

# Снижение рисков при строительстве скважин опыт ЛУКОЙЛА



## Risk Management for Well Construction - Technology Implementation at Lukoil

В.Н. Ракичинский

ОАО «ОЭГ «ПетроСервис»

В.В. Следков

ОАО «ЛУКОЙЛ»

Приведен краткий анализ реализаций задачи автоматического распознавания предаварийных и аварийных ситуаций в программном обеспечении станций геолого-технических исследований (ГТИ). Предложен вариант развития этой задачи с использованием самообучающихся искусственных нейронных сетей.

### ■ Введение

Одной из основных целей проведения геологотехнологических исследований при строительстве скважин является своевременное распознавание аномальных ситуаций, возникающих в процессе выполнения работ. Под аномальными ситуациями понимаются процессы на буровой и в скважине, отличающиеся от штатных и требующие адекватного реагирования.

Наибольшие проблемы в своевременном автоматизированном обнаружении и определении аномальных ситуаций возникают непосредственно на буровой, в ходе работ по строительству скважины. Это вызвано многими причинами:

- необходимость практически постоянного визуального контроля технологических процессов на буровой и в скважине;
- необходимость принятия решения и выдачи рекомендаций в реальном времени в условиях

V.N. Rakichinsky

United Petroservices Energy Group (UPEG)

V.V.Sledkov

LUKOIL

The following article briefly analyzes how to meet the challenges of automatic recognition for pre-emergency and emergency events within geotechnical studies (GTS). An option is suggested for the development of this task based on the use of self-learning artificial neural networks.

### ■ Introduction

The timely recognition of anomalous situations arising in the process of job execution is a major goal of geotechnical studies conducted during well construction. Anomalous situations are those events that occur on the rig and in the borehole differing from a routine situation and requiring an adequate response.

The greatest challenges posed to timely detection and identifying of anomalous situations arise directly on the rig during the well construction phase. This may be due to a variety of reasons such as:

- the need for virtually constant visual monitoring of operating procedures on the rig and in the borehole;
- the need for making decisions and issuing recommendations in real time while being constrained by lack of information;
- the need for taking into account a huge amount of diverse factors and initial data;
- inadequate at times personnel qualification.

- недостатка информации;
- необходимость учета большого количества разноплановых факторов и исходных данных;
- не всегда достаточная квалификация персонала.

## **1. Принципы и примеры решения задачи автоматизированного распознавания аномальных ситуаций**

Автоматизированное определение предаварийных и аварийных ситуаций при бурении скважин проводится путем сравнения текущих значений нескольких технологических параметров с их пороговыми значениями, задаваемыми обслуживающим персоналом или Разработчиками станции ГТИ. Определение величин пороговых значений чаще всего основано на субъективном мнении оператора или Разработчика станции. К достоинствам данного решения задачи можно отнести то, что настройка программного обеспечения не требует высокой квалификации и значительных затрат времени. К недостаткам можно отнести небольшую номенклатуру распознаваемых аномалий, ограниченный перечень анализируемых факторов, отсутствие автоматизированного анализа динамики технологических параметров.

Можно рассмотреть примеры реализации автоматического распознавания аномальных ситуаций, используемые в российской практике бурения.

### **1.1. Технологический модуль «Распознавание нештатных ситуаций» (разработка ОАО «ОЭГ «ПетроСервис»)**

Данный модуль используется при проведении удаленного мониторинга процессов строительства скважины, при котором информация в масштабе времени и глубины в реальном времени поступает на какой-либо уровень управления.

Распознавание аномальных ситуаций может проводиться при бурении и проработке, распознаются следующие ситуации: поглощение, полное или частичное, проявление, слом, прихват бурильной колонны, промыв бурового насоса. Анализируются следующие технологические параметры: давление нагнетания, вес на крюке и нагрузка на долото, обороты и момент на роторе, расход раствора на входе и выходе, объем раствора в емкостях, суммарное содержание газа в растворе и температура выходящего из скважины раствора.

Для каждого параметра могут выставляться абсолютные пороговые значения или сравнивается текущее значение параметра с предыдущим. Общая вероятность распознавания аномалии определяется как сумма весовых коэффициентов распознавания по каждому параметру.

#### **Достоинства реализации:**

- прежде всего, это возможность удаленной настройки модуля;
- данный модуль, как и в целом, информационная система «Удаленный мониторинг бурения» может работать с различными системами сбора;
- достаточно большой перечень используемых

## **1. Principles and examples of solution of problems relating to automatic recognition of the anomalous situations**

The automatic determination of pre-emergency and emergency situations that may arise during borehole drilling is carried out through comparison of current values of several process parameters with their threshold values set by service personnel or GTS station developers.

Determination of the quantity of threshold values is most commonly based on the subjective opinion of the operator or developer of the station.

Among the merits of this approach to problem solving is the fact that software tuning does not require high proficiency or considerable time input. The downside is the small range of identified anomalies, a limited number of analyzed factors, lack of automated analysis of process parameters dynamics. We can consider the examples of implementation of automated recognition of anomalous situations that are seeing increasing use in Russian drilling practice.

### **1.1 Recognizing the need for contingency planning (developed by UPEG)**

This module is utilized when conducting remote monitoring of the well construction processes where the information on time, scale and depth, are all provided to specific management levels in real time.

