

# Применение нейросетевых подходов в создании системы мониторинга технологических параметров скважин, эксплуатирующихся методом парогравитационного дренажа

**О.В. Денисов**

начальник бюро АРИС ЦИИОП<sup>1</sup>  
dovrgm@gmail.com

**Р.Г. Гирфанов**

Начальник центра ИООП<sup>2</sup>  
Girfanov\_r@tatintec.ru

**Б.Ф. Закиев**

начальник ТО ППД НГДУ<sup>3</sup>  
ZakievBF@almet.tatneft.ru

**А.В. Насыбуллин**

д.т.н., начальник отдела<sup>3</sup>  
arslan@tatnippi.ru

<sup>1</sup>ООО «ТатАСУ», Альметьевск, Россия

<sup>2</sup>НГДУ «Альметьевнефть», Альметьевск, Россия

<sup>3</sup>научная часть РИТиМПС  
Институт «ТатНИПИнефть», Бугульма, Россия

**Изложены результаты применения нейросетевых подходов в создании системы мониторинга технологических параметров скважин, эксплуатирующихся методом парогравитационного дренажа. Продемонстрированы наглядные представления расчетных критериев отклонений.**

## Материалы и методы

На основе использования двунаправленных самоорганизующихся карт Кохонена строятся модели взаимного поведения технологических параметров. Полученные модели служат для обнаружения отклонения от штатного функционирования АСУТП и/или нефтепромыслового объекта.

## Ключевые слова

контроль технологических параметров, самоорганизующиеся карты Кохонена, модель совместного поведения технологических параметров, обнаружение нештатного функционирования АСУТП и/или нефтепромыслового объекта

## Статистическое моделирование для контроля работы скважин парогравитационного дренажа

В настоящее время ОАО «Татнефть» производит масштабные работы по освоению и введению в эксплуатацию битумных залежей Ашальчинского месторождения. Основной особенностью добычи сверхвязкой нефти в регионе является использование технологии парогравитационного дренажа. Технологию можно описать как воздействие пара на нефтяной пласт, при котором пара горизонтальных скважин пробуривается одна над другой в нескольких метрах. Пар под высоким давлением непрерывно поступает в верхний ствол скважины, нагревая нефть и снижая ее вязкость, в результате чего нагретая нефть стекает в нижнюю скважину и откачивается.

Особенности эксплуатации и стоимость оборудования обуславливают необходимость высокой степени телемеханизации всего фонда наземными и подземными измерительными системами. Количество передаваемых технологических параметров с пары таких скважин может достигать до сотни. Телеметрические системы позволяют производить контроль состояния оборудования по отдельным взятым замеряемым параметрам, допустимые значения которых ограничиваются так называемыми уставками. Срабатывание автоматики по уставкам обеспечивает реакцию на такие простые события как перегрев электродвигателя, превышение мощности, отключение и включение погружного насоса по значению давления на приеме. Наблюдение совместного поведения технологических параметров, характеризующего процесс функционирования оборудования и добычи продукции в целом, производится на основе визуального контроля графиков замеров ответственным промысловым персоналом. Рост количества скважин привел к необходимости реализации автоматизированной системы, производящей мониторинг состояния работы оборудования по многим параметрам на основе анализа их совместного состояния.

## Контроль работы скважин по набору параметров

Статистическое моделирование на основе нейросетевого анализа данных телеметрии позволяет выявлять неисправности в работе скважин парогравитационного дренажа. Ввиду того, что основным параметром, требующим недопущения отклонения от режимных показателей, является дебит скважины, необходимо реализовать алгоритм,

позволяющий смоделировать функционал зависимости:

$$Q \approx F(P, T, N, \dots)$$

где  $Q$  — дебит жидкости,  $P$  — давление на приеме насоса,  $T$  — температура на приеме насоса,  $N$  — мощность.

В результате исследования различных методов свою универсальность подтвердили модификации алгоритмов самоорганизующихся карт Кохонена [1]. Самоорганизующиеся карты — разновидность нейронных сетей в виде сетки, где каждый элемент представляет собой  $n$ -мерный вектор с весом  $w$ . Для обучения используются следующие данные: вектор  $x$ , состоящий из нескольких независимых переменных ( $P, T, N$ ), и  $y$  — зависимая переменная ( $Q$ ). При обучении карты для каждого элемента сети вычисляется евклидово расстояние между входным вектором  $x$  и вектором весов  $w$ . Элемент с наименьшим расстоянием называется победителем, и преобразуется с помощью вектора  $x$ , веса  $w$  пересчитываются в соответствии с вектором  $x$ . Самоорганизующиеся сети — это сети классифицированных объектов, в случае данных телеметрии — векторов замеров.

