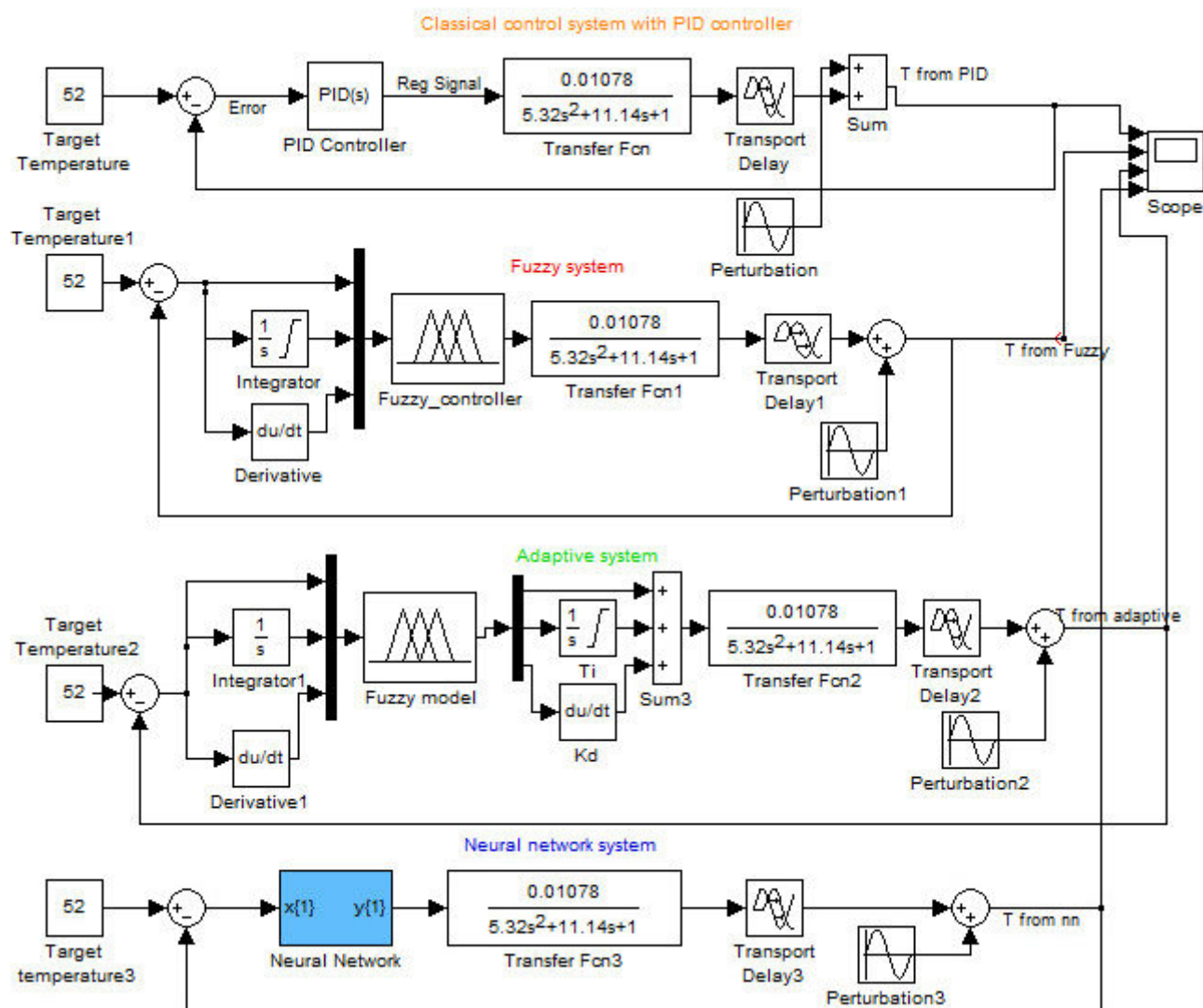


Рис. 6. Схемы моделирования систем управления в Simulink

Перерегулирование рассчитано по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100\%.$$

Интегральный показатель рассчитан по формуле:

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (52 - y_i)^2.$$

Результаты экспериментальных исследований

Переходные процессы в каждой системе показаны на рис. 7. Количественные показатели приведены в таблице 1.