The recognition of anomalous situations can be conducted during both drilling and borehole reaming, and the following situations are recognized: partial or complete lost circulation, drilling show, tool failure, stuck drill string, washout of mud pump. The following process parameters are analyzed: injection pressure, hook weight and bit pressure, RPM and rotary table torque, inlet and outlet mud circulation rate, mud pit volume, drilling fluid cumulative gas content and the temperature of the outgoing mud. Absolute threshold values may be set for each parameter or the instantaneous value of the parameter is compared with the previous one. The total probability of anomaly recognition is defined as the sum of the weighted coefficients of recognition for each parameter. The module offers the following advantages:

- first is the option of remote tuning;
- this module just like the entire information system “Remote monitoring of drilling” can operate with different data gathering systems;
- a fairly large array of used parameters and recognizable scenarios;
- Major drawbacks:
- the necessity of constant adjustment of threshold values of parameters and weight coefficients of recognition;
- analysis of process dynamics boils down to comparison of the instantaneous and previous values of the parameter, the dynamics is not monitored when the period of analysis is 1-10sec.and there is no preliminary data preparation (filtration, ranking of parameter state);
- zero capability of setting a negative value of situation probability to a parameter;
- a relatively high level of complexity, labor input and intuitiveness is involved in module tuning;
- the list of parameters and data to be used in the analysis of situation is still far from being complete.

параметров и распознаваемых ситуаций.

#### Основные недостатки:

- необходимость постоянной корректировки пороговых значений параметров и весовых коэффициентов распознавания;
- анализ динамики технологического процесса сводится к сравнению текущего и предыдущего значений параметра, при периоде анализа 1-10 секунд и отсутствии предварительной подготовки данных (фильтрация, ранжирование состояния параметра) динамика не отслеживается;
- нет возможности задания отрицательной величины вероятности ситуации по какому-либо параметру;
- достаточно высокая сложность, трудоемкость и интуитивность настройки модуля;
- перечень параметров и данных, которые необходимо использовать в анализе ситуации все же далеко не полный.

### 1.2. Модуль «Анализатора ситуаций» (разработка ЗАО «АМТ»)

В «Анализаторе ситуаций» используются основные технологические параметры как получаемые с датчиков, так и расчетные, при этом анализируются не только значения параметров, но и скорость их изменения, что позволяет учитывать динамику возникновения и развития аномальной ситуации. Используются следующие параметры:

- вес на крюке
- нагрузка на долото
- частота вращения ротора
- число двойных ходов насоса
- расход раствора на входе и выходе из скважины
- давление нагнетания
- суммарный объем раствора в емкостях
- механическая скорость бурения
- среднеквадратические отклонения давления нагнетания и момента на роторе

Каждый из вышенназванных параметров может принимать одно из пяти состояний: «очень мало», «мало», «нормально», «много», «очень много», т.е. реализовано ранжирование состояния каждого параметра.

Дальнейшая настройка сводится к выбору совокупности состояний параметров, характеризующих появление какой-либо аварийной ситуации и заданию величины условной вероятности распознавания этой ситуации по состоянию каждого параметра. Возможно задание отрицательной вероятности для компенсации влияния управляемого человеком параметра на другой параметр. В работе «Анализатора ситуаций» используются не мгновенные значения параметров, а предварительно проводится ряд процедур:

- фильтрация значений параметров
- определение стационарных значений
- специальным модулем «Измерение» проводится фиксация соотношений «момент на роторе – обороты ротора», «давление нагнетания – расход раствора» при нормальном состоянии скважины, инструмента и оборудования
- определяются тенденции в изменении некоторых параметров

#### 1.2 Situation Analyzer (developed by AMT)

The “Situation analyzer” utilizes the basic process parameters both sensor-derived and rated, with parameter values analyzed along with their rate of change which allows one to consider the dynamics of occurrence and development of an abnormal situation. The following parameters are used:

- hook weight
- bit pressure
- rotary rotations per minute
- double-stroke number
- inlet and outlet mud circulation rate
- injection pressure
- total mud pit volume
- mechanical drilling speed
- the mean-square deviations of injection pressure and rotary torque

Each of the above parameters can assume one of the five states: “very small”, “small”, “normal”, “much”, “very much”, that is to say, the ranking of each parameter state is implemented.

By fine tuning the range of the total parameters which characterize the probability of an emergency situation and by setting the value according to the state of each parameter, it is possible to set a negative probability to make up for the impact of a human-controlled effects on the other parameters.

The “Situation Analyzer” deploys a number of preliminary procedures prior to its operation rather than instantaneous parameter values:

- filtering the parameter values;
- determination of steady-state values ;
- using a dedicated module “Measurements” the ratios “rotary torque – rpm”, “injection pressure- circulation rate” are recorded at the normal condition of the borehole, tools and equipment.
- trends in the change of some parameters are determined.
- thus, the current value of each analyzed parameter is ranked into five categories and is normalized to the results of operation of the module “Measurements”.
- the operation of the “Situation analyzer” is reduced essentially to comparison of the totality of the current parameter states with the previously adjusted model and to determination of the conditional cumulative probability of occurrence of each situation. If the conditional probability exceeds the threshold value, a warning is issued.
- the salient points of its implementation:
- a relatively large set of analyzed parameters;
- analysis of parameter change dynamics;
- the possibility of human intervention to compensate for control actions on the process by setting negative values of recognition probabilities;
- the mechanisms of ranking and normalizing the parameters are implemented.

The main drawbacks of the current implementation:

- the “Situation analyzer” is only run for drilling and tripping operations while the bulk of accidents and complications occur during the execution of other jobs.
- permanent monitoring is required of the compliance of preset limits with actual conditions.
- the lack of range within the analysis of time impacting the outcome. As with any long-duration processes where any

# Madrid welcomes the 19th World Petroleum Congress



**A World in Transition:  
Delivering Energy for Sustainable Growth**

June 29 to July 3, 2008



[www.19wpc.com](http://www.19wpc.com)

**19TH WORLD PETROLEUM CONGRESS**

Host Sponsors



Gold Sponsors



Silver Sponsors

**ABENGOA BIOENERGIA**



**Deloitte.**

Official auditor and  
business consultant



PRICEWATERHOUSECOOPERS

Bronze Sponsors

**accenture**  
High performance. Delivered.



**GRACE**  
Grace Davison Refining Technologies

**TEEKAY SHIPPING CORPORATION**

Таким образом, текущее значение каждого анализируемого параметра ранжируется на пять категорий и нормируется к результатам работы модуля «Измерения».