Построенная карта может использоваться для идентификации значений дебита жидкости. Для анализа функционирования скважин используются следующие критерии:

1. Отклонение замеренного значения дебита жидкости от модельного.
2. Отклонение входных параметров от модельных.
3. Отклонение каждого из независимых параметров:  $P, T, N$  от модели.

Причины отклонений определяются из анализа совместных графиков замеров параметров оператором по скважинам с высокими значениями критериев. Если причина находится в реальном физическом изменении процесса функционирования пары скважин, не носящем критический или нештатный характер, то накопленная выборка из взаимных состояний ( $P, T, N$ ) включается в обучающую, а процесс обучения самоорганизующейся карты Кохонена перезапускается с целью получения новой модели.

Для наблюдения за рассчитываемыми критериями разработано несколько видов отображения.

## Формы отображения информации для контроля работы скважин

Для удобства проведения анализа разработаны следующие формы отображения результатов расчетов: статика, динамика изменения состояния, отклонение по каждому параметру.

Статика отражает текущее состояние объектов, или состояние на определенную дату. Данный вид отображения использует критерии 1 на оси  $x$  и 2 на оси  $y$  (Рис. 1). Цвет отражает удаленность объекта от начала координат и облегчает восприятие. Объекты с большим значением критериев окрашиваются красным цветом, с маленьким значением критериев — зеленым. Большое значение одного из этих критериев указывает на возможные неисправности в работе оборудования или смену режима. Данное представление позволяет оценить отклонение от нормальной работы скважины.

Динамика позволяет оценить изменение состояния объекта на определенном промежутке времени. Для оценки динамики по критериям 1 и 2 вычисляется суммарный вектор-направление изменения состояния скважины. Отклонение от начального значения по критерию 1 отображается на оси  $x$  (Рис. 2), отклонение по критерию 2 на оси  $y$ . Размер объекта на графике отражает длину траектории изменения состояния на рассматриваемом промежутке времени. Цвет соответствует состоянию на последнюю

дату. Таким образом, данное представление позволяет оценить насколько сильно изменилось состояние скважины по каждому критерию и направление изменения этого состояния.

Отображение отклонений по каждому из параметров использует средние значения критериев 2 и 3 для отображения их совместных значений (Рис. 3). Значения на осях отображают среднее значение отклонения по параметрам: температура на приеме насоса, давление на приеме насоса и мощность. Размер сферы отражает величину отклонения дебита жидкости за период времени. Цвет соответствует состоянию на последнюю дату. Данное представление позволяет оценить динамику отклонения от нормальной работы скважины по каждому из параметров.

Разработанные формы отображения позволяют наблюдать одновременно за большим количеством скважин и выявлять те, которые требуют внимания специалиста. В следствие чего, быстрое обнаружение неисправностей позволяет снизить затраты на их устранение.

### Анализ термограмм

Для контроля термограмм разработано отображение фактических данных и разбиение их на классы (Рис. 4). Отображение эволюции термограммы во времени представлено в трех измерениях: время, температура, длина кабеля. Цвет отражает температуру нагрева. Данное отображение позволяет отследить динамику изменения процессов по стволу скважины. Разбиение на классы реализовано также на основе алгоритма самоорганизующихся сетей. В данном случае данные для построения модели и для прогноза одни и те же. Цель данного разбиения — выделить похожие термограммы в отдельные классы.

### Контроль термограмм

Для контроля термограмм используется алгоритм, аналогичный описанному выше для контроля работы скважины по набору параметров. В данном случае независимой переменной выступает набор термограмм, зависимая переменная отсутствует. На первом этапе производится построение самоорганизующейся карты на данных, характеризующих нормальную работу. Далее производится

