

УДК 681.51.001.57

И.В. Бахирев, Б.В. Кавалеров, К.А. ОдинПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПРИ ИСПЫТАНИИ И НАСТРОЙКЕ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ГТУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ЭЛЕКТРОДИН»**

В настоящее время проблема энергоэффективности является одной из приоритетных. В связи с этим алгоритмы оптимального управления становятся особенно востребованными. Нейронные сети представляют широкие возможности для синтеза регуляторов различной сложности, в том числе и нелинейных. Искусственная нейронная сеть – это модель обработки информации, действующая таким же образом, каким биологические нервные системы, такие как мозг, обрабатывают информацию. Ключевым элементом этой модели – это новая структура системы обработки информации. Нейронные сети обладают способностью извлекать смысл из усложненных или неуточненных данных и могут использоваться для извлечения шаблонов и обнаружения тенденций, слишком сложных для того, чтобы их могли распознать люди или другие компьютерные методы. В статье рассматривается задача использования нейроуправления в составе программного моделирующего комплекса «ЭлектроДин».

Ключевые слова: Газотурбинная установка, нейронные сети, система автоматического управления, математическая модель, моделирование, нейроуправление.

I.V. Bahirev, B.V. KavaleroV, K.A. Odin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**NEURAL NETWORK TECHNOLOGY APPLICATION IN TESTING
AND ADJUSTING THE GAS-TURBINE PLANT CONTROL
SYSTEM USING «ELECTRODIN» SOFTWARE SUITE**

Today one of the top-priority tasks is solving the problem of power efficiency. That is why algorithms for the most effective management and control are of particular interest. Neural networks are powerful possibilities for controllers of variable degree of complexity, including nonlinear ones. Artificial neural network is a model for data processing functioning in the same way as the biological nervous systems like brain process information. The key element of this model is a new processing information system structure. Neural networks are capable of meaning recognition mining from the complex or unspecified data, therefore they can be used for producing patterns and detecting trends regarded as too complicated for human or other computer methods recognition. The work presented in this paper is devoted to the problem of applying neural control for «ElectroDin» software suite.

Keywords: gas-turbine plant, neural networks, automated control system, mathematic model, modelling, neural control.

Программный комплекс «ЭлектроДин» впервые был представлен широкой общественности на Международном авиационно-космическом салоне «МАКС–2011». На XV Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед–2012» программный комплекс (ПК) получил золотую медаль. В состав ПК «ЭлектроДин» наряду с основными приложениями – конструктором схем и визуализатором моделирования – входят модули идентификации и настройки САУ ГТУ. При этом в качестве базовых для выполнения настройки используются традиционные для отрасли ПИД-регуляторы. Однако известно, что в настоящее время активно предпринимаются попытки применения при управлении ГТУ нейросетевых решений, в том числе в наземных версиях использования ГТУ, например, представленные в [2, 3]. В свою очередь технология моделирования, реализованная в комплексе «ЭлектроДин», позволяет воспроизводить практически неограниченный спектр режимных ситуаций, возникающих при эксплуатации ГТУ как в составе разнообразных электростанций, так и в версиях для газоперекачки. В результате открываются широкие возможности компьютерной имитации для исследования, настройки и обучения регуляторов, построенных на основе нейроуправления, поскольку очевидно, что предварительную настройку систем управления целесообразно выполнять на моделях для сокращения затрат времени и потребных ресурсов. В связи с этим в статье поставлена задача рассмотреть метод нейроуправления применительно к его использованию в составе программного моделирующего комплекса «ЭлектроДин».

Нейроуправление

Известно, что нейроуправление – это частный случай интеллектуального управления, использующий искусственные нейронные сети для решения задач управления динамическими объектами. Нейроуправление находится на стыке таких дисциплин, как искусственный интеллект, нейрофизиология, теория автоматического управления, робототехника. Нейронные сети обладают рядом уникальных свойств, которые делают их мощным инструментом для создания систем управления: способностью к обучению на примерах и обобщению данных, способностью адаптироваться к изменению свойств объекта управления и внешней среды, пригодностью для синтеза нелинейных регуляторов, высокой

устойчивостью к повреждениям своих элементов в силу изначально заложенного в нейросетевую архитектуру параллелизма.