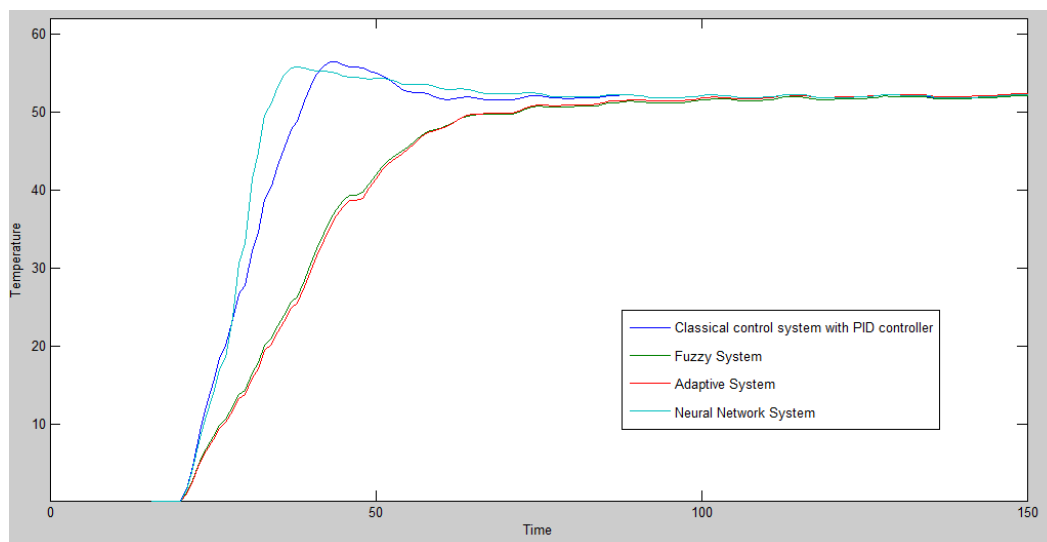


Рис. 7. Графики переходных процессов

Таблица 1

Результаты моделирования

	АСР с ПИД-регулятором	АСР с fuzzy-регулятором	Адаптивная АСР с нечетким блоком адаптации	АСР со специализированным нейронным управлением
Перерегулирование, %	8,5%	0,3%	0,82%	7,2%
Длительность переходного процесса, с	64	97	97	67
Интегральный показатель качества	173,99	211,72	214,27	171,68

Выводы

Из таблиц и графиков можно сделать следующие выводы:

1. Быстрее на заданный режим выходит АСР с ПИД-регулятором, медленнее – АСР с нечетким регулятором, что может быть связано с необходимостью оптимизации функций принадлежности или увеличением количества термов.
2. Наибольшее перерегулирование наблюдается у АСР с ПИД-регулятором, причем настройки осуществляли автоматически, то есть улучшить данный результат существенно не представляется возможным. Наименьшее перерегулирование – у АСР с нечетким регулятором, что объясняется медленным и постепенным выходом на установившийся режим, без скачков. Такой же результат показывает и адаптивная система за счет использования нечеткой модели в качестве блока адаптации.
3. Интегральный показатель качества наименьший у АСР со специализированным нейронным управлением, что указывает на наименьшую погрешность управления; наихудший показатель – у АСР с нечетким регулятором.

Кроме анализа временных критериев, выполнено сравнение систем управления по другим критериям, результаты которого приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение систем управления

Система Критерий	АСР с ПИД-регулятором	АСР с fuzzy-регулятором	Адаптивная АСР с нечетким блоком адаптации	АСР со специализированным нейронным управлением
Математическая модель	Обязательная	Не обязательная	Не обязательная	Не обязательная
Вычислительная сложность	Средняя	Невысокая	Невысокая	Высокая
Наличие разработок-аналогов для хим. реакторов	Имеются	Имеются	Частично имеются	Отсутствуют
Расходы человеческих ресурсов на построение системы	Невысокие: Оператор	Оператор-эксперт, который должен создавать правила; разработчик	Оператор-эксперт, который должен создавать правила; разработчик	Оператор-эксперт, который должен предоставить тестовую выборку; Специалист по нейронным сетям
Время отклика модели на протяжении моделирования системы	Моделирование происходит быстро (Matlab)	Моделирование происходит быстро (Matlab)	Время моделирования длительное, если не выставить правильно блок ограничения на интегральную составляющую (Matlab)	Требуется время на обучение, может понадобиться нескольких тренировок НС и даже замена архитектуры НС (Matlab)

Таким образом, каждая из систем управления имеет преимущества и недостатки по различным показателям качества. Нет системы, которая преобладала бы над остальными по всем показателям. Выбор соответствующей архитектуры системы управления должен осуществляться на основе технологического регламента и экономического обеспечения процесса, и его определяет разработчик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов В. Н. Производство ацетилена / В. Н. Антонов, А. С. Липидус. – М. : Химия, 1970. – 416 с.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления : Учебник / [под ред. Н. Д. Егупова]. – [2-е изд. стереотипное]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 744 с.
3. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления / В. И. Гостев. – К. : «Радиоаматор», 2008. – 972 с.
4. Жученко А. І. Нечітка система керування температурним режимом ацетиленового генератора / А. І. Жученко, Д. О. Ковалюк, Є. В. Дзюба // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 1/2 (67). – С. 48 – 51.
5. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech / А. Ю. Леоненков. – С.-Пб. : БХВ, 2003. – 720 с.
6. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая Линия - Телеком, 2007. – 288 с.
7. Сигеру Омату Нейроуправление и его приложения / Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. – М. : ИПРЖР, 2000. – 272 с.

Ковалюк Дмитрий Александрович – к. т. н., доцент кафедры автоматизации химических производств.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

Ковалюк Олег Александрович – к. т. н., доцент кафедры компьютерных систем управления.

Винницкий национальный технический университет.