Работа «Анализатора ситуаций» сводится к сравнению совокупности текущих состояний параметров с ранее настроенной моделью и определению условной суммарной вероятности появления каждой ситуации. Если условная вероятность выше порогового значения выдается предупреждение.

#### **Достоинства реализации:**

- достаточно большой набор анализируемых параметров;
- анализ динамики изменения параметров;
- возможность компенсации управляющих воздействий на технологический процесс со стороны человека заданием отрицательных величин вероятностей распознавания;
- реализованы механизмы ранжирования и нормирования параметров.

#### **Основные недостатки реализации:**

- данный «Анализатор ситуаций» работает только при бурении и спускоподъемных операциях, при том, что значительное количество аварий и осложнений происходят при выполнении других работ;
- требуется постоянный контроль соответствия заданных границ реальным условиям;
- незначительна «глубина» анализа по времени, при этом длительно развивающиеся процессы, когда какой-либо параметр или их группа изменяются медленно и/или не синхронно, не будут учтены;
- используются только регистрируемые датчиками параметры или их производные, при этом известная и значимая информация, определяемая другими способами, не используется. Например: параметры раствора, определяемые ручными измерениями, проектные данные о вероятности тех или иных осложнений, отработанный ресурс опор долота и т.д.;
- настройка «Анализатора ситуаций» требует высокой квалификации персонала, трудоемка и в большой степени интуитивна;
- отсутствуют алгоритмы уточнения ситуации методом «активного эксперимента»;
- в случае ложного распознавания ситуации нет возможности автоматического уточнения настройки «Анализатора ситуации» (возможности самообучения);
- не учитываются переходные процессы при смене технологических операций, как следствие – большое количество ложных распознаваний, снижение доверия к работе задачи и ее отключение Пользователем.

## **2. Предлагаемый способ решения задачи распознавания аномальных ситуаций**

В российской компании «ОЭГ «ПетроСервис», совместно с заказчиками из нефтяных компаний ЛУКОЙЛ и РОСНЕФТЬ ведется разработка нового подхода к решению задачи повышения качества анализа аномалий и оценки ситуаций, основанного на методах искусственного интеллекта – самообучающихся искусственных нейронных сетях (НС). Нейронные сети

one parameter, or a group of them, can change slowly and/or their asynchronously is being ignored

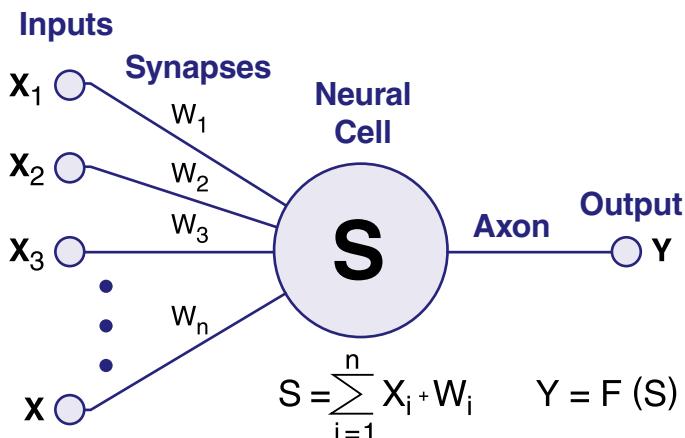
- only sensor-recorded parameters or their derivatives are used whereas known and relevant data defined by other methods remains untapped. For example, drilling mud properties, defined by manual probing, design data on the probability of various complications, the residual service life of drilling bit bearings, etc.
- tuning the “Situation analyzer” requires a high degree of technical expertise, is labor-consuming, and is largely done on a hunch
- zero algorithms for defining the situation more exactly by using the method of “active experiment”
- in the event of false recognition of situation there is no capability for automatically updating the tuning of the “Situation analyzer” (self-learning capability)
- transient processes are ignored during the change of process operations and as a result there is a large number of false recognitions, reduced confidence in the performance of the task and its disabling by the User.

## **2. The proposed method for solving the task of recognition of abnormal situations**

The Russian company UPEG in conjunction with customers from LUKOIL and ROSNEFT is busy working to develop a new approach to solving the task of upgrading the quality of analyses of abnormal situations and their appraisal based on the methods of artificial intelligence—the so-called self-learning artificial neural network (ANN).

Neural networks are essentially systems capable of not only performing previously programmed sequence of actions over preset data, but also of analyzing by themselves the incoming information, finding regularities in it, generating prognostications, etc.

The proven experience of applying these methods for solving the problems of classification and prediction in many areas of economics, technology and medicine provides the basis for anticipated effectiveness of utilizing similar systems for geotechnical investigations. An impressive array of different types of neural networks that differ in architecture, design and learning methods has been developed. But despite differences in kind, individual types of neural networks have several features in common.

