

УДК 550.83

DOI: 10.31660/0445-0108-2024-3-44-57

К проекту технологии нейросетевого анализа для решения задач нефтегазовой геофизики

С. К. Туренко

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
turenkosk@tyuiu.ru*

Аннотация. Нейросетевой анализ (НСА) является перспективным направлением повышения эффективности нефтегазовой геофизики и нефтегазовой отрасли. Анализ полученного опыта использования имеющихся методов и пакетов программ НСА при решении задач нефтегазовой геофизики свидетельствует об отсутствии существенного (прорывного) эффекта. Для достижения значимого эффекта предлагается переходить от методов к технологиям НСА. В работе предложена принципиальная архитектура технологии нейросетевого анализа для решения задач нефтегазовой геофизики, включающая в себя конструктор нейросетей; подсистему обучения геофизика в области НСА; цифровой полигон; базу знаний (о задачах, методах НСА, методиках и опыте решения прикладных задач). Обсуждаются элементы предлагаемой технологии и их взаимосвязь.

Кратко охарактеризован пилотный вариант предлагаемой технологии, включающий ее основные элементы, ориентированный, прежде всего, на обучение специалистов. Результаты апробации пилотного варианта показали эффективность предлагаемой технологии.

Определены первоочередные научные и технологические задачи развития предлагаемой технологии.

Ключевые слова: нефтегазовая геофизика, цифровизация, нейросетевой анализ, цифровой полигон, конструктор нейросетей, технологическая платформа

Для цитирования: Туренко, С. К. К проекту технологии нейросетевого анализа для решения задач нефтегазовой геофизики / С. К. Туренко. – DOI 10.31660/0445-0108-2024-3-44-57 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2024. – № 3. – С. 44–57.

Developing neural network analysis technology for the resolution of issues in oil and gas geophysics

Sergey K. Turenko

*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
turenkosk@tyuiu.ru*

Abstract. Neural network analysis represents a promising avenue for enhancing the efficacy of petroleum geophysics and the oil and gas industry. The analysis of the obtained experience of using the

available neural network analysis methods and software packages in solving problems of oil and gas geophysics shows the absence of a significant (breakthrough) effect. In order to achieve a significant effect, it is proposed to move from methods to neural network analysis technologies. The article presents a fundamental framework for neural network analysis technology in the context of oil and gas geophysics. This includes a neural network designer, a subsystem for training geophysicists in the field of neural network analysis, a digital polygon, and a knowledge base comprising tasks, neural network analysis methods, techniques, and experience in solving applied problems. The elements of the proposed technology and their interrelation are discussed in detail.

The pilot version of the proposed technology, which includes its principal elements, is initially described in terms of its orientation towards the training of specialists. The results of the pilot version's approval have demonstrated the efficacy of the proposed technology.

The scientific and technological priorities of the proposed technology development have been delineated.

Keywords: oil and gas geophysics, digitalization, neural network analysis, digital polygon, neural network designer, technology platform

For citation: Turenko, S. K. (2024). Developing neural network analysis technology for the resolution of issues in oil and gas geophysics. *Oil and Gas Studies*, (3), pp. 44-57. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-3-44-57

Введение

Современный уровень развития информационных технологий и вычислительной техники позволяет перейти к цифровизации ряда информационно емких отраслей (направлений) человеческой деятельности. При этом цифровизация предполагает существенное повышение эффективности деятельности за счет использования современных информационных технологий¹.

Перспективными направлениями цифровизации экономики РФ является цифровизация нефтегазовой отрасли и нефтегазовой геофизики, основного источника информации о недрах [1].

К числу перспективных методов цифровизации решения задач нефтегазовой геофизики относятся методы нейросетевого анализа (НСА).

Анализ более чем шестидесятилетнего опыта использования НСА при решении задач нефтегазовой геологии и геофизики показал [2], что от использования программ, реализующих методы НСА, необходимо переходить к разработке и использованию технологий (программных систем), реализующих (поддерживающих) все этапы постановки и решения задач нефтегазовой геофизики с использованием НСА и основные виды обеспечения технологии НСА (математического, программного, методического, информационного, кадрового). В работе обсуждается принципиальная

¹ Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: № 1632-р: утверждена распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017. – 88 с.