В статье [4] было проведено исследование существующих методов нейроуправления, по результатам которого был выбран метод гибридного нейроуправления для проведения испытаний с использованием модели ГТУ в качестве привода нагнетателя газоперекачивающего агрегата (ГПА).

Подготовка моделирования

На первом этапе проведения исследований в качестве среды моделирования используется программный пакет *Matlab-Simulink*. Это обусловлено тем, что *Simulink* обладает следующими достоинствами: возможность быстрого построения моделей ГТУ и САУ ГТУ, разработанных для ПМК «ЭлектроДин»; наличие встроенного пакета *Neural Network Toolbox*, включающего в себя большое количество нейронных сетей и сопутствующих функций и алгоритмов (различные алгоритмы обучения, функции активации и т.д.), а также наличие удобного графического интерфейса для создания нейронных сетей.

В качестве объекта управления (ОУ) рассматривается ГТУ привода ГПА. Быстрорешаемая модель ГТУ описывается следующими уравнениями:

– уравнение угла дозатора газа:

$$A_{DI} = a_{11}A_{DI} + a_{12}G_T + a_{13}n_{TK}, \quad (1)$$

– уравнение расхода топлива:

$$\dot{G}_T = a_{21}A_{DI} + a_{22}G_T + a_{23}n_{TK}, \quad (2)$$

– уравнение частоты вращения турбокомпрессора:

$$\dot{n}_{TK} = a_{31}A_{DI} + a_{32}G_T + a_{33}n_{TK}, \quad (3)$$

– уравнение частоты вращения свободной турбины:

$$\dot{n}_{CT} = a_{41}G_T + a_{42}n_{TK} + a_{43}n_{CT} + a_{44}A_{DI} + a_{45}M_{KR}. \quad (4)$$

Угол дозатора газа A_{DI} регулирует количество поступающего топлива G_T , в результате вращается турбина n_{TK} , вращение переходит на свободную турбину n_{CT} , на которую подаётся нагрузка M_{KR} .

В процессе исследований были рассмотрены различные модели нейроуправления. Для управления ОУ было решено реализовать вари-

ант гибридного нейро-ПИД-управления без входа, на который поступает ошибка с задержкой по времени. Данное решение несколько усложняет процесс обучения и делает нейронную сеть более привязанной к конкретному переходному процессу, т.е. к конкретной быстро решаемой модели. Построение сети, соответствующей различным быстро решаемым моделям, возможно, но остается вопрос о быстроте действия такой сети в реальных условиях.

Существует много различных видов нейронных сетей. Для построения САУ ГТУ с гибридным нейро-ПИД-управлением был выбран многослойный персептрон.

Выбор был сделан в его пользу по следующим причинам:

- многослойный персептрон является сетью прямого распространения сигнала;

- многослойный персептрон состоит из нескольких слоев скрытых нейронов, не являющихся частью входа или выхода сети; эти нейроны позволяют сети обучаться решению сложных задач, последовательно извлекая наиболее важные признаки из входного образа;

- многослойный персептрон обладает высокой степенью связности, реализуемой посредством синаптических соединений; изменение уровня связности сети требует изменения множества синаптических соединений или их весовых коэффициентов.

Из вышеперечисленного следует, что многослойный персептрон является достаточно простым и эффективным инструментом, и, следовательно, хорошо подходит для реализации поставленной задачи.

В результате проведенных экспериментов были выбраны следующие параметры нейронной сети:

- тип – многослойный персептрон;
- количество скрытых слоев – два;
- количество нейронов в первом слое – пятнадцать;
- количество нейронов во втором слое – двадцать;
- количество нейронов в выходном слое – три.

Существуют два различных подхода к обучению нейронных сетей: с учителем и без учителя. В первом случае нейронная сеть получает в качестве обучающего примера пару соответственных значений вход-выход, во втором – только значения для входа. Обучение без учителя требует большего количества входной информации для нейронной сети. Для решения поставленной задачи был выбран метод

обучения с учителем [5]. Обучение нейронной сети происходило с помощью алгоритма обратного распространения ошибки [5].

Результаты моделирования

Общая структура модели без нейронной сети представлена на рис. 1.