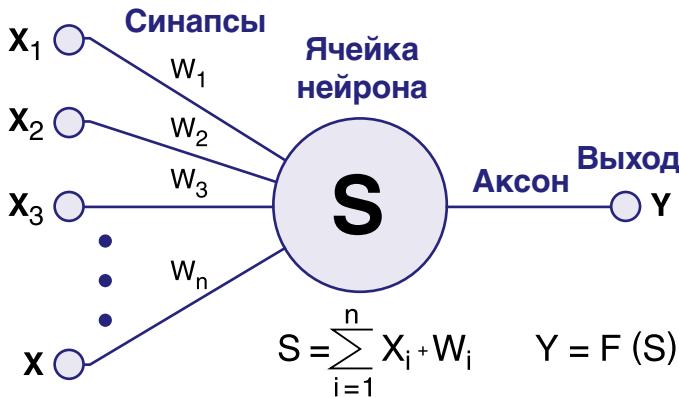


**Fig.1** An artificial neuron

это системы, которые способны не только выполнять однажды запрограммированную последовательность действий над заранее определенными данными, но и способны сами анализировать вновь поступающую информацию, находить в ней закономерности, производить прогнозирование и т.д. Основанием для ожидаемой эффективности применения подобных систем в практике геолого-технологических исследований служит положительный опыт применения этих методов для решения задач классификации и прогнозирования во многих областях экономики, техники, медицины.

Разработано большое количество различных типов нейронных сетей, различающихся по архитектуре, методам построения и обучения. Но несмотря на существенные различия, отдельные типы НС обладают некоторыми общими чертами.

### Входы



**Рис.1** Искусственный нейрон

Во-первых, основу каждой НС составляют относительно простые, в большинстве случаев – однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга. Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены.

Он обладает группой синапсов – односторонних входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Общий вид нейрона приведен на **рис. 1**. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом  $w_i$ , который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости.

Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \quad (1)$$

Выход нейрона есть функция его состояния:

$$y = f(s) \quad (2)$$

First, the core of each ANN is made up of relatively simple, mostly uniform elements (cells) which emulate the function of neurons in the brain.

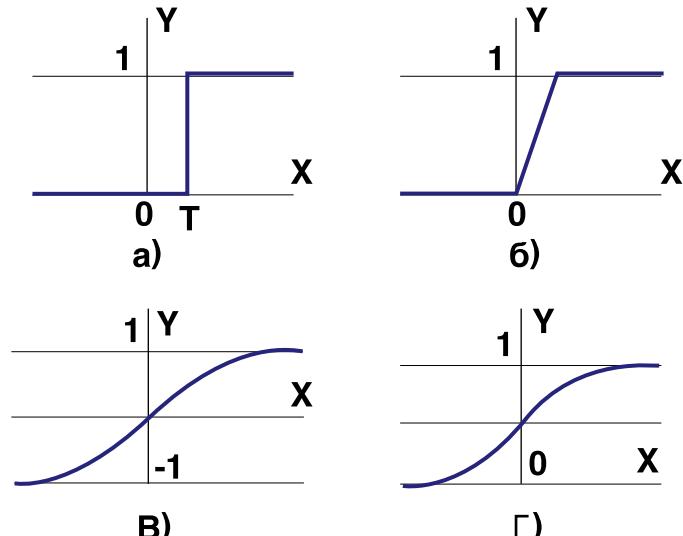
Each neuron is characterized by its current state similar to nerve cells of the brain which can be either excited or inhibited. It has a group of synapses – unidirectional input connections connected to the outputs of other neurons and also has an axon – the output connection of this neuron from which the signal (excitation or inhibition) is transmitted to synapses of the next neurons. The overall view of the neuron is given in Fig.1..

Each synapse is characterized by the value of synaptic connection or its weight  $w_i$ , which is physically equivalent to electrical conductivity. The current state of the neuron is defined as the weighted sum of its inputs:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \quad (1)$$

The output of a neuron is a function of its state:

$$y = f(s) \quad (2)$$

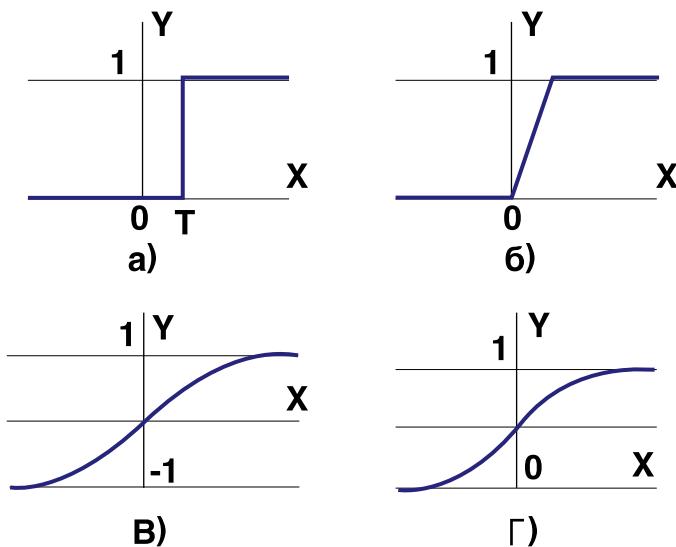


**Fig. 2** a) unit step function; b) linear threshold (hysteresis); c) sigmoid – hyperbolic tangent; d) sigmoid – formula – (3)

The function  $f$  is called activation function and can take different forms as shown in Fig.2. One of the most commonly encountered is a non-linear function with saturation, or the so-called logistic function, also known as sigmoid (i.e. an S-shaped function) :