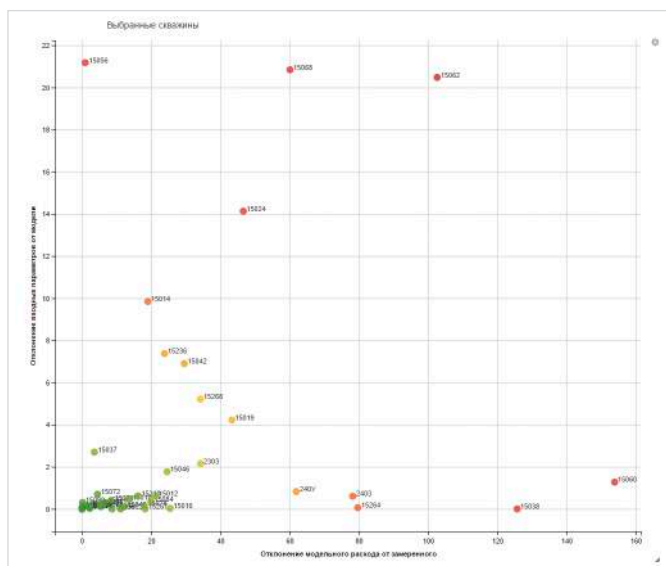


Рис. 1 — Положение маркера скважины характеризует значения критериев отклонений по двум критериям (ось  $X$  и ось  $Y$ ). Близкие к нулю (зеленые маркеры) — скважины, не требующие внимания

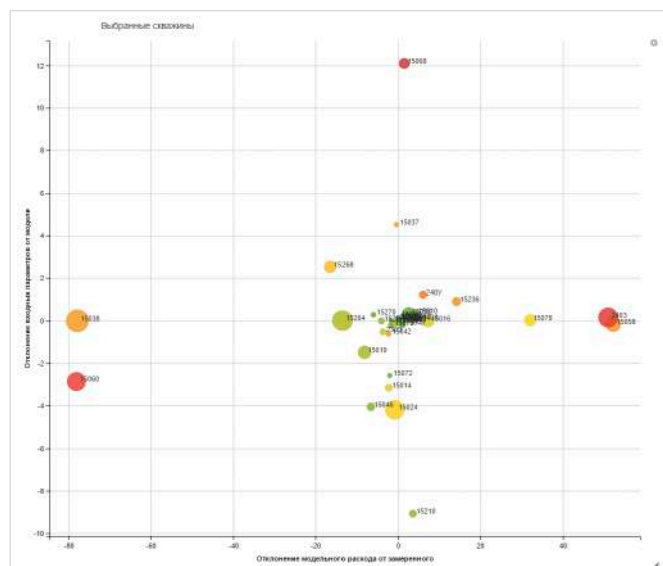


Рис. 2 — Отображение динамики накопления отклонения по критериям. Площадь маркера характеризует суммарное накопленное отклонение. Цвет — последнее состояние на текущую дату

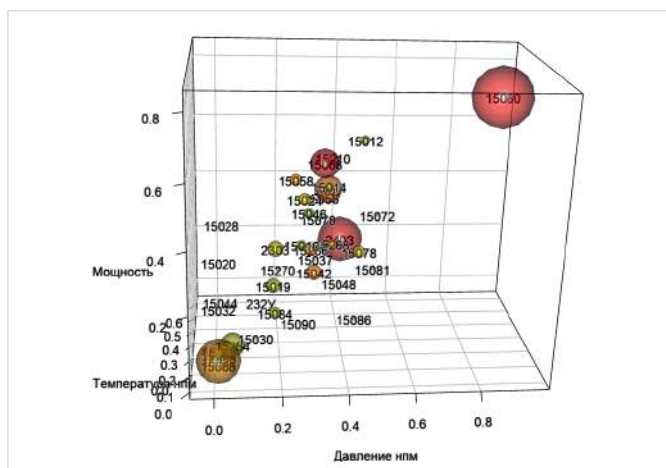


Рис. 3 — Трехмерное (активный куб) представление позволяет отследить отклонение по конкретным параметрам от модели за периоды времени

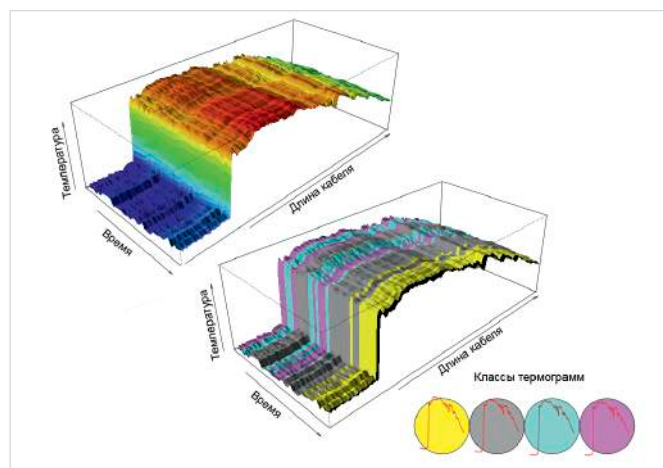


Рис. 4 — Нейросетевой анализ термограмм позволяет разбить их на определенные классы, а сравнение с вновь приходящими — выявить накопление нештатной ситуации



прогнозирование на новых данных. Для оценки состояния скважины используется критерий: отклонение входных параметров от модельных. Величина значения данного критерия отражает состояние скважины на основе термограммы.

