

УДК 621.926:34.16

И.А. МАРИНИЧ, ст. преподаватель, ГВУЗ «Криворожский технический университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА БАЗЕ НЕЙРОРЕГУЛЯТОРОВ

Приведены принципы моделирования в пакете Matlab различных типов нейрорегуляторов для управления дробильно-измельчительным комплексом горнообогатительного комбината путем применения согласованного интеллектуального управления в условиях неопределенности.

Ключевые слова: нейрорегулятор, моделирование, дробильно-измельчительный комплекс.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Современное состояние предприятий горной отрасли Украины характеризуется острой необходимостью решения целого комплекса проблем. В условиях износа основных средств производства на некоторых горнообогатительных комбинатах до 70-90% и невозможности их быстрого восстановления одной из основных проблем является то, что переориентация на мировые рынки сбыта, требует постоянного повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, снижения энергоемкости её производства.

Известны различные пути решения этих вопросов: замена устаревшего оборудования, внедрение более эффективных технологий, усовершенствование существующих схем цепей аппаратов и т.д.

Мировой опыт свидетельствует, что в таких условиях наиболее эффективным путем повышения качества и снижения себестоимости выпускаемой продукции является комплексная автоматизация основных технологических процессов, основанная на применении современных систем интеллектуального, оптимального и адаптивного управления[3].

Главной проблемой, которая возникает при реализации таких систем, является отсутствие надежных средств контроля требуемой точности или значительная стоимость отдельных датчиков (до 1- 4 млн. грн.)[1]. Особенно это касается приборов для определения гранулометрического состава и содержания полезного компонента (железа общего или магнитного) в исходной руде и потоке пульпы. Эти факторы затрудняют возможность применения таких систем в условиях сложного финансового положения отечественных горных предприятий.

В настоящее время достаточно активно развивается перспективный метод построения автоматизированных систем управления (АСУ) на основе использования технологий искусственного интеллекта (нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы и т.д.). В отличие от «классических» детерминированных АСУ, которые основаны на использовании жестких алгоритмов (или четкой логики), системы с использованием искусственного интеллекта имеют свойства обучения и самообучения (т.е. накопления и обобщения опыта). Вместе с тем, опыт показывает, что на разработку и внедрение интеллектуальных систем управления расходуются значительно меньшие средства за счет уменьшения необходимости использования дорогостоящего оборудования (датчики, коммуникации).

Учитывая все указанные факторы, можно утверждать, что проблема применения технологий искусственного интеллекта в горном деле сейчас является весьма актуальной. В частности, это касается возможности использования нейронных сетей и нечеткой логики для управления технологическими процессами дробления, измельчения и обогащения полезных ископаемых [2].

Анализ исследований и публикаций. Анализ работ показывает, что подавляющее большинство действующих на горных предприятиях АСУ реализовано на основе классических подходов теории управления, адаптивных и оптимальных систем. В качестве математических моделей, как правило, применяется 1-2 канальные линейные системы. Большинство таких систем достаточно просто реализуется с помощью классических ПИД-регуляторов. Относительная простота реализации и сравнительно высокая надежность таких систем обуславливают их применение примерно в 80-90% действующих структур [3]. Вместе с тем известно, такие системы

не всегда могут обеспечивать необходимое качество управления, особенно в условиях не стационарности, инерционности, запаздывания, случайных возмущений, наличия нечеткой и неполной информации. К тому же, ПИД-регуляторы требуют постоянного перенастройки собственных коэффициентов в случае изменения технологической ситуации (например, колебаний качества руды, производительности и т.д.).

Именно интеллектуальные системы за счет применения соответствующих математических моделей мыслительной деятельности человека, обобщающих свойств, встроенной нелинейности и адаптивности при обеспечении определенных условий позволяют решать поставленные задачи [2].

Цель исследований. Целью исследования является моделирование в пакете Matlab трех типов нейрорегуляторов для управления объектом «измельчительный агрегат-классификатор» путем применения согласованного интеллектуального управления в условиях неопределенности.

Изложение материала и результаты. Управление с помощью регулятора с предсказанием (*NN Predictive Controller*). Регулятор с предсказанием реализован в Neural Network Toolbox (NNT)[6] и использует модель нелинейного исполнительного процесса в виде нейронной сети, для того чтобы предсказать ее будущее поведение. Кроме этого, регулятор формирует исполнительный сигнал, который оптимизирует поведение объекта на заданном интервале времени.