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} \quad (3)$$

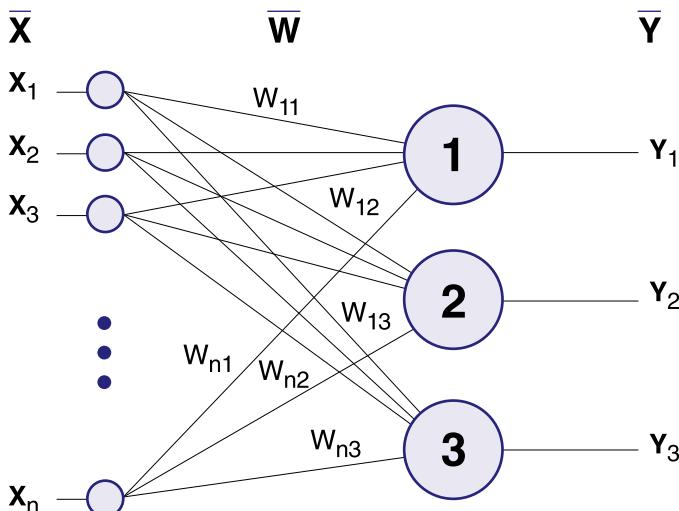
Please turn overleaf for Figure 3



**Рис.2** а) функция единичного скачка; б) линейный порог (гис-те-ре-эзис); в) сигмоид – гипербо-ли-ческий тангенс; г) сигмоид – фор-мула (3)

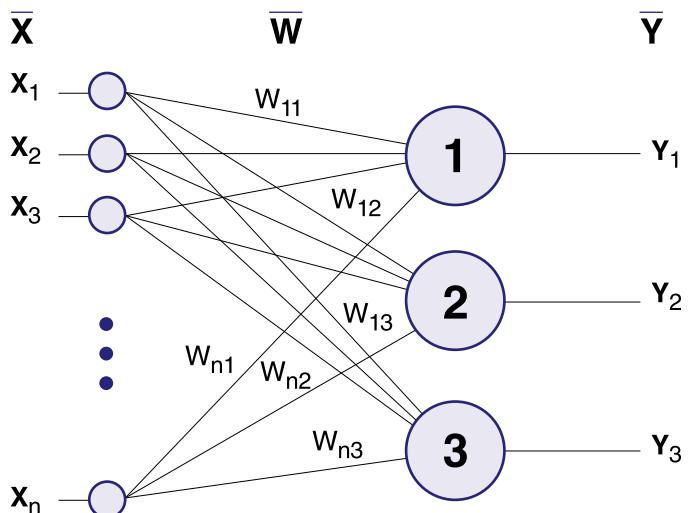
Функция  $f$  называется активационной и может иметь различный вид, как показано на **рисунке 2**. Одной из наиболее распространенных является нелинейная функция с насыщением, так называемая логистическая функция или сигмоид (т.е. функция S-образного вида):

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} \quad (3)$$



**Рис.3** Однослойный перцептрон

Во-вторых, всем НС присущ принцип параллельной обработки сигналов, который достигается путем объединения большого числа нейронов в так называемые слои и соединения определенным образом нейронов различных слоев, а также, в некоторых конфигурациях, и нейронов одного слоя между собой, причем обработка взаимодействия всех нейронов ведется послойно. В качестве примера рассмотрим простейшую нейронную сеть – однослойный трехнейронный перцептрон. На  $n$  входов поступают некие сигналы, проходящие по синапсам на 3 нейрона, образующие единственный слой



**Fig.3 A single-layer perceptron**

Second, inherent in all neural networks is the principle of parallel processing of the signals. This is achieved through the integration of a large number of neurons into so-called layers and then interconnected in a certain manner. Neurons can be interconnected in various single or multiple layers. Furthermore, processing of neuron interaction is conducted on a layer by layer basis. As an example let us consider the simplest form of neural network – a single-layer three-neuron perceptron. Some signals arrive at  $n$  inputs and then pass through synapses to three neurons forming the only layer of this ANN and generating three output signals :

$$y_j = f \left[ \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_{ij} \right], \quad j=1 \dots 3$$

Actually the implementation of the “Situation analyzer” in the AMT station is consistent with this simplest network: the inputs ( $x_i$ ) are the states of the parameters being analyzed, the neuron is the identified abnormal situation, the output ( $Y_i$ ) of which is the probability of recognition of this situation and the synapses are the individual probabilities of recognition of the situation for each analyzed parameter.

Implementation of a more complex structure of neural network with functionalities of adaptation, training, and self-learning is a further development of an already tried and tested over the years and proven realization of this task. The effort would involve the use of more advanced mathematical tools and the services of highly skilled specialists in the field.

Theoretically the number of layers and the number of neurons in each layer may be arbitrary, however it is actually limited by the resources of the computer on which a neural network is implemented. The choice of the neural network structure is made in accordance with the specific features and complexity of the task involved. There exist optimal for the current state of the art configurations to solve some specific types of problems. If the task cannot be reduced to any one of the known types, the developer has to solve the complex problem of synthesis of new configuration.

этой НС и выдающие три выходных сигнала:

$$y_j = f \left[ \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_{ij} \right] \quad j=1\dots3$$

По существу, реализация «Анализатора ситуаций» в станции «АМТ» соответствует данной простейшей схеме: входами ( $x_i$ ) являются состояния анализируемых параметров, нейроном является распознаваемая аномальная ситуация, выходом которого ( $y_i$ ) является вероятность распознавания этой ситуации, синапсами являются отдельные вероятности распознавания ситуации по каждому анализируемому параметру. Реализация более сложной структуры нейронной сети с функциями адаптации, обучения и самообучения становится развитием уже опробованной в течение многих лет и оправдывающей себя реализации данной задачи. При этом потребуется использование более продвинутых математических средств и привлечение высококвалифицированных специалистов в этой области. Теоретически число слоев и число нейронов в каждом слое может быть произвольным, однако фактически оно ограничено ресурсами компьютера, на котором реализуется НС.

