

Я.С. Коровин

### ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО КОНТРОЛЮ СОСТОЯНИЯ УЭЦН (УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ) НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ: ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Программный комплекс поддержки принятия решений на основе нейронной сети (ПК СППР "УЭЦН-НС"), предназначен для осуществления поддержки принятия решений по контролю эффективности эксплуатации фонда УЭЦН ОАО "Сургутнефтегаз".

Комплекс выявляет отклонения в работе УЭЦН и предупреждает о возможном наступлении неисправности. Итоговое решение по диагностике принимает человек. Нейросетевые принципы обработки данных позволили наделять программный продукт высоким быстродействием (в отличие от классических систем, построенных на продукциях) при хорошем качестве классификации состояний погружного оборудования [1].

Источниками данных для системы поддержки принятия решений в ОАО "Сургутнефтегаз" являются АСУ ТП нефтепромыслов "ОКО" (оперативный контроль объекта) и нефтепромысловый комплекс (НПК) "Альфа".

Основные принципы работы ПК СППР "УЭЦН-НС" представлены на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм работы ПК СППР "УЭЦН-НС" на этапе проектирования

Предполагалось, что работа разрабатываемого программного комплекса будет выглядеть следующим образом.

В БД НПК "Альфа" хранятся исторические данные по режимам функционирования установок погружного оборудования («норма», «неисправность») и типам неисправностей, возникавших в ходе их работы («снижение притока», «заклинивание УЭЦН», «снижение подачи», «слом вала» и т.д.). Режимам функционирования УЭЦН

и типам неисправностей, происходивших с установками в определенные моменты времени, соответствуют показаниям параметров, характеризующих работу УЭЦН (электрические параметры, технологические замеры и т.д.). Каждая такая запись данных по параметрам работы УЭЦН и состоянию насоса («норма» - «неисправность» (с указанием типа неисправности)) представляет собой обучающий пример для нейронной сети. На нейронную сеть блока «Учитель» предполагалось подавать массив выборок обучающих примеров для того, чтобы нейронная сеть «обучалась», т.е. приобретала опыт, и в дальнейшем могла самостоятельно определять состояние насоса или тип неисправности на новых данных, поступающих в режиме реального времени (блок «Анализатор») [2]. Результаты нейросетевого анализа поступают на монитор ЛПР (лица, принимающего решения), (технолога НГДУ), который, если видит ошибки в нейросетевой классификации, то производит корректировку решений нейронной сети. Откорректированные результаты нейросетевого анализа поступают обратно в поля БД НПК "Альфа" и используются для дообучения нейронной сети для повышения качества распознавания вновь поступающих данных.

Однако в ходе разработки ПК СППР "УЭЦН-НС" возник ряд сложностей, которые показали недостаточную эффективность применяемого классического подхода в условиях поставленной производственной задачи.

Основные сложности, возникшие при разработке ПК СППР "УЭЦН-НС":

- проблема небольшого объема выборки обучающих примеров для обучения нейронной сети блока «Учитель», вследствие чего – низкая обобщающая способность нейронной сети;
- высокая зашумленность исторических данных, используемых для обучения нейронной сети в связи с нередкими сбоями телеметрии;
- противоречивость входных данных (часто незначительно отличающиеся или идентичные показания телеметрии и замеров соответствовали различным режимам функционирования УЭЦН («норма» - «неисправность») или различным типам неисправностей (например, «засорение УЭЦН» и «негерметичность НКТ»)).

Такая ситуация требовала применения новых подходов и методик. В лаборатории нейропроцессорных систем Научно-исследовательского института многопроцессорных вычислительных систем им. академика А.В. Каляева Таганрогского государственного радиотехнического университета (НИИ МВС ТРТУ) был проведен ряд экспериментов по предварительной обработке данных для решения вышеупомянутых проблем. В результате была разработана подсистема «Нейроэксперт».

### Подсистема «Нейроэксперт»

Подсистема «Нейроэксперт» («НЭ») реализована на основе правил, представленных экспертами - технологами ОАО «Сургутнефтегаз» (НГДУ "Комсомольскнефть"). «НЭ» по своей сути представляет собой формируемую нейронную сеть с пороговой функцией активации.

Внедрение «НЭ» на данном этапе позволило:

- обрабатывать имеющиеся исторические данные БД НПК "Альфа" по работе УЭЦН на предмет классификации по типам состояний («норма» - «неисправность») и типам неисправностей («заклинивание УЭЦН», «засорение УЭЦН», «негерметичность НКТ», «слом вала», «отложение АСПО» и др.);
- использовать результаты работы НЭ как входные данные для обучения нейронной сети блока «Учитель» (рис. 1), обучаемой методом обратного распространения ошибки (ОРО) [3].