архитектура технологии постановки и решения задач нефтегазовой геофизики с использованием НСА.

В качестве основных элементов технологии постановки и решения задач нефтегазовой геофизики с использованием НСА выделены конструктор нейросетей (математическое обеспечение); подсистема обучения геофизика (кадровое обеспечение); цифровой полигон (информационное обеспечение); база знаний (методическое обеспечение).

В работе также кратко охарактеризованы результаты создания и опробования пилотного варианта предлагаемой технологии, показавшие ее перспективность.

Объект и методы исследования

Объект исследования в данной работе — технология нейросетевого анализа для решения задач нефтегазовой геофизики.

Исследования базируются на методологии и методах: 1) системного анализа (результаты предварительных исследований по системному анализу процесса решения задач нефтегазовой геофизики с использованием современных информационных технологий и НСА с целью существенного повышения эффективности их решения изложены в работах [1, 2]); 2) системного проектирования сложных систем [3].

В числе основных методов системного проектирования используются методы многоуровневой декомпозиции (структурирования) и итерации (последовательных приближений).

На первом уровне структурирования объекта исследования нейросетевое моделирование рассматривается как элемент (подсистема) системы поддержки решения задач нефтегазовой геофизики.

На втором уровне выделяются основные элементы (модули) подсистемы нейросетевого моделирования и их взаимосвязь.

В числе основных элементов (модулей) подсистемы НСА выделены модуль обучения, конструктор алгоритмов НСА, цифровой полигон, база знаний.

На третьем уровне осуществляется детализация (структурирование) элементов второго уровня.

Наряду с описанием принципиальной архитектуры системы, реализующей (поддерживающей) технологию решения задач нефтегазовой геофизики с использованием НСА, определяются первоочередные научные и технологические задачи дальнейшего ее развития.

Результаты

Принципиальную архитектуру системы поддержки решения задач нефтегазовой геофизики методами нейросетевого анализа можно представить в виде следующей схемы (рис. 1).

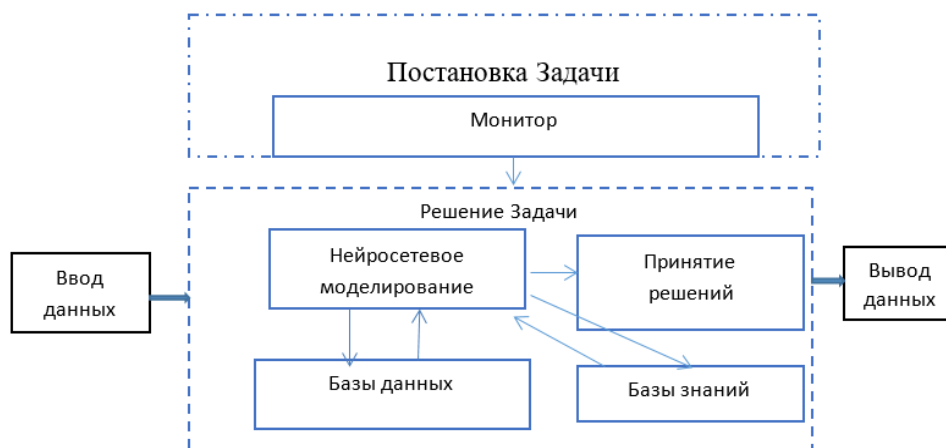


Рис. 1. Принципиальная архитектура «системы» поддержки решения задач нефтегазовой геофизики методами нейросетевого анализа

Основные элементы «системы» и их функции

Модуль ввода данных обеспечивает перевод из внешнего формата во внутренний; оценку качества данных.

Модуль вывода данных обеспечивает представление промежуточных и итоговых данных в электронном, табличном, графическом виде.

Модуль «монитор» обеспечивает формальную постановку задачи:

- определение типа задачи (распознавание образов, ...);
- задание основных элементов модели задачи:
 - множество объектов (распознавания, ...);
 - признаковое пространство;
 - материал эталонный (обучения, экзамена), прогнозный;
 - множество способов решения задачи (распознавания, ...);
 - критерий эффективности решения задачи.

Подсистема нейросетевого моделирования обеспечивает обучение специалиста («геофизика», ...) методам НСА (при необходимости); формирование, выбор и настройку метода НСА, графа решения (конструирование нейронных сетей (НС)) на «цифровом полигоне»; реализацию выбранного графа решения на «прогнозном» материале (НСА-прогноз).