Выбор структуры НС осуществляется в соответствии с особенностями и сложностью задачи. Для решения некоторых отдельных типов задач уже существуют оптимальные, на сегодняшний день, конфигурации. Если задача не может быть сведена ни к одному из известных типов, разработчику приходится решать сложную проблему синтеза новой конфигурации. При этом необходимо руководствоваться несколькими основополагающими принципами: возможности сети возрастают с увеличением числа ячеек сети, плотности связей между ними и числом выделенных слоев, введение обратных связей наряду с увеличением возможностей сети поднимает вопрос о ее динамической устойчивости; сложность алгоритмов функционирования сети (в том числе, например, введение нескольких типов синапсов – возбуждающих, тормозящих и др.) также способствует усилению мозги НС. Так как проблема синтеза НС сильно зависит от решаемой задачи, общих подробных рекомендаций не существует. В большинстве случаев оптимальный вариант конфигурации НС может быть определен на основе интуитивного подбора.

Очевидно, что процесс функционирования НС, то есть сущность действий, которые она способна выполнять, зависит от величин синаптических связей, поэтому, задавшись определенной структурой НС, отвечающей какой-либо задаче, разработчик сети должен найти оптимальные значения всех переменных весовых коэффициентов.

Этот этап называется обучением НС, и от того, насколько качественно он будет выполнен, зависит способность сети решать поставленные перед ней проблемы во время эксплуатации. На этапе обучения кроме параметра качества подбора весов важную роль играет время обучения. Как правило, эти два параметра связаны обратной зависимостью и их приходится выбирать на основе компромисса.

Существует великое множество различных алгоритмов



However it is necessary to be guided in the process by several fundamental principles: the capabilities of the neural network tend to increase with increased number of cells as well as increased density of connections among them and the number of dedicated layers, the introduction of feedback along with the increase of network capability raises the issue of its dynamic stability. Another factor contributing to increased ANN capacity is the complexity of network algorithms (including, for instance, the introduction of several types of synapses- excitatory, inhibitory, etc)

Since the problem of ANN synthesis depends to a larger extent on the active task, there exist no general detailed recommendations. In most cases the optimum version of ANN configuration can be determined tentatively by relying on intuition. It is obvious that the process of ANN functioning which is about the actions it is capable of performing, depends on the values of synaptic connections, therefore a developer dealing with a specific ANN structure tailored to meet some objective must find the optimal values of all weighting factor variables.

This stage is called network training and the ability of the ANN to handle performance problems assigned to it during its service life will be contingent on how well it is organized.

At this stage of instruction besides the parameter of weight selection of great importance is the time it takes to train the

обучения, которые, однако, делятся на два больших класса: детерминистские и стохастические. В первом из них подстройка весовых коэффициентов представляет собой жесткую последовательность действий, во втором – она производится на основе действий, подчиняющихся некоторому случайному процессу. Развивая дальше вопрос о возможной классификации НС, важно отметить существование бинарных и аналоговых сетей. Первые из них оперируют с двоичными сигналами, и выход каждого нейрона может принимать только два значения: логический ноль (“заторможенное” состояние) и логическая единица (“возбужденное” состояние). В аналоговых сетях выходные значения нейронов способны принимать непрерывные значения в некотором диапазоне.

### **3. Общие подходы к постановке задачи**

При всем многообразии работ, проводимых на буровой и в скважине, можно выделить достаточно ограниченный список операций, отображающих физическую сущность происходящих в скважине процессов, эти операции автоматически распознаются программным обеспечением станций ГТИ по совокупности показаний датчиков, расчетным параметрам и заданным настройкам. Различными системами сбора распознается разный перечень технологических ситуаций с использованием процедур, в деталях различающихся между собой. Для функционирования задачи распознавания аномальных ситуаций в составе станций ГТИ различного типа необходим единый алгоритм распознавания операций.

Свойства аномальных (аварийных) ситуаций с точки зрения их распознавания:

- Для различных технологических операций можно составить свой перечень возможных аномальных ситуаций.
- Одна и та же аномальная ситуация при различных технологических операциях может проявляться по разным признакам либо вообще не проявляться, но уже имеется, при выполнении другой операции аномалия становится определяемой. Отсюда возникает необходимость проведения «активного эксперимента» для уточнения типа аномалии и повышения достоверности ее диагностики. Данный подход описан в [3].
- Одни аномалии в процессе своего развития могут переходить в другие. Основная задача ранней диагностики аномалий и состоит в раннем ее обнаружении, когда аномалию можно ликвидировать без дополнительных материальных затрат.
- Необходимо вести раздельную диагностику каждой аномалии для разных операций (групп операций) с учетом переходных процессов между операциями.
- Управляющие воздействия, либо аномалии, возникающие при проведении одних операций, могут повышать вероятность возникновения аномалии при проведении другой операции, причем разрыв во времени между воздействием и последствием может быть значительным. Например: недопустимо высокая скорость спуска инструмента может впоследствии оказаться причиной поглощения раствора.
- Нельзя диагностировать аномалию только по текущему состоянию параметров по следующим причинам:
  - возможно несинхронное изменение взаимосвязанных

network. As a rule, these two parameters are inversely related and there is always a tradeoff when selecting them.

There exist a host of different training algorithms which, however, are divided into two large classes: deterministic and stochastic algorithms. In the first class of algorithms the fine-tuning of weighting factors is a rigid sequence of actions, in the second it is effected by actions governed by some random process.