Управление с предсказанием использует принцип удаленного горизонта, когда нейросетевая модель управляющего процесса предусматривает реакцию объекта управления на определенном интервале времени в будущем. Для построения нейронной сети для управления технологическим процессом нужно сформировать нелинейный регулятор следующего вида [4,5]

$$= \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_r(t+j) - y_m(t+j))^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_u} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2)) \quad (1)$$

Структурные схемы нейроконтроллера и нейронной сети управления объектом представлены на рис. 1

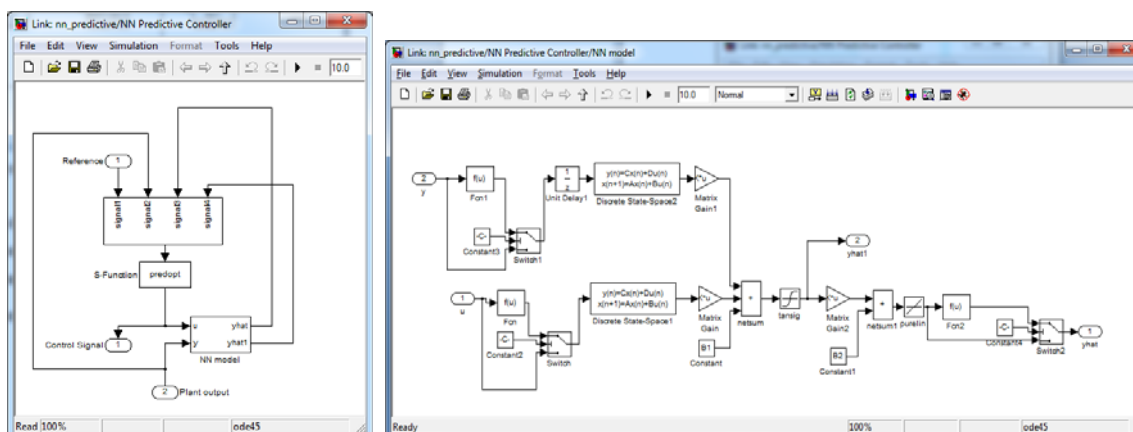


Рис. 1. Структурная схема нейроконтроллера и нейросетевой модели объекта управления

Функция *predopt* - выполняет задачу предсказания будущего значения.

Структурная схема объекта управления и результаты моделирования управления первой стадией измельчения представлены на рис. 2.

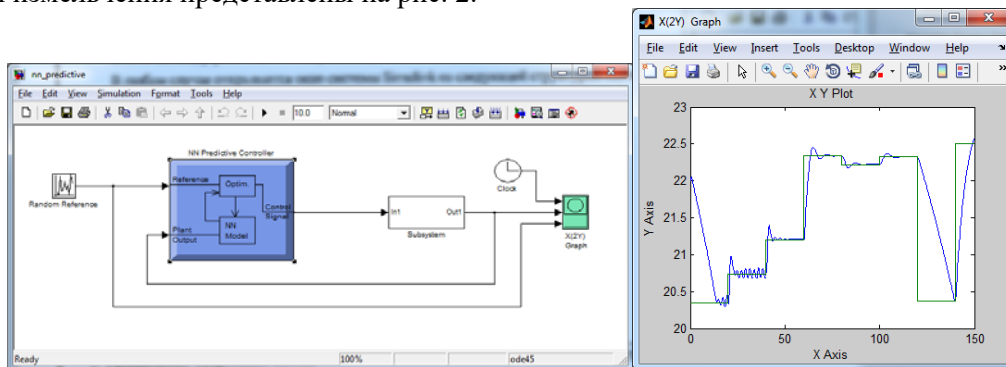


Рис. 2. Структурная схема объекта управления и результаты моделирования

Управление с помощью регулятора NARMA-L2. Из всех архитектур этот регулятор требует наименьшего объема вычислений. Данный регулятор - это просто некоторая реконструкция нейросетевой модели управляемого процесса, полученной на этапе идентификации [5,6]. Вычисления в реальном времени связаны только с реализацией нейронной сети. Недостаток метода состоит в том, что модель процесса должна быть задана в канонической форме пространства состояния, отвечающего сопровождающей матрице, что может приводить к вычислительным погрешностям. Для построения нейронной сети для управления технологическим процессом нужно сформировать нелинейный регулятор следующего вида

$$u(k) = G[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), y_r(k+d), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]. \quad (2)$$