Модуль принятия решений позволяет выработать (рекомендовать) решение на основе расчетов (подсистемы нейросетевого моделирования) и знаний (об объеме и качестве данных, опыте решения аналогичных задач, результатах исследований на моделях, ...).

База данных (экспериментальная информация — измеренная на реальных объектах, результаты математического моделирования — решение прямых и обратных задач геофизики, априорная информация, ...).

База знаний (априорная информация об объектах и методах НСА, результаты методических исследований, результаты решения аналогичных практических задач, ...) [4].

Ключевым элементом постановки и решения задач нефтегазовой геофизики методами НСА является подсистема «Нейросетевое моделирование» (рис. 2).

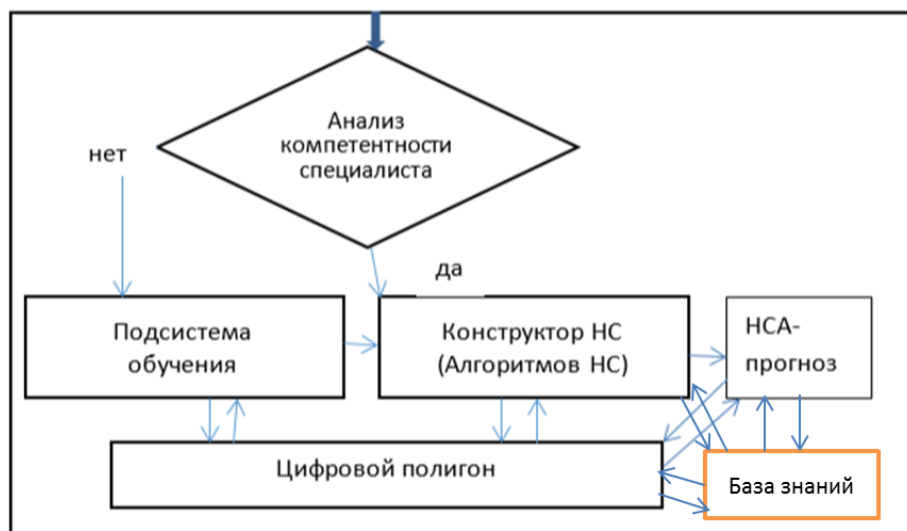


Рис. 2. Принципиальная архитектура подсистемы «Нейросетевое моделирование»

Архитектура подсистемы «Нейросетевое моделирование» ориентирована на обеспечение следующих функций:

- анализ компетентности специалиста-геофизика в области НСА;
- обучение при необходимости (анализ компетентности — «нет») методам и технологиям НСА, в частности, с использованием «цифрового полигона»;
- подбор и настройка (конструирование) алгоритмов НСА («конструктор НС») на «цифровом полигоне»;
- информационное обеспечение нейросетевого моделирования («цифровой полигон»);
- реализация выбранного алгоритма для решаемой (прогнозной) задачи — «НСА-прогноз»;
- методическое обеспечение НСА («база знаний»).

Блок анализа компетентности должен обеспечивать в интерактивном режиме ответ на вопрос: «Достаточна ли компетентность специалиста (да/нет) по методам и технологиям НСА (прежде всего, по реализуемым в модуле «конструктор НС») и их использованию при решении геофизических задач?».

Модуль обучения обеспечивает на основе дополнительного анализа компетенций «выработку» графа обучения, реализует обучение с использованием «конструктора НС» и «цифрового полигона», оценивает результаты обучения.

Модуль «конструктор НС (алгоритмов)» [5] обеспечивает выбор (формирование) и настройку методов НСА на цифровом полигоне, решение практической задачи с использованием выбранного и «настроенного» метода НСА (НСА-прогноз).

Модуль «цифровой полигон» [6] содержит эталонный материал для решения типовых задач нефтегазовой геофизики методами НСА. Эталонный материал служит для оценки, выбора и настройки методов НСА и обучения специалистов.

Принципиальная архитектура модуля обучения отражена на рисунке 3.