Pursuing further the problem of possible classification of ANN it is essential to note the existence of binary and analog networks. The first of these operate with binary signals and the output of each neuron can only take two values: logical zero (inhibited state) and logical unit (excited state). In the analog networks the output values of neurons are capable of taking on continuous values within a certain range

### **3. General approaches to problem identification**

For all the multitude of jobs performed on the rig and in the well, it is possible to single out a sufficiently restricted list of operations which reflect the physical essence of processes going on in the well. These operations are automatically recognized by GTS stations software from combined sensor readings, design parameters and prescribed settings.

The different field gathering facilities recognize a different listing of process situations with use of procedures that differ in details. A unified algorithm of operation recognition should be present within GTS stations of different types to ensure the functioning of the task for recognition of abnormal situations.

The properties of abnormal (emergency) situations with respect to their recognition are as follows:

- For different process operations it is possible to compile their own list of potential anomalous situations.
- One and the same anomalous situation during different process operations can manifest itself through different signs or fail to reveal itself at all, but it is already there and once another operation is performed the abnormality becomes identifiable. Hence there is a need for conducting an “active experiment” in order to specify the type of abnormality and to enhance the validity of its diagnosis. This approach is described in (3).
- Some abnormalities may change in the process of their development into others. A major challenge of the early



- параметров, например вследствие управляющего воздействия.
- изменение параметра или их группы может быть результатом переходного процесса от одной технологической операции к другой.
  - Необходимо использовать не только технологические параметры, регистрируемые наземным оборудованием станции ГТИ, но и другие данные, определяющие вероятность возникновения аномалии. К этим данным относится:
  - комплекс параметров, определяемых ручными измерениями и их соответствие проектным показателям, прежде всего параметры бурового раствора;
  - интегральные характеристики рейса и статистические показатели работы бурового оборудования: время бурения, стойкость опор долота; класс и износ бурильных труб и т.д.;
  - вероятность возникновения аномалии исходя из проектных данных, из данных ГИС или из опыта строительства аналогичных скважин;

#### **4. Предполагаемая последовательность решения поставленной задачи**

- Формирование базы прецедентной информации по имевшим место в прошлом аномалиям при различных условиях работ. В качестве прецедентов предполагается использование временных рядов данных по параметрам, автоматически регистрируемым на станциях ГТИ, дополнительными могут быть данные, получаемые ручными измерениями, вычисляемые интегральные характеристики работы долота, бурильного инструмента и т.д.

diagnosis of abnormality is its early detection when it can be eliminated without incurring any additional costs.

- It is mandatory to conduct a separate diagnosis of each abnormality for different operations (groups of operations) with account taken of transitions between operations.
- Control actions or abnormalities arising during the performance of some operations can increase the probability of abnormality occurrence during the conduct of another operation, the time lapse between the action and the consequences may be quite substantial. For instance: the intolerably high speed of running the tool into the well may subsequently prove to be the cause of lost circulation.
- The abnormality cannot be diagnosed by the current state of parameters alone for the following reasons:
- there is a possibility of asynchronous change of interconnected parameters, for example, due to control action.
- a change of the parameter or of their group may occur as a result of transition from one process operation to another..
- It is essential to use in addition to process parameters recorded by GTS station surface equipment other data as well which define the occurrence probability.

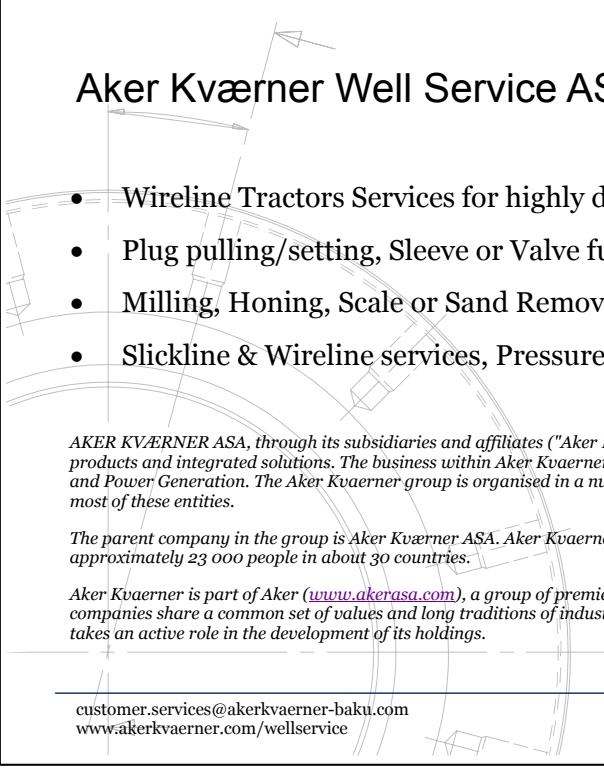
These data include:

- a set of parameters determined by manual measurement and their compliance with design indices, primarily the parameters of drilling fluid;
- the integral trip characteristics and statistical indices of drilling equipment performance: boring time, bit bearing durability; class and wear of drill pipes, etc.;
- the probability of occurrence of abnormality proceeding from design data, GTS data or the experience of construction of similar wells.



## Aker Kværner Well Service AS - Now in the Caspian!

- Wireline Tractors Services for highly deviated Well Interventions
- Plug pulling/setting, Sleeve or Valve functioning, Perforating, Production Logging
- Milling, Honing, Scale or Sand Removal, Casing Profile Logging, Memory or Real Time
- Slickline & Wireline services, Pressure Control Equipment



AKER KVÆRNER ASA, through its subsidiaries and affiliates ("Aker Kværner"), is a leading global provider of engineering and construction services, technology products and integrated solutions. The business within Aker Kværner comprises several industries, including Oil & Gas, Refining & Chemicals, Mining & Metals and Power Generation. The Aker Kværner group is organised in a number of separate legal entities. Aker Kværner is used as the common brand/trademark for most of these entities.