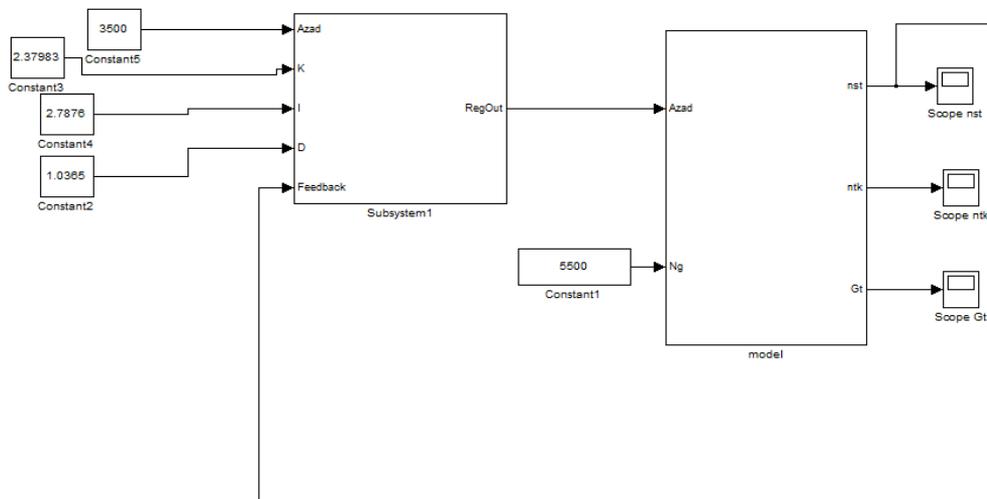


Рис. 1. Общая структура модели без нейронной сети

Общая структура модели с нейронной сетью представлена на рис. 2.

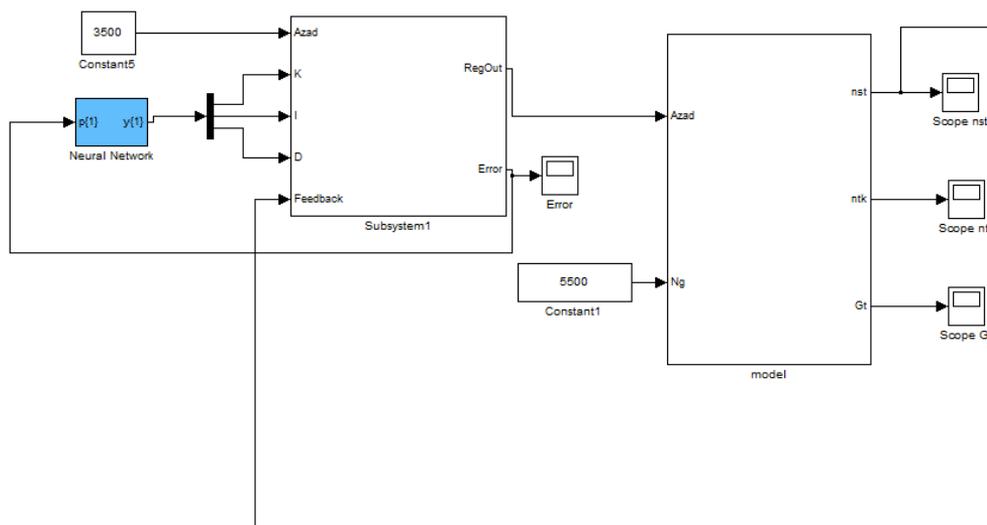


Рис. 2. Общая структура модели с нейронной сетью

Внутренняя структура блока регулятора представлена на рис. 3.

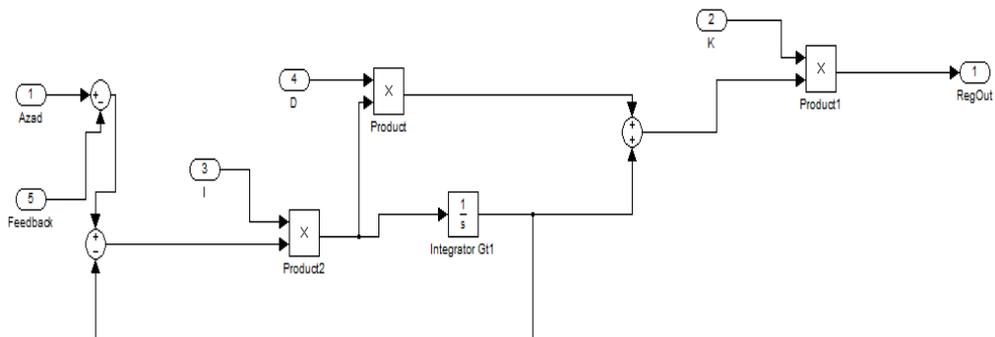


Рис. 3. Внутренняя структура блока регулятора

Внутренняя структура блока модели ГПА приведена на рис. 4.