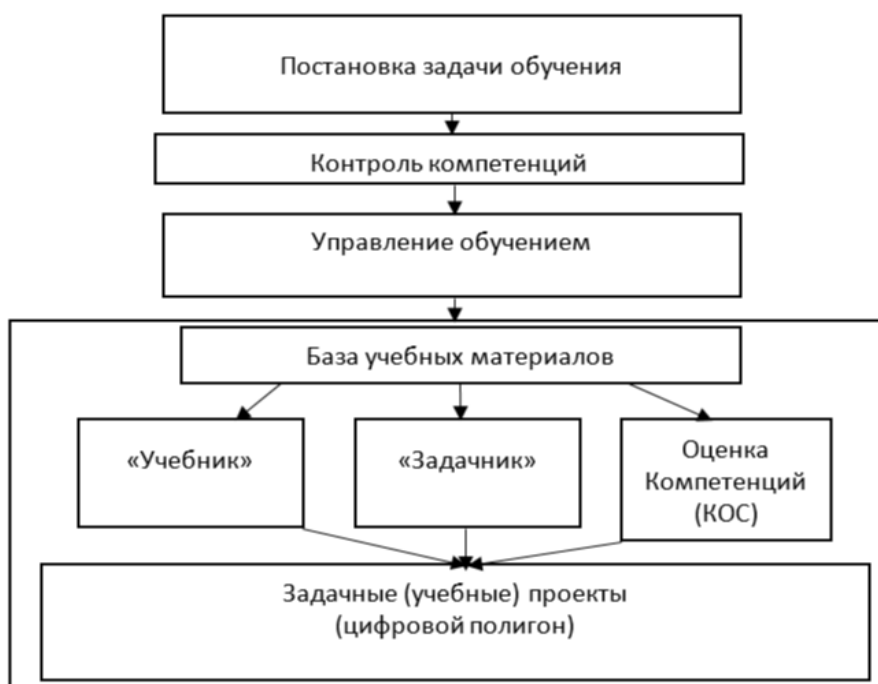


Рис. 3. Принципиальная архитектура модуля обучения

Назначение модуля обучения — контроль и повышение компетенций «геофизика» в области использования технологии НСА при решении задач нефтегазовой геофизики.

Основные элементы и функции модуля обучения

Блок постановки задачи обучения определяет:

- специальность обучаемого (геофизик, математик, ...);
- тип геофизической задачи (выделение литотипов, нефтенасыщенных интервалов; восстановление геофизических кривых; ...);

- класс решаемых формальных задач (распознавание, кластерный анализ, ...);

- класс формальных методов (методы НСА, ...);
- имеющиеся в наличии методы НСА;
- критерии оценивания результатов обучения.

Блок контроля компетенций (входных)

Контролируемые компетенции:

- постановка задачи;
- выбор графа решения задачи;
- реализация графа решения задачи;
- использование конкретного метода НСА;
- интерпретация результатов расчетов;
- оценка качества результатов решения задачи.

Блок управления обучением

Основные функции:

- планирование (план-график);
- реализация (на основе базы учебных материалов);
- контроль процесса повышения компетенции (текущий, итоговый);
- адаптация (плана);
- мониторинг (ведение протокола).

Блок учебных материалов включает следующее:

- учебник (теоретический материал);
- задачник (вопросы для проверки, самопроверки, практические задания);
- комплект оценочных средств — КОС (тесты, практические задачи, ...);
- задачные проекты, решение практических задач (отработка необходимых компетенций) на цифровом полигоне.

Для разработки модуля обучения необходимо решить следующие задачи:

- структурирование компетенций пользователя технологий НСА;
- разработка адаптивного графа повышения компетенций (обучения);
- разработка базовых элементов подсистемы обучения;
- разработка подсистемы управления обучением;
- разработка (выбор) технологической основы создания подсистемы обучения.

При реализации подсистемы обучения целесообразно опираться на открытые международные стандарты дистанционного обучения, например, Scorm² и модульную объектно-ориентированную динамическую обучающую среду Moodle³.

² SCORM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SCORM>.

³ Руководство по Moodle для преподавателей [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kshmk.ru/documents/biblioteks/Moodle2023.pdf>.

Принципиальная архитектура модуля «Конструктор НС»

Существуют различные представления о «конструировании нейросетей» [5]. Наши представления о принципиальной архитектуре «Конструктора НС» отражены на рисунке 4.

