

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волоконно-оптические датчики // Экспресс-информация «ПЭА», № 22, реферат 83. – М.: ВИНТИ, 1986.
2. Гонда С., Сэко Д. Оптоэлектроника в вопросах и ответах: Пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Потапов В.Т. и др. Волоконно-оптические технологии, устройства, датчики и системы // Фотон-экспресс. – 2005. – № 6. www.fotonexpress.ru.
4. Измерительные комбинированные оптические преобразователи тока и напряжения NXVCT-121/145/245/362/420/550/800 // Справочник. – 1-е изд., 2007.
5. Бонерт К., Гугенбах П. Прорыв в области измерения сильных постоянных токов // АББ Ревю. – 2005. – № 1.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Е. Золотовский.

**Финаев Валерий Иванович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: fin\_val\_iv@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1; тел.: 88634371689; кафедра систем автоматического управления; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Скубилин Михаил Демянович** – кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

**Заргарян Юрий Артурович** – кафедра систем автоматического управления; ассистент.

**Finaev Valeri Ivanovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: fin\_val\_iv@tsure.ru; 1, Engelsa street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

**Scubilin Michail Demyanovich** – the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Zargaryan Yuri Arturovich** – the department of automatic control systems; assistant.

УДК 004.032.26

**Я.С. Коровин**

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОНЛАЙН МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ФОНДА НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН\***

*Исследуется проблема повышения эффективности и безопасности нефтедобывающего производственного процесса путем применения информационно-управляющих систем, построенных на основе технологии интеллектуального анализа данных. Описываются новые методы извлечения неизвестных закономерностей, а также диагностики и прогнозирования состояния нефтепромыслового оборудования. В результате предложена архитектура и описана основная функциональность автоматизированной системы онлайн мониторинга состояния объектов нефтепромысла, разработанной на основе новых методов и алгоритмов.*

*Интеллектуальный анализ данных; диагностика; прогнозирование; мониторинг; нефтепромысловое оборудование.*

**Y.S. Korovin**

### **OILFIELD WELLS STATE ONLINE MONITORING AUTOMATED SYSTEM**

*In this article the solution of the problem of oil-extracting production efficiency and safety raise by the information systems constructed on the Data mining technology basis application is offered. The description of new Database knowledge discovery methods, so as the oilfield equip-*

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-08-33105-мол-а-вед).

*ment state diagnostics and forecasting methods is provided. The architecture and the main functionality of automated software system applied for oilfield objects state online monitoring, developed on new methods and algorithms basis, is described.*

*Data mining; diagnostics, forecasting; monitoring; oilfield.*

**Введение.** Проблема повышения эффективности и безопасности функционирования технологического оборудования нефтегазодобывающих мехатронных комплексов в последнее время принимает особое значение в свете произошедшей катастрофы в Мексиканском заливе по вине нефтяной компании British Petroleum.

Одним из наиболее вероятных путей повышения безопасности и эффективности нефтегазодобывающего производственного процесса является обновление технологического оборудования, однако на это требуются существенные финансовые затраты, поэтому такой способ в настоящее время едва реализуем.

Другим вариантом решения обозначенной проблемы является внедрение в производственный процесс информационно-управляющих систем, ориентированных на выполнение процедур диагностики текущего состояния объекта управления (ОУ) со своевременным предупреждением наступления аварий, отказов и сбоев.

Анализ информационных источников и результатов патентных исследований показал, что применяемые ранее методы и средства диагностики и прогнозирования состояния нефтедобывающего технологического оборудования уже не могут обеспечить требования по уровню безопасности и эффективности функционирования современных сложных технических систем рассматриваемой критической области деятельности. Постоянный рост объема "информационного вала" данных о параметрах функционирования объектов нефтепромысла повышает зависимость от т.н. "человеческого фактора" [1, 2]. Данная ситуация ухудшается с каждым днем в виду экспоненциального роста сложности информационно-управляющих и иных систем, задействованных в производственном процессе разведки, бурения и, в большей степени, добычи и транспортировки продукции.