The parent company in the group is Aker Kværner ASA. Aker Kværner has aggregated annual revenues of approximately NOK 50 billion and employs approximately 23 000 people in about 30 countries.

Aker Kværner is part of Aker ([www.akerasa.com](http://www.akerasa.com)), a group of premier companies with a focus on energy, maritime and marine-resources industries. The Aker companies share a common set of values and long traditions of industrial innovation. As an industrial owner with a 40.1 per cent holding in Aker Kværner, Aker takes an active role in the development of its holdings.

customer.services@akerkvaerner-baku.com  
[www.akerkvaerner.com/wellservice](http://www.akerkvaerner.com/wellservice)

AKER KVÆRNER™  
 part of the Aker group

- Разработка методов сглаживания временных рядов, выявления трендов, определения различных уровней состояния параметров по величине и шумовых характеристик.
- Определение информативных признаков, основанных на интегральных характеристиках временных рядов, применительно к рассматриваемым ситуациям.
- Построение и первоначальная настройка классификаторов на основе выбранной системы признаков.
- Настройка классификаторов («обучение» нейронной сети) на основе обучающей выборки прецедентов.
- Экспериментальное исследование классификаторов по контрольной выборке прецедентов – проверка способности настроенной нейронной сети распознавать предлагаемую ей ситуацию.
- Анализ эффективности применения метода и расширение номенклатуры распознаваемых аномалий. При этом к числу аномалий могут быть отнесены не только предварительные и аварийные ситуации в процессе работ по строительству скважины, но и вскрытие пластов с аномально высокими (низкими) давлениями, вскрытие коллекторов и т.д.
- Разработка программного обеспечения.

## **5. Задача автоматического распознавания аномальных ситуаций с использованием искусственных нейронных сетей как составная часть корпоративных систем информационной поддержки бурения скважин**

В настоящее время в рамках разработки для ОАО «ЛУКОЙЛ» Информационной системы «Сопровождения строительства скважин» - ИС ССС выполнена постановка задачи и начата программная реализация подсистемы «Оперативное управление строительством скважин». Данная подсистема предполагает развитие используемой во многих российских компаниях поставляемой ОАО «ОЭГ «ПетроСервис Информационной системы «Удаленный мониторинг бурения».

Задача, описываемая в данной статье, назовем ее «Нейронный анализатор аномалий бурения», может стать дальнейшим развитием подсистемы «Оперативное управление строительства скважин». В этом случае «Нейронный анализатор аномалий бурения» будет использоваться не каждой буровой площадке, где возможны проблемы с высококвалифицированным обслуживающим персоналом, а в офисе нефтегазодобывающего предприятия. При доставке в реальном времени необходимой технологической и геологической информации в офис предприятия и управленческих решений на объекты мониторинга это даст следующие преимущества:

- Возможность обслуживания высококвалифицированными кадрами, как прикладных, так и IT направлений.
- Возможность аккумулирования в одном месте всей необходимой информации: оперативной, плановой, данных по аналогичным скважинам.

Решение задачи разработки, внедрения, настройки и последующей эксплуатации «Нейронного анализатора аномалий бурения» как составной части корпоративной информационной системы потребует объединения усилий крупных нефтегазовых компаний, сервисных компаний, а также привлечения прикладных математиков и кибернетиков, специализирующихся в данном направлении.

## **4. The assumed sequence of solving the task set**

- Building a precedental data base from past abnormalities that occurred during different operating conditions. As precedents use is proposed to be made of temporary data sequences using the parameters automatically recorded at GTS stations, additional data may come from manual measurements, calculated integral characteristics of bit, drilling tool performance, etc.
- Development of the methods of time series smoothing, identifying trends, determination of different levels of parameter state by value and noise characteristics.
- Determination of informative signs based on the integral characteristics of time series relevant to situations under review.
- Construction and the initial tuning of classifiers on the basis of selected system of signs.
- Tuning the classifiers (training of a neural network) based on the training sample of precedents
- Experimental investigation of classifiers using a control sample of precedents - checking the ability of the tuned neural network to recognize the suggested situation.
- Analysis of the effectiveness of applying the method and expansion of the range of identifiable abnormalities. Among the abnormalities may be not only pre-emergency and emergency situations that may occur during well construction but also the drilling of formations under abnormally high (low) pressures, reservoir penetration, etc.
- Software development.

## **5. The task of automated recognition of abnormal situations with the use of artificial neural networks as a component part of corporate systems of well drilling data support**

Presently as part of development for LUKOIL joint-stock company of the Information system “Monitoring well construction” the problem formulation has been finalized and work was started on implementing the subsystem “Real-time control of well construction”.

This system presupposes the development of UPEG-supplied information system “Remote monitoring of drilling” used by many Russian companies. The task, as described in this article, we shall designate it the “Neural analyzer of drilling anomalies” may become a follow-on to the subsystem “Real-time control of well construction.”

In this case the “Neural analyzer of drilling anomalies” will be used in the office of an oil and gas production enterprise rather than on each drill site where there may be a paucity of highly skilled service personnel. With delivery of requisite process and geological data to the office of the enterprise and managerial decisions to monitoring sites this will offer the following advantages:

- The possibility of providing highly-skilled personnel to deal with both applied and IT trends.
- The possibility of concentrating in one place all required information: real-time data, planning data, data on similar wells.
- Solving the problem of development, integration, tuning and subsequent operation of the “Neural analyzer of drilling anomalies” as component part of corporate information system will require the pooling of efforts of oil and gas majors, service companies as well as enlisting the services of applied mathematicians and cybernetists specializing in this field.