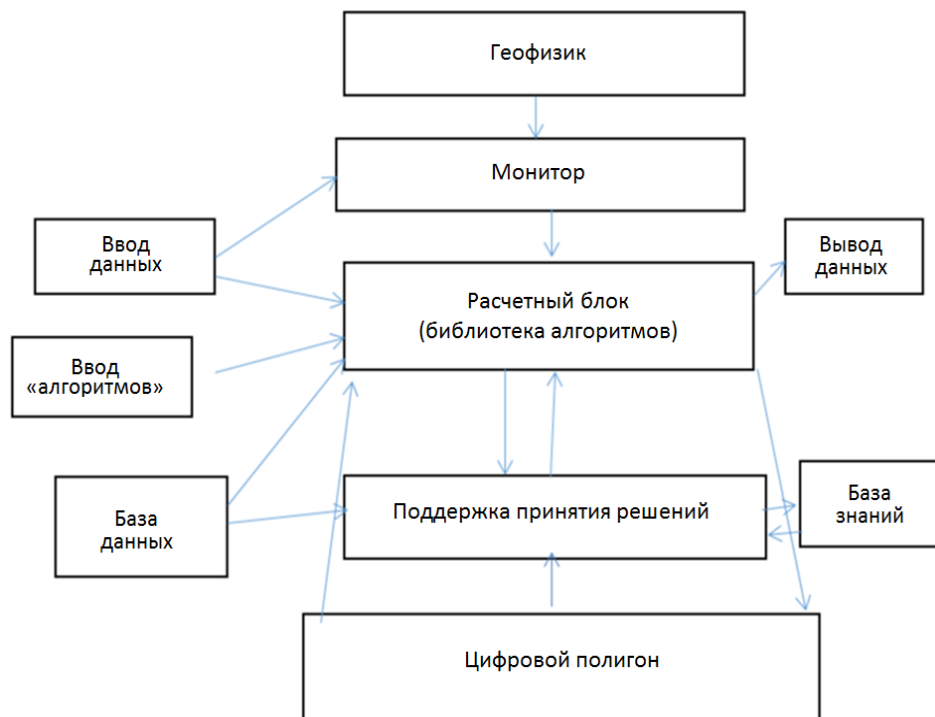


Рис. 4. Принципиальная архитектура модуля «Конструктор НС»

Назначение модуля «Конструктор НС» — формирование (конструирование), выбор и настройка алгоритмов (программ) НСА.

Перечень и функции основных элементов модуля «Конструктор НС» следующие:

- монитор: оценка (определение критерия) эффективности алгоритмов, формирование, выбор алгоритма (рационального, эффективного, ...);
- расчетный блок (решение практической задачи);
- база знаний (информация об объектах исследований, методах исследований, опыте решения аналогичных задач, протоколы исследований, ...);
- база данных (задачная база данных: исходных, промежуточных, результирующих);
- поддержка принятия решений (рекомендации по использованию расчетов, совершенствованию графа решений на основе расчетов, базы знаний, исследований на полигоне).

Задачи, которые необходимо решить для создания конструктора:

- определение базовых формальных задач (распознавание образов, кластерный анализ, ...), решение которых должен обеспечивать конструктор;
- создание механизма формирования библиотеки алгоритмов-программ (БА):
 - формирование базовой БА,
 - формирование механизма развития БА: программирование (C++, Python, ...); подключение библиотеки (C++, Python, ...);
- разработка критериев и технологии выбора рациональных алгоритмов НСА (соответствующих задачам, данным; на основе предшествующего опыта, апробации на полигоне, теоретического анализа).

Модуль «Цифровой полигон»

Цифровой полигон (ЦП) — совокупность (система) цифровых физико-геологических и математических моделей объектов и условий исследований для решения типовых геологических (геофизических) задач.

Назначение модуля ЦП — формирование цифровых эталонных объектов для калибровки, настройки, оценки методов (программ) обработки и интерпретации геолого-геофизических данных, в частности методов НСА, обучения специалистов. В настоящее время в АО «Росгеология» создаются цифровые геофизические полигоны для тестирования создаваемых в рамках импортозамещения программ обработки и интерпретации геофизических данных [6].

Упрощенную архитектуру модуля ЦП можно представить следующим образом (рис. 5).