Что касается отечественной практики извлечения углеводородов, то, несмотря на относительно большое присутствие на рынке информационных продуктов систем, ориентированных на выполнение процедур оперативной диагностики нефтепромыслового оборудования, в настоящее время качество решения задачи определения текущего состояния объекта управления, в значительной степени зависит от подготовки и опыта оператора. В этой связи, учитывая большую номенклатуру оборудования и объемы анализируемой информации, вероятность ошибки в оценке состояния и определении прогноза развития ситуации достаточно велика.

Реально повысить уровень обеспечения безопасности и предотвратить возникновение техногенных аварий в нефтегазовой промышленности возможно за счёт создания и внедрения на объектах автоматизированных информационно-управляющих систем, построенных базе новых методов и алгоритмов интеллектуального анализа данных (Data Mining), ориентированных на качественную обработку больших массивов разнородной информации в масштабе реального времени.

В связи с вышеизложенным, актуальной является проблема разработки и исследования новых методов и средств диагностики и прогнозирования оперативного состояния технологического оборудования нефтепромысла, обеспечивающих качественно новые характеристики по безопасности и эффективности их функционирования, с последующим их внедрением в нефтедобывающий производственный процесс.

#### **Разработка автоматизированной системы онлайн мониторинга.**

Основными блоками разрабатываемой системы выступают:

- ◆ база ретроспективных данных о функционировании ОУ;
- ◆ текущие оперативные данные о функционировании объекта нефтепромысла;

- ◆ блок извлечения новых неизвестных закономерностей о функционировании нефтепромыслового оборудования;
- ◆ блок диагностики текущего состояния объекта управления;
- ◆ блок определения тенденции развития ситуации (прогнозирования);
- ◆ блок принятия соответствующего управляющего воздействия.

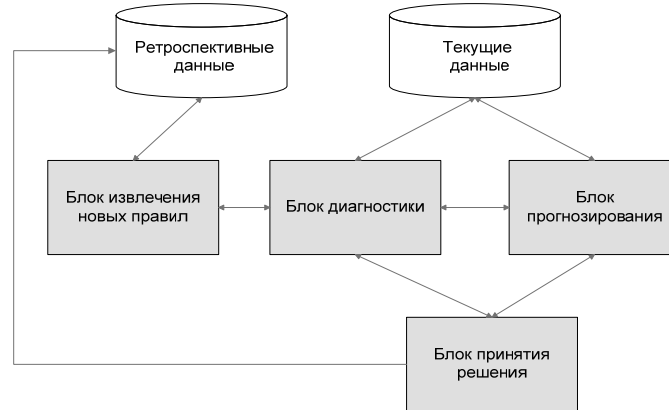


Рис. 1. Основные блоки АСОМ

Опишем функции блоков.

*База ретроспективных данных.* Содержит данные о функционировании ОУ в определенный момент времени с указанием режима работы ОУ и соответствующими показаниями групп параметров, характеризующих качество функционирования оборудования (в простейшем случае, "норма" или "отклонение").

*Блок извлечения новых правил.* Предназначен для извлечения новых неизвестных закономерностей из массивов накопленных ретроспективных данных о функционировании ОУ, основан на методе извлечения правил из нейронной сети. Разработанный метод основан на преобразованиях, обратных операциям, описанным в методе нейросетевой интерпретации жестких правил функционирования сложного мехатронного объекта нефтепромысла [3].

Согласно методу наименьших квадратов, минимизируемой целевой функцией ошибки нейронной сети является величина:

$$E(w) = \frac{1}{2} (y_p^{(N)} - d_p)^2, \tag{1}$$

где  $y$  – реальное выходное состояние нейрона выходного слоя N при подаче на её входы P-го образа;  $d_p$  – идеальное (желаемое) выходное состояние этого нейрона.

Суммирование ведется по всем обрабатываемым сетью образцам (рис. 1).

Минимизация ведется методом градиентного спуска, что означает подстройку весовых коэффициентов следующим образом:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta * \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \tag{2}$$

Здесь  $w_{ij}$  – весовой коэффициент синаптической связи, соединяющей j-й нейрон слоя (n) со связанным с ним i-м нейроном j-множества нейронов слоя n;  $\eta$  – коэффициент скорости обучения,  $0 < \eta < 1$ . Распишем второй множитель:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_{ij}} * \frac{\partial y_{ij}}{\partial s_j} * \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}. \tag{3}$$

Под  $y_j$  подразумевается выход нейрона  $j$ , а под  $S_j$  – взвешенная сумма его входных сигналов, то есть аргумент активационной функции. Первый множитель раскладывается следующим образом:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} * \frac{\partial y_k}{\partial s_k} * \frac{\partial s_k}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} * \frac{\partial y_k}{\partial s_k} * w_{jk}^{(n+1)}. \quad (4)$$

Здесь суммирование по  $k$  выполняется среди всех нейронов слоя  $(n+1)$ .