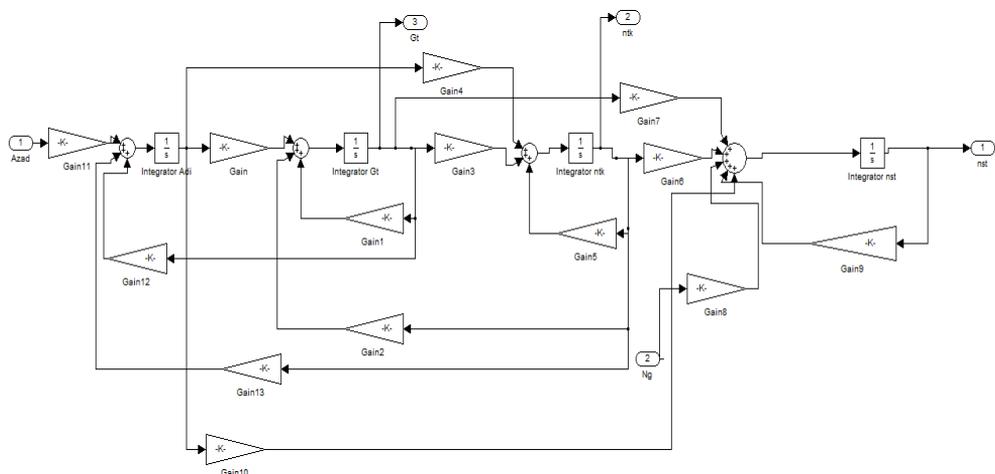


Рис. 4. Внутренняя структура блока модели ГПА

При моделировании управляющей величиной является угол дозатора газа A_{DI} , а управляемой – вращение свободной турбины n_{CT} . В результате моделирования получены следующие графики (рис. 5, 6).

Из рис. 5, 6 видно, что при использовании гибридного нейро-ПИД-управления улучшены следующие показатели качества регулирования: ошибка в установившемся режиме, перерегулирование и время переходного процесса, число колебаний за время переходного процесса. Сравнение систем оправданно, поскольку настройка ПИД-регулятора в первом эксперименте является отправной точкой для настройки нейронной сети. Структура регулятора (см. рис. 3) аналогична

структуре, реально использующейся в системе ГПА. Полученный результат подтверждает возможность использования гибридного нейро-ПИД-управления в рамках рассматриваемой задачи.

Исходя из полученных результатов, сформулированы новые задачи для продолжения работы: создать обучающие выборки с помощью генетических алгоритмов и выполнить программную реализацию модуля нейроруправления ПК «ЭлектроДин».