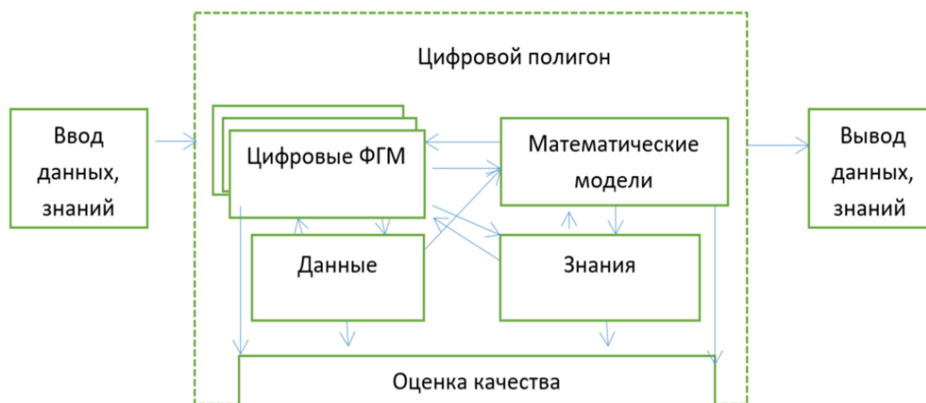


Рис. 5. Принципиальная архитектура модуля «Цифровой полигон»

Основой «цифрового полигона» являются эталонные цифровые физико-геологические модели — ФГМ (геометрия, литология, физические

свойства, распределение геофизических полей) изучаемых объектов, ориентированные на решение конкретных (классов) задач.

Эталонный материал (выборка) — множество эталонных объектов, необходимое и достаточное для решения поставленной задачи. Это могут быть задачи оценки и (или) выбора алгоритмов интерпретации, обучения специалистов, решения практических задач (объекты-аналоги), решения исследовательских задач.

Эталонные объекты (модели) — объекты, на которых заданы как целевые параметры (например, литотипы), так и косвенные (например, геофизические поля) высокого качества, используя которые, можно решать поставленные (указанные выше) задачи.

В основе цифровых ФГМ лежат данные и знания, хранящиеся в соответствующих базах.

Многообразие геофизических данных можно разделить на натурные — измеренные на реальных объектах; модельные — результаты физического и математического моделирования; относящиеся к объекту исследований и помехам (условиям исследований); измеренные (первичные), обработанные (вторичные).

Знания, хранящиеся в базе, можно разделить на базовые (о ФГМ, о методах планирования геофизических измерений, оценки качества, обработки и интерпретации, в том числе методах НСА); текущие (протоколы, результаты исследований, оценка методов НСА на конкретных объектах, ...).

Поскольку речь идет об исследовании на «эталонных объектах», то актуальным для «Цифрового полигона» является наличие модуля оценки качества исходных данных и знаний; результатов обработки и интерпретации; цифровых ФГМ; методов обработки и интерпретации, в частности методов НСА.

Блоки ввода, вывода данных и знаний должны обеспечивать специалистам удобный контроль и анализ входных, текущих и результирующих данных модуля «Цифровой полигон».

Первоочередными задачами создания модуля ЦП являются следующие:

- определение первоочередных, с позиции создания ЦП, типовых геологических (геофизических) задач;
- определение первоочередных объектов для создания ЦФГМ;
- определение первоочередных формальных задач и методов НСА;
- структурирование данных, знаний;
- установление соответствия: решаемые задачи (геофизические, геологические), методы интерпретации (НСА) — допустимые данные;
- определение базовых методов и графа предварительной обработки используемых геолого-геофизических данных;
- определение базовых способов оценки качества данных, знаний, методов, ЦФГМ.

Конкретная архитектура и наполнение подсистемы «Нейросетевое моделирование» определяются под конкретный класс задач нефтегазовой геофизики и целевое назначение (направленность) системы: решение практических задач, решение методических задач, обучение специалистов.

Для реализации предлагаемого технологического подхода к использованию методов НСА при решении задач нефтегазовой геофизики предлагается следующая последовательность действий.

