

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛАКСОМЕТРОМ ПМР

*Овсеенко Г.А., Кашаев Р.С., Филимонова Т.К.*

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

**Ключевые слова:** нейронная сеть, релаксометр, достоверность, контроль, ПМР.

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы применения нейронных сетей при контроле достоверности физических измерений протонным магнитным резонансным (ПМР) релаксометром. Авторы в своей работе представили алгоритм системы контроля функционирования приборно-программного комплекса многоканального измерения МПР-параметров на основе метода ПМР-релаксометрии, использующего искусственную нейронную сеть и программную реализацию.

## THE USE OF NEURAL NETWORKS IN MONITORING THE RELIABILITY OF MEASUREMENTS OF PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS WITH A PMR RELAXOMETER

*Ovseenko G.A., Kashaev R.S., Filimonova T.K.*

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

**Keywords:** neural network, relaxometer, reliability, control, PMR.

**Abstract.** The article discusses the use of neural networks to control the reliability of physical measurements using a proton magnetic resonance relaxometer (PMR). In their work, the authors presented an algorithm for controlling the functioning of an instrument-software complex for multichannel measurement of MPR parameters based on the method of PMR relaxometry using an artificial neural network and software implementation.

Достоверность при проведении физических измерений является одной из основных характеристик процесса измерения. Она показывает степень доверия к результату измерения, характеризуется вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины находится в указанных пределах [1].

Нами вводится понятие недостоверности измерений физико-химических характеристик скважинной жидкости (СКЖ), нефти и сточных и поверхностных вод по ПМР-параметрам: временам спин-спиновой релаксации, населенностям протонов и амплитудам сигналов спин-эхо как выход общей предельно допустимой дополнительной погрешности измерения  $\delta_{и}$  за допустимые границы:

$$\delta_{и} \leq \pm 1.1\sqrt{(\delta_{т}^2 + \delta_{р}^2 + \delta_{а}^2)} \quad (1)$$

где  $\delta_{т}$ ,  $\delta_{р}$ ,  $\delta_{а}$  – погрешности измерения ПМР-параметров –  $\delta_{т}$  – погрешность для времен релаксации, %;  $\delta_{р}$  – погрешность измерения населенностей протонов, %;  $\delta_{а}$  погрешность измерения сигналов спин-эхо, %. В качестве  $\delta_{и}$  может быть взят один или несколько физико-химических характеристик (ФХХ) СКЖ или нефти – расход, скорость потока, влажность, плотность,

газосодержание в СКЖ, вязкость, молекулярная масса, температура застывания и параметр дисперсного распределения капель воды в эмульсии.

Контроль функционирования релаксометра в составе приборно-программного комплекса [2] осуществляется по технологии клиент-сервер.

Особое внимание уделяется разработки алгоритма системы контроля функционирования приборно-программного комплекса многоканального измерения ПМР-параметров на основе метода ПМР-релаксометрии, использующего искусственную нейронную сеть (ИНС).

В информационную сеть посылается команда запомнить текущие экспериментальные вектора измерений ПМР-параметров  $N_{ij} = [T_{2Ai}, T_{2Bi}, T_{2Ci}, P_{2Ai}, P_{2Bi}, P_{2Ci}, A_{Ai}, A_{Bi}, A_{Ci}]$ , где  $T_{2Ai}, T_{2Bi}, T_{2Ci}, P_{2Ai}, P_{2Bi}, P_{2Ci}, A_{2Ai}, A_{2Bi}, A_{2Ci}$  – времена спин-спиновой релаксации, населенности протонов и амплитуды сигналов спин-эхо,  $i$  – индекс переменной,  $j = A, B, C$  – молекулярные фазы, к которым относятся экспериментальные  $T_{2A,B,Ci}, P_{2A,B,Ci}, A_{A,B,Ci}$ . Данные многопараметрического вектора измерений  $N_i$  обрабатываются по формулам разделения огибающей сигналов спин-эхо (СЭ) на компоненты:

$$A_i = \sum A_{0j} \exp(-t/T_{2j}), \text{ где } j = A, B, C \quad (2),$$

$$\ln(A_i/A_0) = -t/T_{2i} + \ln A_i. \quad (3),$$

Определение ПМР-параметров осуществляется построением от времени огибающей СЭ уравнение (2) в полулогарифмическом масштабе и графоаналитическим разделением огибающей на экспоненциальные компоненты, как это показано на рис.1.

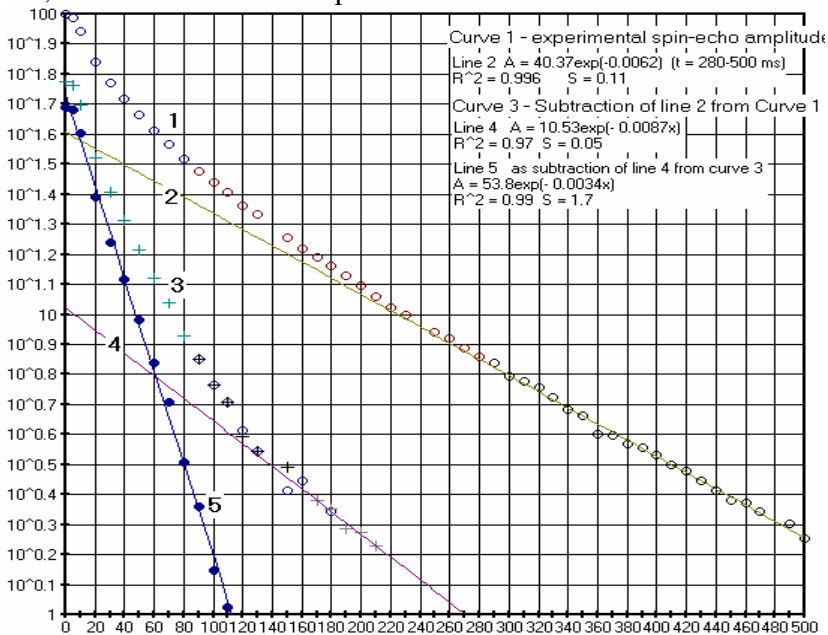


Рис. 1. Разложение огибающей сигналов спин-эхо в многофазной жидкости на три экспоненциальные компоненты