- анализировать данные по УЭЦН в режиме реального времени и с большим быстродействием предоставлять пользователю результаты (по кусту, цеху, НГДУ или всему фонду объединения), как и обучаемая нейронная сеть.

Принцип работы подсистемы «Нейроэксперт» изображен на рис. 2.

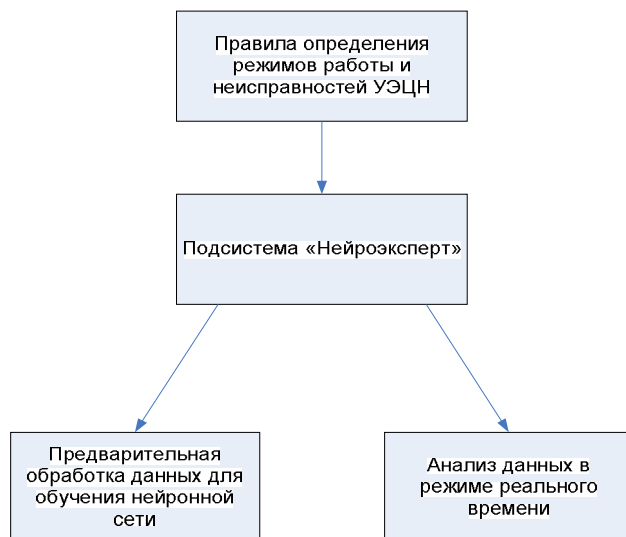


Рис. 2. Принцип работы подсистемы "Нейроэксперт"

В подсистеме "Нейроэксперт" были применены сети с тремя обучаемыми слоями ввиду того, что такие сети способны разграничивать области любой сложности. Функция активации, для понижения размерности сети и точного разграничения областей была выбрана биполярная пороговая [3].

В нашем случае ставилась задача разграничивать невыпуклые области в силу того, что в нейросетевом базисе требуется построение именно невыпуклых областей для решения задачи классификации состояний УЭЦН и типов неисправностей, возникающих в ходе их работы. Построение невыпуклых граничных областей, где каждой невыпуклой области соответствует тип состояния (неисправности), гарантирует качественное разбиение на заданные классы типы состояний (типы неисправностей) УЭЦН.

### Архитектура ПК СППР "УЭЦН-НС"

ПК СППР "УЭЦН-НС" представляет собой клиент – серверное приложение (рис. 3).

Из БД НПК "Альфа" через шлюз подготовки данных и сервер приложений «Альфа-УЭЦН» данные поступают на сервер приложений «УЭЦН-НС», после - на клиентские места пользователей ПК СППР "УЭЦН-НС".

В соответствии с правами доступа пользователи ПК СППР "УЭЦН-НС" образуют три группы:

1. эксперты-технологи (ЭТ);
2. инженеры по знаниям (ИЗ);
3. лица, принимающие решения (ЛПР).

Для каждой из этих групп разработано отдельное АРМ (автоматизированное рабочее место). Соответственно, в роли клиентов выступают АРМ ЭТ, АРМ ИЗ, АРМ ЛПР.

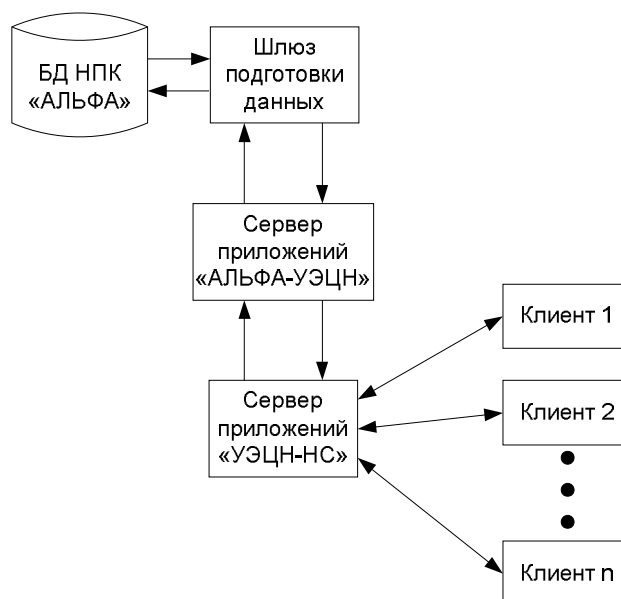


Рис. 3. Клиент – серверная архитектура ПК СППР "УЭЦН-НС"

Ниже изображена окончательная архитектура ПК СППР "УЭЦН-НС" после интеграции подсистемы "Нейроэксперт".