1. Разработка технологической платформы (программной системы) реализации основных элементов предложенной в данной статье принципиальной архитектуры «технологии НСА».
2. Разработка технологии НСА (на базе технологической платформы) для решения класса задач нефтегазовой геофизики.
3. Реализация технологии решения конкретных задач нефтегазовой геофизики с использованием НСА.
4. Адаптация (развитие) технологий и технологической платформы НСА на основе обобщения получаемого опыта и знаний.

Апробация предлагаемого подхода

Предлагаемая архитектура подсистемы нейросетевого моделирования, ориентированной на поддержку (реализацию) технологии НСА для решения задач нефтегазовой геофизики, реализована в пилотном варианте «Виртуального тренажера-нейросимулятора для решения задач нефтегазовой геофизики “Geophysics Neural Simulator”» [7].

Виртуальный тренажер (ВТ) ориентирован прежде всего на образовательные функции, позволяет пользователям ознакомиться с основами нейросетевых методов и применить полученные умения и навыки к решению практических задач геофизики. Пилотный проект ВТ ориентирован на решение двух задач интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС):

- выделение объектов (литотипов, пластов, ...), формальная задача — кластерный анализ, алгоритмы - K-средних, карты Кохонена;
- восстановление кривых ГИС в пропущенных интервалах, формальная задача — аппроксимация функций, алгоритм — многослойный персептрон.

Ключевыми модулями виртуального тренажера являются следующие: «Мастер проектов» (Конструктор НС), «Цифровой полигон», «Блок обучения».

Модуль «Мастер проектов» позволяет в пределах одного окна организовать входные и выходные потоки данных, подобрать алгоритм для решения нужной задачи, установить его параметры в соответствии с указаниями и пояснениями Мастера, провести обучение и тестирование нейросетевой модели.

Модуль «Блок обучения» — это виртуальная образовательная среда, основанная на архитектуре учебной платформы Тюменского индустриального университета Educon⁴, удовлетворяющей международным стандартам дистанционного обучения Scorm⁵ и созданной на основе системы Moodle (модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда⁶).

Архитектура блока обучения:

- блок ввода данных;
- база учебных проектов;
- учебный материал;
- блок контроля знаний;
- блок мониторинга;
- блок управления обучением.

Модуль «Цифровой полигон» — подсистема обеспечивающая размещение и использование эталонного (скважинного — керн, ГИС) материала для обучения нейросетевых моделей и геофизиков.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC — совместимый персональный компьютер.

Языки программирования: PHP, HTML, CSS, Javascript, C#.

Вид и версия операционной системы для программного обеспечения нейросимулятора: Windows XP/ Windows Vista/ Windows 7/ Windows 8/ Windows 8.1/ Windows 10.

Виртуальный тренажер прошел апробацию при обучении студентов-геофизиков Тюменского индустриального университета и реализации исследовательского проекта по построению цифровой модели текстурно-неоднородных пород-коллекторов [8], что позволило подтвердить эффективность предлагаемого подхода и определить пути дальнейшего его развития и реализации.

Выводы

В работе предложена принципиальная архитектура технологии решения задач нефтегазовой геофизики с использованием нейросетевого моделирования. Определены научные и технологические задачи реализации предлагаемого «технологического» подхода.

Представлены результаты создания и апробации пилотного проекта предложенной технологии — «виртуальный тренажер-нейросимулятор для решения задач нефтегазовой геофизики». Апробация пилотного проекта

⁴ Руководство по системе Educon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studylib.ru/doc/3731854/rukovodstvo-po-sisteme-educon>.

⁵ SCORM [Электронный ресурс]...

⁶ Руководство по Moodle для преподавателей [Электронный ресурс]...

указанной технологии показала эффективность предлагаемого подхода и позволила определить первоочередные задачи его развития: задачи создания теоретических основ и технологической платформы реализации базовых элементов предлагаемой технологии (цифровой полигон, конструктор алгоритмов, подсистема обучения, база знаний) и системы в целом.