Но хотя такой регулятор с помощью нейронной сети и может быть построен, - для этого нужно провести очень много расчетов, для уменьшения среднеквадратической погрешности в связи с использованием метода обратного распространения ошибки. Для практического решения этой задачи, в работах Нарендра и Макхопадхаи предложена другая NARMA-модель, получившая название NARMA-L2 [4,6], и которая имеет следующий вид

$$u(k) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-n+1)]}{g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-n+1)]}. \quad (3)$$

Но использование (1.3) при реализации регулятора не желательно, так как управление $u(k)$ зависит от значения выхода $y(k)$, поэтому (3) модифицируется следующим образом [18]

$$u(k+1) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), \dots, y(k-n+1), u(k), \dots, u(k-n+1)]}{g[y(k), \dots, y(k-n+1), u(k), \dots, u(k-n+1)]}. \quad (4)$$

Структурная схема нейроконтроллера представлена на рис. 3

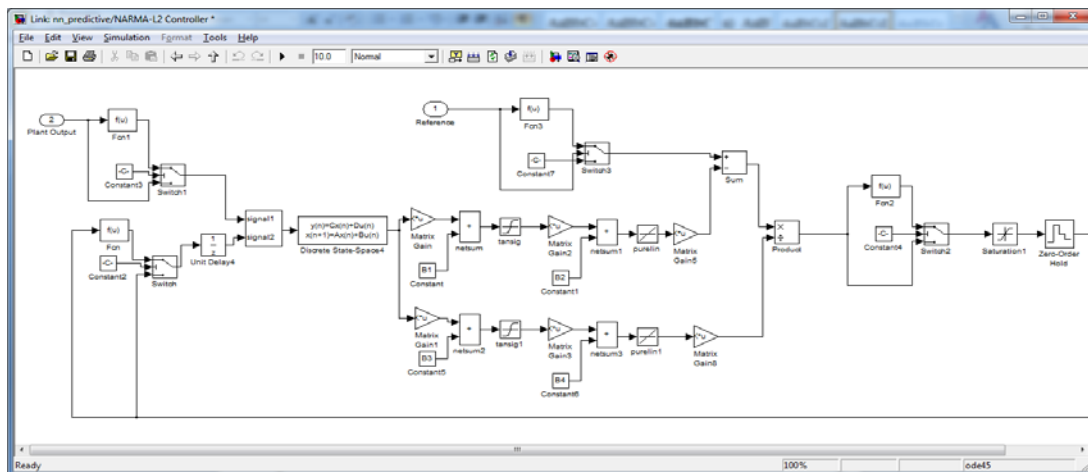


Рис. 3. Структурная схема нейроконтроллера

Структурная схема объекта управления и результаты моделирования управления первой стадией измельчения представлены на рис. 4.

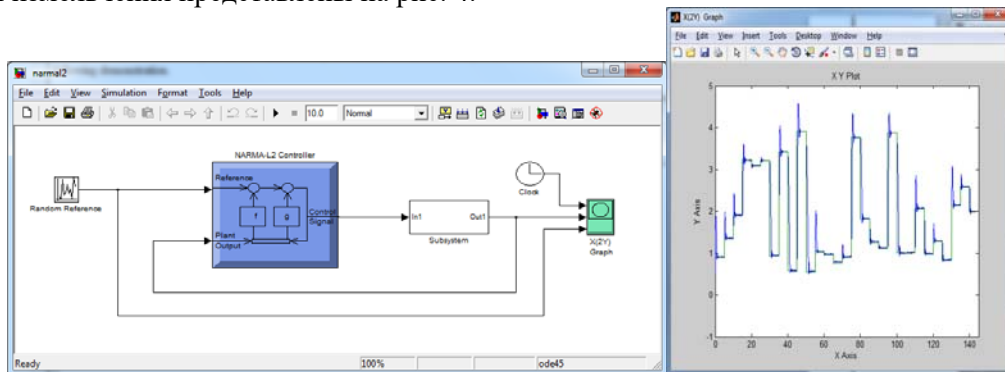


Рис. 4. Структурная схема объекта управления и результаты моделирования

Управление с помощью контроллера на основе эталонной модели. Необходимый объем вычислений для этого регулятора по сравнению с предыдущим меньше. Однако архитектура ре-

гулятора с эталонной моделью требует обучения нейронной сети управляемого процесса и нейронной сети регулятора [5]. При этом обучение регулятора оказывается довольно сложным, поскольку обучение основано на динамическом варианте метода обратного распространения ошибки. Преимуществом регуляторов на основе эталонной модели является то, что они могут быть применены к различным классам управляемых процессов.