Остановимся на принципах работы ПК СППР "УЭЦН-НС" (рис. 4).

Эксперт-технолог определяет общий список параметров для анализа работы УЭЦН и общий список неисправностей. Далее он определяет параметры, по которым определяется каждый тип неисправности и формирует правила определения каждого типа неисправности. Эти правила поступают в подсистему "Нейроэксперт", и на их основе происходит классификация всего имеющегося массива информации по УЭЦН по режимам функционирования УЭЦН («в норме» - «отключение») и по типам неисправностей согласно общему списку неисправностей, утвержденному экспертом-технологом. Эти предварительно обработанные данные образуют массив выборок обучающих примеров и используются для обучения нейронной сети (обучаемой методом обратного распространения ошибки).

Инженер по знаниям формирует конфигурацию нейронной сети и производит обучение требуемого уровня качества.

В реальном масштабе времени данные, характеризующие работу УЭЦН, поступают через сервер приложений «Альфа-УЭЦН» на сервер приложений «УЭЦН-НС».

Предварительная обработка данных осуществляется в блоке входного контроля (рис. 4). В этом блоке происходит контроль поступающих данных из базы данных на полноту (проверяется, заполнены ли все поля, и при отсутствии информации по рабочим параметрам отсутствующие данные заменяются на режимные значения этих параметров).

Обработанные блоком входного контроля данные поступают в блок «Анализатор». Блок «Анализатор» состоит из двух подблоков.

1. Подсистема "Нейроэксперт".
2. Обученная нейронная сеть.

Таким образом, в модуле «Анализатор» данные обрабатываются как подсистемой "Нейроэксперт", так и обученной нейронной сетью. Результаты двойственного анализа поступают на монитор лица, принимающего решения (ЛПР). При

необходимости, ЛПР производит корректировку результатов анализа, сопровождая ее комментариями. Откорректированные результаты поступают обратно на сервер приложений "УЭЦН-НС", далее на сервер «Альфа-УЭЦН» и, в конечном итоге, в БД НПК "Альфа" и используются для переобучения нейронной сети.

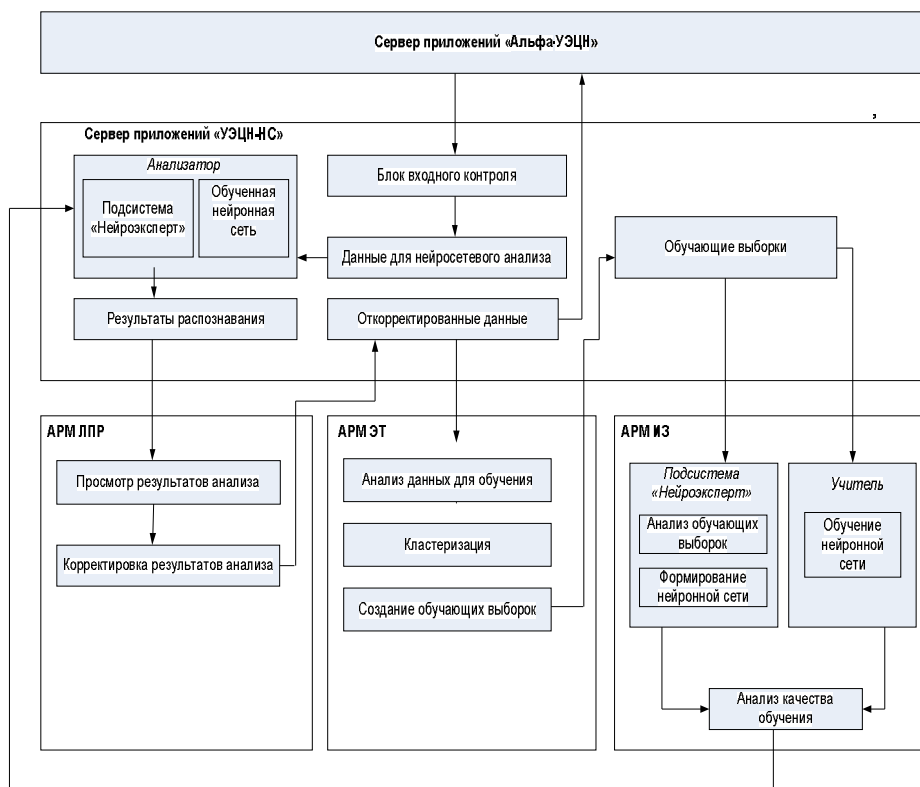


Рис. 4. Окончательная архитектура ПК СППР "УЭЦН-НС"