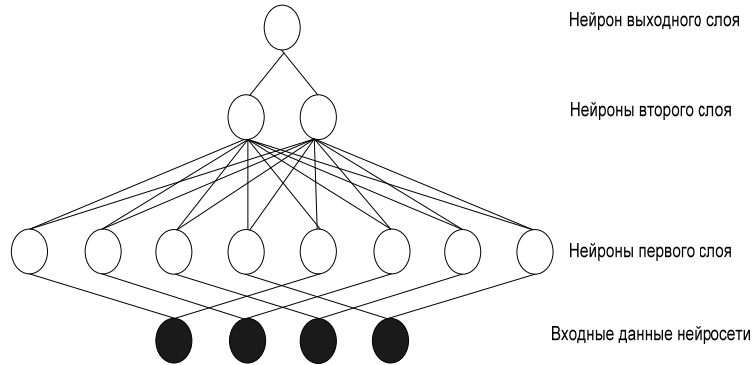


Рис. 2. Структура нейронной сети для извлечения правил

Введем новую переменную

$$\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_k} * \frac{\partial y_k}{\partial s_k}, \quad (5)$$

получим рекурсивную формулу для расчетов величин  $\delta_j^{(n)}$  слоя  $n$  из величин  $\delta_j^{(n+1)}$  более старшего слоя  $(n+1)$ .

$$\delta_j^{(n)} = \left[ \sum_k \delta_k^{(n+1)} * w_{jk}^{(n+1)} \right] * \frac{\partial y_j}{\partial s_j}. \quad (6)$$

Для выходного слоя

$$\delta^N = (y - d) * \frac{\partial y_j}{\partial s_j}. \quad (7)$$

Получаем множество конъюнктов, связанных с каждым дизъюнктом, по следующему правилу: если связь между соответствующими нейронами второго и третьего слоя отсутствует или вес связи близок к нулю или меньше нуля – то конъюнкт не используется в этом дизъюнкте. Используя формулу

$$C_{i_2} = \bigcap_{i_2=1}^{k_2} \left\| W_{2, i_1, i_2} \right| - 1 \bigcup B_{i_1}, \quad (8)$$

получим связь гиперплоскостей и конъюнктов. Гиперплоскость  $B_{i_1}$  получаем по формуле

$$\frac{A_{i_0}}{W_{1, i_0, i_1}} = -Z_{i_1}. \quad (9)$$

Таким образом, получаем правила вида

$$((X1>Z1 \&\& X2>Z2) \vee (X2 \leq Z3 \&\& X3>Z4)),$$

где  $X$  – параметры состояния объекта,  $Z$  – граничные значения параметров.

**Блок диагностики состояния ОУ.** Предназначен для осуществления скоростного анализа состояния ОУ в режиме реального времени на основе показаний параметров (групп параметров), характеризующих функционирование нефтепромыслового оборудования. Процедура диагностирования основана на применении новых методов и алгоритмов нейросетевого анализа данных [3]. Основной идеей предложенного подхода является применение множества нейронных сетей, обученных на "поиск своей неисправности".

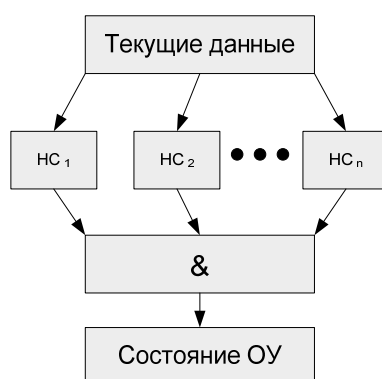


Рис. 3. Основная идея предложенного метода множества нейронных сетей нейропроектов

В режиме реального времени данные о режимах состоянии ОУ подаются на входы всех нейронных сетей и параллельно обрабатываются. Таким образом, в рабочем режиме нейросетевой модуль, построенный с применением предложенного метода, может определять сразу несколько типов одновременно возникающих неисправностей, что является реальным при эксплуатации объектов нефтепромысла. Итоговое состояние анализируемого мехатронного объекта складывается из подмножества результатов операций нейросетевого распознавания.