Список источников

1. Туренко, С. К. О цифровизации нефтегазовой геофизики / С. К. Туренко. – DOI 10.33285/0132-2222-2021-6(575)-23-28. – Текст : непосредственный // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2021. – № 6 (575). – С. 23–28.
2. Туренко, С. К. Об использовании методов нейросетевого анализа в нефтегазовой геофизике / С. К. Туренко – Текст : непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2024. – № 1. – С. 66–71.
3. Ипатова, Э. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем / Э. Ипатова, Ю. Ипатов. – Москва : ФЛИНТА, 2021. – 257 с. – Текст : непосредственный.
4. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – Санкт-Петербург : Питер, 2001. – 384 с. – Текст : непосредственный.
5. Кириченко, А. А. Конструирование искусственных нейронных ансамблей (ИНА) / А. А. Кириченко. – 2020. – URL: https://ridero.ru/books/konstruirovanie_iskusstvennykh_neironnykh_ansamblei_ina/freeText/#freeTextContainer. – Текст : электронный.
6. Корчагин, О. А. Цифровые геофизические полигоны как важный фактор развития отечественных программных комплексов для геологоразведочных работ на углеводороды / О. А. Корчагин. – Текст : непосредственный // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2023. – № 6 (185). – С. 54–59.
7. Виртуальный тренажер-нейросимулятор для решения задач нефтегазовой геофизики «Geophysics Neural Simulator». Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ : № 2021681055 : заявл. 10.11.21 : опубл. 17.11.21 / Туренко С. К., Аристов А. И. – Текст : непосредственный.
8. Цифровая модель текстурно-неоднородных пород-коллекторов. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ : № 2022617868 : заявл. 15.04.22 : опубл. 26.04.22 / Брюханова Е. В., Мамяшев В. Г., Туренко С. К., Аристов А. И. – Текст : непосредственный.

References

1. Turenko, S. K. (2021). Digitalization of oil and gas geophysics. Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry, (6(575)), pp. 23-28. (In Russian).
2. Turenko, S. K. (2024). On the use of neural network analysis methods in petroleum geophysics. Geology and Mineral Recourses of Siberia, (1(57)), pp. 66-71. (In Russian).

3. Ipatova, E., & Ipatov, Yu. (2021). Metodologii i tekhnologii sistemnogo proektirovaniya informatsionnykh system. Moscow, FLINTA Publ., 257 p. (In Russian).
4. Gavrilova, T. A., & Khoroshevskiy, V. F. (2001). Bazy znaniy intellektual'nykh system. Saint Petersburg, Piter Publ., 384 p. (In Russian).
5. Kirichenko, A. A. (2020). Konstruirovaniye iskusstvennykh neyronnykh ansambley (INA). (In Russian). Available at: https://ridero.ru/books/konstruirovaniye_iskusstvennykh_neyronnykh_ansamblei_ina/freeText/#freeTextContainer
6. Korchagin, O. A. (2023). Digital geophysical test sites as an important factor in the development of domestic software systems for geological hydrocarbon exploration. Mineral Resources of Russia. Economics and Management, (6(185)), pp. 54-49. (In Russian).
7. Turenko, S. K., & Aristov, A. I. Virtual'nyy trenazher-neyrosimulyator dlya resheniya zadach neftegazovoy geofiziki "Geophysics Neural Simulator". Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM. No. 2021681055; applied: 10.11.21; published: 17.11.21. (In Russian).
8. Bryukhanova, E. V., Mamyashev, V. G., Turenko, S. K., & Aristov, A. I. Tsifrovaya model' teksturno-neodnorodnykh porod-kollektorov. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM. No. 2022617868; applied: 15.04.22; published: 26.04.22. (In Russian).

Сведения об авторе / Information about the author

Туренко Сергей Константинович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой прикладной гео-
физики, Тюменский индустриальный
университет, г. Тюмень, [turenkosc@
tyuiu.ru](mailto:turenkosk@tyuiu.ru), ORCID: [https:// orcid.org/0000-
0002-3133-2193](https://orcid.org/0000-0002-3133-2193)

Sergey K. Turenko, Doctor of En-
gineering, Professor, Head of the De-
partment of Applied Geophysics, Indus-
trial University of Tyumen, [turen-
kosk@tyuiu.ru](mailto:turenkosk@tyuiu.ru), ORCID: [https://orcid.org/
0000-0002-3133-2193](https://orcid.org/0000-0002-3133-2193)

Статья поступила в редакцию 06.05.2024; одобрена после рецензирования 27.05.2024; принята к публикации 31.05.2024.

The article was submitted 06.05.2024; approved after reviewing 27.05.2024; accepted for publication 31.05.2024.