Необходимо заметить, что в подсистеме "Нейроэксперт" определение отклонений и типов неисправностей производится по ограниченному числу параметров (для каждой неисправности характерен свой набор параметров, по которым она выявляется); но обучение нейронной сети, также как распознавание в режиме реального времени, происходит с учетом всех параметров, влияющих на работу УЭЦН (на данный момент в системе реализован нейросетевой анализ по 32 наиболее значимым параметрам, утвержденным специалистами НГДУ "Комсомольскнефть"). Такой принцип позволяет четко в режиме реального времени выявлять отклонения и предупреждать наступление аварийных ситуаций, а также в перспективе выявлять новые неизвестные закономерности между комбинациями параметров и режимами работы УЭЦН.

#### Практические результаты на данном этапе. Перспективы развития ПК СППР "УЭЦН-НС"

Уже на этапе опытной эксплуатации было выявлено несколько аварийных ситуаций и были проведены соответствующие мероприятия по нормализации работ соответствующих скважин с отклонениями в работе УЭЦН, которые исключили дорогостоящие работы по ремонту оборудования и повторному запуску скважин. Коэффици-

ент правильно распознанных ситуаций составил около 100% подсистемы "Нейроэксперт" и более 84% у обученной нейронной сети (по оценкам экспертов - технологов НГДУ "Комсомольскнефть"). В настоящий момент система введена в промышленную эксплуатацию в НГДУ «Комсомольскнефть» ОАО «Сургутнефтегаз». Кроме очевидного экономического эффекта, внедрение данной системы облегчает работу технологов НГДУ, в чьи обязанности входит непосредственный контроль работоспособности технологического оборудования и объемов добычи продукции, что особенно актуально в суровых климатических условиях Западной Сибири.

Внедренная разработка представляет собой пример применения нейросетевых технологий для управления технологическим оборудованием (в роли технологического объекта управления (ТОУ) выступает УЭЦН).

В настоящее время в лаборатории нейропроцессорных систем НИИ МВС ТРТУ ведется работа по проектированию и реализации универсального реконфигурируемого нейросетевого решателя для мониторинга технологических объектов управления. В качестве ТОУ могут выступать УЭЦН, ШГН, насосы ДНС, КНС, энергосети, сети трубопроводов и т.п. Ставится задача в проектируемой системе реализовать методики работы с данными, воплощенные в ПК СППР "УЭЦН-НС", а также применить ряд качественно новых подходов и принципов (нейросетевые и иные методы обработки информации).

Планируется вначале производить анализ предметной области, специфики поставленной задачи.

Далее обрабатываются входные данные: применяется кластеризация методом k-means (возможно, и другими методами), а также путем принципов выше описанной подсистемы "Нейроэксперт", т.е., если есть какие-то правила или закономерности, способные разделить массив входной информации на классы, то тогда определяется оптимальная конфигурация формируемой нейронной сети и обрабатываются все имеющиеся данные.

Здесь же происходит извлечение новых знаний (правил) из базы данных. Планируется применять принципы KDD (knowledge database discovery), а также собственные разработки НИИ МВС ТРТУ.

С учетом проделанных операций после этого запускается процедура обучения реконфигурируемого нейросетевого модуля до достижения требуемого уровня качества. Обученная нейронная сеть наряду с подсистемой, аналогичной "Нейроэксперту", проводит мониторинг ТОУ (или процесса) в режиме реального времени. В ходе мониторинга осуществляется контроль качества распознавания, в автоматическом режиме корректируются правила классификации по группам входных параметров и массив обучающих выборок и извлекаются новые закономерности путем методов нейросетевой обработки.

В итоге ставится задача разработать полностью самообучаемую реконфигурируемую систему для мониторинга ТОУ, процессов и т.д., использующую нейросетевые и иные принципы обработки данных, которая может быть применена для решения реальных производственных и других прикладных задач.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кононов С.В., Коровин С.Я. Развитие информационных систем основного производства ОАО "Сургутнефтегаз" для задач поддержки принятия решений // Нефтяное хозяйство. № 10, 2006.
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 – М: Радиотехника, № 3, 2006. – С.42-49.
3. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир, 1992.