Структурные схемы нейроконтроллера и нейронной сети управления объектом представлены на рис. 5

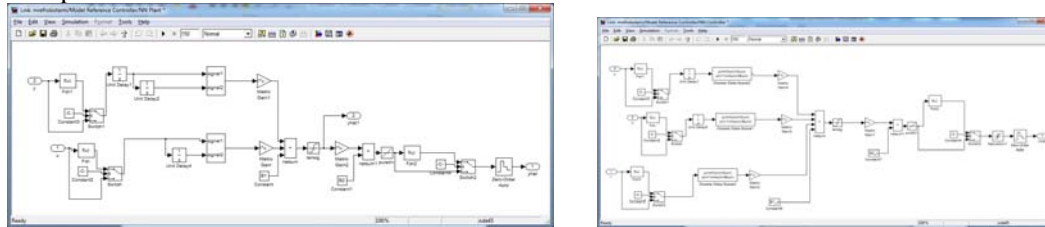


Рис. 5. Структурная схема нейроконтроллера и нейросетевой модели объекта управления

Структурная схема объекта управления и результаты моделирования управления первой стадией измельчения представлены на рис. 6.

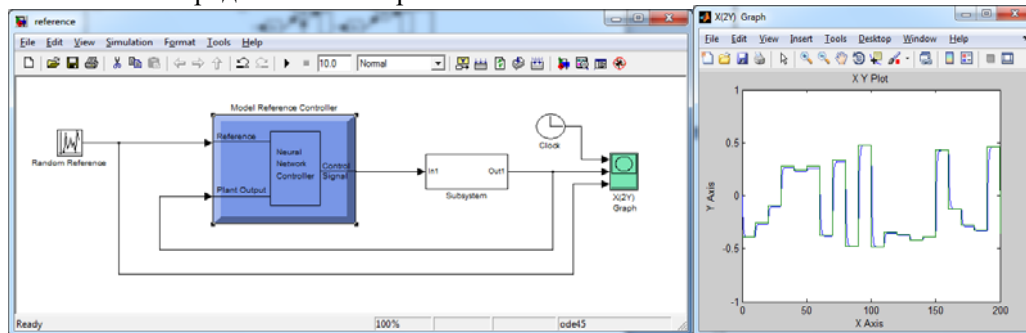


Рис. 6. Структурная схема объекта управления и результаты моделирования

Выводы. Исследована возможность управления технологическим процессом с помощью регуляторов на основе нейронных сетей, реализованных в пакете MatLab (Simulink). Проанализированы различия в их работе, построении и идентификации параметров. Промоделирована работа трех типов регуляторов: на основе эталонной модели, NARMA-L2 и с предсказанием. Лучшие результаты показали регуляторы на основе эталонной модели и NARMA-L2.

Список литературы

1. Гвоздик В.С. Реализация согласованного управления мельницами измельчения на основе применения нечеткого контроллера / В.С. Гвоздик, А.И. Купин // Разраб. рудн. месторожд. – Вып.88.- Кривой Рог: КТУ, 2005.- С.148-152.
2. Купин А.І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології : Монографія / А.І. Купін.- Кривий Ріг: КТУ, 2008.- 204 с.
3. Назаренко В.М. Современные информационные технологии для управления работой рудником горнообогатительного комбината / В.М. Назаренко, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, А.І. Купін // Разраб. рудн. месторожд. – Вып.77.- Кривой Рог: КТУ, 2002.- С. 66-70.
4. Методы робастного, нейрон-нечеткого и адаптивного управления / Под.ред. Н.Д. Егупова.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.- 744 с.
5. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. - М.: Высш. шк., 2002.- 183 с.
6. Neural Network Toolbox. Internet: <http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/nnet>.

Рукопись поступила в редакцию 12.12.11

УДК 004.67

Д.І. КУЗНЕЦОВ, аспірант, А.І. КУПІН, д-р техн. наук, доц.
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІЗ ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Проаналізовано основні закономірності виникнення різних типів дефектів. Показано та промодельовано властивість електрообладнання зберігати свою унікальність, шляхом аналізу їх спектральних характеристик. Запро-