После логарифмирования значений амплитуд СЭ, через точки, соответствующие длинным временам, ложащиеся на линейную зависимость,

проводится прямая, описываемая уравнением (2) и определяются теоретические ПМР-параметры  $T_{2A,B,CIT}$ ,  $P_{2A,B,CIT}$ ,  $A_{A,B,CIT}$ .

Разности вычисленных по уравнение (2,3) ПМР-параметров с экспериментальными их значениями образуют текущий вектор:

$N_{it}=[|A_{2AЭ} - A_{2AT}|, |A_{2AЭ} - A_{2AT}|, |A_{2AЭ} - A_{2AT}| |T_{2AЭ} - T_{2AT}|, |T_{2BЭ} - T_{2BT}|, |T_{2CЭ} - T_{2CT}|, |P_{2AЭ} - P_{2AT}|, |P_{2AЭ} - P_{2AT}|, |P_{2AЭ} - P_{2AT}|, |, |]$ , с численными значениями ПМР-параметров для  $A_{jЭ} - A_{jT}$ ,  $T_{jЭ} - T_{jT}$ ,  $P_{jЭ} - P_{jT}$ .

На основе проведенного исследования были получены следующие результаты, девять компонент вектора  $N_{it}$  нормируются, формируя текущий вектор  $N_{itN}$  нормированных компонент. Вектор  $N_{itN}$  обрабатывается ИИС для определения соответствия режиму работы релаксометра ПМР, и заключение о режиме работы релаксометра формируется в виде одного из значений вектора контроля  $N_{out} = [«Норма», «Неправильно» и «Неопределенность»]$ .

Результаты контроля выводятся на монитор оператора, а также сохраняются в базе данных о функционировании комплекса многопараметрического контроля ППК для принятия дальнейших решений.

Контроль состояния режима работы системы учета характеристик скважинной жидкости, нефти и окружающей среды должен производиться путем сравнения измеряемых параметров ПМР-релаксации  $N_{ij}$  с теоретическими значениями  $N_{ijt}$  параметров, получаемых путем аппроксимаций огибающей кривых сигналов спин-эхо по протонным фазам. Относительная величина отклонения параметров представляется в виде:

$$\alpha_N = (N_{ij} - N_{ijt}) \cdot 100\% \quad (4)$$

Значение  $\alpha_N$  должно быть близко к нулю, что свидетельствует о правильном функционировании релаксометра ПМР в составе ППК и верности методик измерения характеристик СКЖ, нефти и воды окружающей среды. В случаях, когда величина  $\alpha_N$  меньше допустимой (например,  $|\alpha_N| \leq 3\sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение СКО) [3], следует говорить, о норме в работе ППК и программы обработки данных ПМР-релаксации.

Другим способом определения необходимых аналитических параметров является непосредственный опрос ППК с помощью распространённых интерфейсов связи: *RS-485*, *GSM*, *Internet*.

Клиентская часть автоматизированной информационно-измерительной системы контроля находится на месте расположения комплекса, она состоит из маршрутизатора каналов связи, который позволяет, с одной стороны, вести опрос разных ППК, расположенных на разных скважинах или установках подготовки нефти на цифровом месторождении (ЦМ) по протоколу *RS-485*, а с другой стороны, по сети *GSM* получать и отправлять опрос через сеть *Internet* на сервер системы контроля ЦМ. автоматизированной информационно-измерительной системы контроля Преимуществом перед ручным способом получения данных, является дистанционный, базирующийся на принципах работы сотовой связи и сети *Internet* [3].

Совершенствование механизмов удаленного опроса ППК для получения многопараметрического вектора измерений, является одной из главных задач информационно-измерительного оборудования на ЦМ.

### Список литературы

1. Пономарев С.В., Шишкина Г.В. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник для вузов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
2. Кашаев Р.С., Темников А.Н., Тран Ван Тунг, Нгуен Чи Киен, Козелков О.В. Релаксометр протонного магнитного резонанса // Приборы и техника эксперимента. – 2019. – №2. – С. 145-148.
3. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). – Томск: НТЛ, 2006. –128 с.

### References

1. Ponomarev S.V., Shishkin G.V. Metrology, standardization, certification: a textbook for universities. – Tambov: Publ. house of TSTU, 2010. – 96 p.
2. Kashaev R.S., Temnikov A.N., Tran Van Tung, Nguyen Chi Kien, Kozelkov O.V. Relaxometer of proton magnetic resonance // Instruments and experimental techniques. 2019, no. 2, 2019.
3. Aksenov S.V., Novoseltsev V.B. Organization and use of neural networks (methods and technologies). – Tomsk: NTL, 2006. –128 p.

<b>Овseenko Галина Анатольевна</b> – аспирант	<b>Ovseenko Galina Anatolyevna</b> – graduate student
<b>Кашаев Рустем Султанхамитович</b> – доктор технических наук, профессор	<b>Kashaev Rustem Sultanhamitovich</b> – doctor of technical sciences, professor
<b>Филимонова Тамара Константиновна</b> – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник galinka.ovseenko@mail.ru	<b>Filimonova Tamara Konstantinovna</b> – candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher

*Received 13.09.2022*