#### Экономическая эффективность от внедрения

Сумма затрат на разработку приложения составляет 4,7 млн руб. Экономический эффект достигается путем экономии затрат на постоянный мониторинг показателей, а так же в следствии недопущения аварий. В среднем на скважинах Ашальчинского месторождения происходит 2 аварии, средняя стоимость капитального ремонта скважины 1,9 млн руб. С ростом числа скважин неизбежен был бы рост перечисленных затрат, следовательно, возрастет экономия.

Показатели экономической эффективности следующие: ЧДД — 8,7 млн руб. (за срок эффекта — 4 года), ИДД — 0, дисконтированный срок окупаемости — 1,2 года.

На уже реализованные программные продукты получены свидетельства: [2] и [3].

#### Итоги

Реализована система мониторинга технологических параметров, основанная на применении нейросетевых подходов, которая позволяет обнаруживать нештатное функционирование скважин, эксплуатирующихся методом парогравитационного дренажа.

#### Выводы

Предложенный метод анализа информации опробован и показал свою эффективность по обнаружению скважин, требующих немедленного внимания, корректировки режимных показателей. Своевременное реагирование на подобные ситуации позволит предотвратить аварии и затраты от простоя оборудования, а также оптимизировать процессы для более эффективной добычи нефти. Предложенный подход к анализу данных телеметрии также позволяет существенно сократить затраты рабочего времени технологического персонала по контролю действующего фонда скважин.

#### Список используемой литературы

1. Kohonen T. Self-Organizing Maps. New York, 2001, 501 p.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2015613046 Программный комплекс статистического и нейросетевого анализа данных телеметрии нефтепромысловых объектов.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2015613045 Программа контроля состояний телемеханизированных нефтепромысловых объектов с помощью нейросетевого анализа.

ENGLISH

AUTOMATION

## Application of neural network approaches in creating a monitoring system of technological parameters of wells operated by steam assisted gravity drainage

UDC 65.011.56

#### Author:

**Oleg V. Denisov** — bureau chief; [dorvgm@gmail.com](mailto:dorvgm@gmail.com)  
**Ruslan G. Girfanov** — head of department<sup>1</sup>; [Girfanov\\_r@tatintec.ru](mailto:Girfanov_r@tatintec.ru)  
**Bulat F. Zakiev** — head of department<sup>2</sup>; [ZakievBF@almet.tatneft.ru](mailto:ZakievBF@almet.tatneft.ru)  
**Arslan V. Nasybullin** — Sc.D., head of laboratory<sup>3</sup>; [arslan@tatnipi.ru](mailto:arslan@tatnipi.ru)

<sup>1</sup>“TatASU” LLC, Almet'yevsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Field Office “Almetievneft”, Almet'yevsk, Russian Federation

<sup>3</sup>“TatNIPneft” institute, Bugulma, Russian Federation

#### Abstract

In this article were presented results of the application of neural network approach in the creation of a monitoring system of technological parameters of wells operated by steam assisted gravity drainage. Showcased visual representation of design criteria deviations.

#### Materials and methods

On the basis of the using of bi-directional Kohonen self-organizing maps is built models of mutual behavior of process parameters. Derived models are used to detect deviations from the regular operation of process control and / or oil facilities.

#### Results

It was implemented the system of process parameters monitoring based on the using of neural network approaches that can detect unintended operation of wells operated by cyclic steam stimulation.

#### Conclusions

The proposed method of analysis of the information was tested and shown its effectiveness for the detection of wells that require immediate attention and adjustment of operating parameters. Timely response to such situations will prevent accidents

and the cost of downtime, as well as to optimize the processes for more effective oil production. The proposed approach to the analysis of telemetry data also can significantly reduce the cost of the working time of technological personnel to monitor the current oilfield objects.

#### Keywords

control of technological parameters, Kohonen self-organizing maps, a model of the joint behavior of process parameters, detection of abnormal functioning of the control system and / or oil facilities

#### References

1. Kohonen T. Self-Organizing Maps. New York, 2001. 501 p.

2. Certificate № 2015613046 Program complex statistical and neural network analysis of telemetry data oilfield facilities.

3. Certificate № 2015613045 Condition monitoring program telemetry oil facilities using neural network analysis.