**Блок прогнозирования состояния ОУ.** Предназначен для осуществления определения возможного развития ситуации с целью предупреждения наступления отказов оборудования. Основан на изучении характера изменения диагностических показателей под влиянием внешних и внутренних воздействий. На базе сформировавшихся тенденций производится предсказывание значения показателей в определенный момент времени.

**Блок принятия решения.** В зависимости от результатов процедур диагностики и прогнозирования в данном блоке происходит выдача оператору варианта (вариантов) управляющего воздействия. Для этого применяется подход, основанный на однозначном соответствии ситуации с объектом нефтепромысла и мероприятия, которое следует применять соответствующему специалисту в зависимости от производственного регламента. В случае, если, по мнению оператора, АСОМ предоставила неверную оценку ситуации, производится коррекция итогов операций диагностики и прогнозирования с последующим переобучением нейронных сетей, ориентированных на обработку текущих данных, характеризующих функционирование ОУ.

Разработанная система онлайн мониторинга состояния нефтепромыслового оборудования будет использована в ОАО "Сургутнефтегаз" для решения задач поддержки принятия решений операторов цехов добычи нефти и газа.

**Заключение.** Таким образом, предлагаемые подходы, методы и алгоритмы и автоматизированная система онлайн мониторинга, построенная на их основе, обладают следующими преимуществами, такими как универсальность применения, высокая скорость обработки данных (за счет естественного параллелизма обработки информации в нейронных сетях), высокое качество распознавание данных [1], - возможность повышения степени интеллектуализации принимаемого решения за счет наличия процедур коррекции результатов и переобучения нейросетевого "ядра" системы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кононов С.В., Коровин С.Я. Развитие информационных систем основного производства ОАО "Сургутнефтегаз" для задач поддержки принятия решений // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 10.
2. Галуев Г.А., Коровин Я.С., Коровин С.Я., Матвеев С.Н. Комплексный подход к поддержке принятия решений для управления производственными процессами в нефтяной промышленности на основе нейрокомпьютерных и мультиагентных технологий // Нейрокомпьютеры: разработка, применение". – 2006. – № 3. – С. 42-49.
3. Коровин Я.С. Система поддержки принятия решений по контролю состояния УЭЦН на основе нейронной сети: архитектура, реализация, перспективы // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 1. – С. 80-85.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.А. Гандурин.

**Коровин Яков Сергеевич** – Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: korovin\_yakov@mail.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2, ГСП-284; тел.: 88634365883; к.т.н.; зав. лабораторией нейросетевых систем.

**Korovin Yakov Sergeevich** – SFedU Acad. Kalyaev Scientific Research Institute of Multiprocessor Computer Systems; e-mail: korovin\_yakov@mail.ru; GSP-284, 2, Chekhov street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634365883; cand. of eng. sc.; head of neuronetwork systems laboratory.

УДК 004.4

**А.В. Егоров, Н.И. Куприянова**

#### **ПРОБЛЕМА ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ В МЕТОДАХ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ**

*Целью исследования является описание проблемы, вызванной многообразием существующих критериев в нечетком кластерном анализе. Описываются подгруппы критериев, служащие для определения кластеров, а также для оценки процесса кластеризации и его результатов. Основные критерии иллюстрируются на базовых видах данных: матрицах связи и матрицах объект–признак. Далее рассматривается механизм расчета данных критериев. Особое место занимают оптимизационные критерии, в состав входят эвристические, аппроксимационные и критерии статистического оценивания. В завершении данные критерии соотносятся с критерием k-средних, как одним из базовых для процессов нечеткого кластерного анализа. В завершении описываются функционалы качества, являющиеся типовыми примерами использования понятия «критерий» в процессах обработки данных.*

*Оптимизационные критерии; критерии выбора методов кластеризации; функционалы качества кластеризации.*