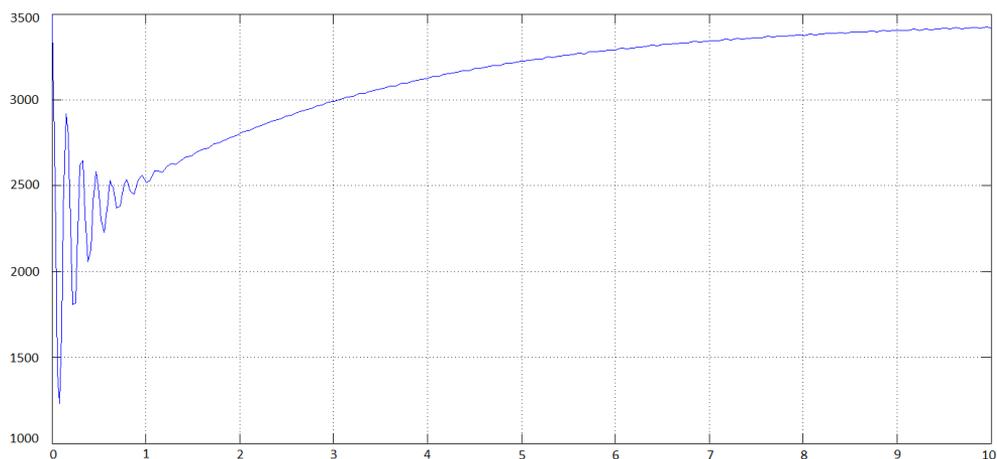


Рис. 5. Переходный процесс с ПИД-управлением

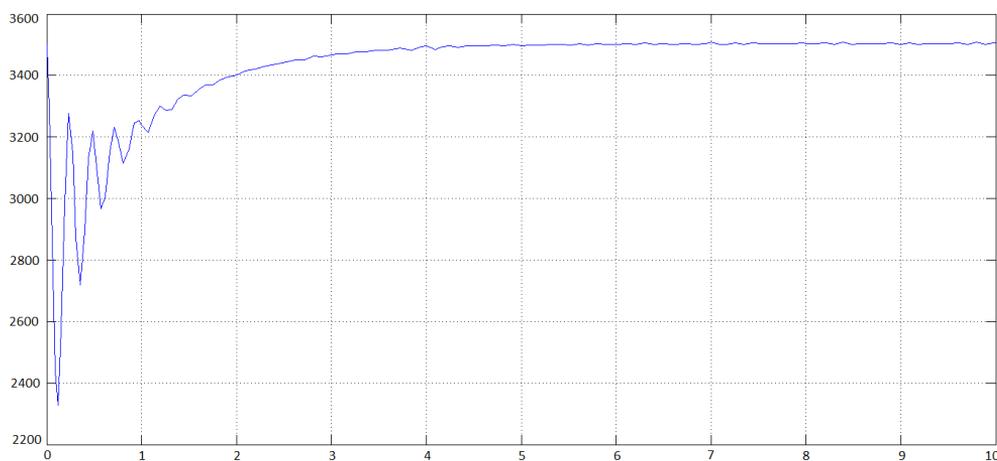


Рис. 6. Переходный процесс с гибридным нейро-ПИД-управлением

Таким образом, рассмотренные результаты рекомендовано использовать при создании специализированного модуля в составе ПК «ЭлектроДин». Этот модуль позволит производить испытания, на-

стройку и обучение нейрорегуляторов применительно не только к САУ ГТУ, но и ко всей энергетической установке совместно с нагрузкой. В частности, подобные регуляторы могут использоваться для управления синхронными генераторами в мини-электростанциях.

Библиографический список

1. Интеллектуализация испытаний конвертированных газотурбинных установок для электроэнергетики / Б.В. Кавалеров, В.П. Казанцев, И.А. Шмидт, А.Н. Рязанов, К.А. Один // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – №1(47). – С. 84–88.

2. Хижняков Ю.Н., Южаков А.А. Нейронечеткий регулятор частоты газотурбинного двигателя // Приборы. – 2010. – № 5. – С. 17–21.

3. Хижняков Ю.Н., Южаков А.А. Автоматизация автономных многоагрегатных электростанций на основе релейно-импульсного и нечеткого регулирования с применением нейронной технологии // Электротехника. – 2011. – № 11. – С. 40–45.

4. Бахирев И.В. Нейросетевые модели управления в задачах испытания САУ ГТУ // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика (INNOTECH 2012). – 2013. – С. 66–71.

5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

Сведения об авторах

Бахирев Иван Владимирович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: bahirevy@mail.ru).

Кавалеров Борис Владимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kbv@pstu.ru).

Один Константин Анатольевич (Пермь, Россия) – ассистент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: oka54@mail.ru).

About the authors

Bahirev Ivan Vladimirovich (Perm, Russian Federation) is a Master's degree student at the Department of Automation Microprocessors, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: bahirevy@mail.ru).

Kavalerov Boris Vladimirovich (Perm, Russian Federation) is PhD of Technical Sciences, Associate Professor, the Head of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: kbv@pstu.ru).

Odin Konstantin Anatolievich (Perm, Russian Federation) is an Assistant of the Department of Automation Microprocessors, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: oka54@mail.ru).

Получено 06.09.2013