

Технологическая революция

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ И ДРУГИХ СЫРЬЕВЫХ ОТРАСЛЯХ

Петр КАЗНАЧЕЕВ, Регина САМОЙЛОВА, Никола КУРЧИСКИ

Петр Феликсович Казначеев —
кандидат философских наук, доцент,
старший научный сотрудник, директор.
E-mail: kaznacheev-pf@ranepa.ru

Никола Войович Курчиски —
аспирант,
научный сотрудник.
E-mail: kyurchiski-nv@ranepa.ru

Регина Владимировна Самойлова —
заместитель директора по науке.
E-mail: bazaleva-rv@ranepa.ru

Центр сырьевой экономики РАНХиГС
(119571, Москва, просп. Вернадского, д. 82).

Аннотация

Произошедшее за последние годы значительное снижение цен на сырье, в первую очередь на нефть, — это не разовое явление, а новое равновесное состояние рынка, которое сформировалось в результате инноваций. В такой ситуации преимущество получают те производители, которые могут быстро приспособиться к низким ценам, снизив издержки и повысив эффективность. До последнего времени основной движущей силой инновационного развития энергетического сектора была «сланцевая революция». Ситуация быстро меняется, поэтому сейчас в нефтегазовой индустрии идет активный поиск новых технологических решений, которые позволили бы ей пережить период низких цен. Одно из самых обсуждаемых и быстрорастущих направлений — технологии «искусственного интеллекта». В статье приведен краткий обзор наиболее распространенного метода искусственного интеллекта — искусственных нейронных сетей, а также рассмотрены основные сферы их применения в нефтегазовом секторе. В своей работе авторы выделяют три основных направления использования таких технологий: интерпретация геологических данных, эксплуатация месторождений (умных месторождений — smart fields) и прогнозирование цен. Привлечение методов на основе искусственного интеллекта повышает эффективность проводимых работ как в геологоразведке, так и в добыче — дает возможность достигать лучшего результата с меньшими затратами. В новых рыночных условиях, сформировавшихся в энергетическом и горнодобывающем секторах, крайне важно использовать все доступные механизмы, чтобы повысить эффективность. После снижения цен на сырьевые товары добывающим компаниям нужны более точные методы прогнозирования, которые позволили бы проанализировать изменения на рынке и улучшить стратегическое планирование.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронные сети, сырьевая отрасль, нефтегазовый сектор.

JEL: C45, L71, O3, Q3, Q4.

Введение

Снижение цен на нефть и другие сырьевые товары, происходившее в последние два года, бросает серьезный вызов добывающим компаниям. Низкие цены побуждают их искать новые инновационные решения — пути повышения эффективности как текущей операционной деятельности, так и стратегического планирования. Одним из таких направлений является искусственный интеллект.

Искусственный интеллект — это способность компьютерных систем имитировать человеческий интеллект в выполнении различных задач: (1) обучение (восприятие информации, ее обработка и определение правил ее использования), (2) умозаключение (применение этих правил для совершения определенных выводов и принятия решений), (3) самокоррекция (самостоятельное исправление ошибок с учетом накапливаемого опыта) и др. Искусственный интеллект соперничает с человеческим по точности, мощности и скорости. Он способен воспринимать огромные массивы данных, быстро структурировать их, производить анализ и давать на выходе требующийся результат (в зависимости от загружаемых данных и поставленной задачи — распознавание образов, управление, прогнозирование и т. д.).

Наиболее популярные области применения искусственного интеллекта — распознавание образов (текстов, изображений, речи, лиц и др.), «компьютерное зрение» (технология, позволяющая компьютерам определять, отслеживать и классифицировать объекты), машинный перевод, игровые программы, обработка и анализ данных и многое другое. Значительную роль искусственный интеллект играет и в работе нефтегазовой отрасли — от интерпретации геологических данных до собственно добычи углеводородов. Его привлечение приводит к снижению затрат и к повышению эффективности производства. Наиболее распространенным методом, основанным на искусственном интеллекте, — как в этой отрасли, так и в целом — являются искусственные нейронные сети (ИНС).

1. Нейронные сети

Искусственная нейронная сеть (ИНС) — математическая модель биологической нейронной сети, имитирующая работу нервной системы и головного мозга человека. ИНС состоит из соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров — искусственных нейронов. По своей сути ИНС является механизмом обработки информации — способной к обучению вычислительной системой со множеством независимо происходящих процессов. В ходе обучения, которое может осуществляться с «учителем» или даже без него, нейронная сеть воспринимает входные данные, подстраивается

под них, меняя свою структуру и внутренние параметры, а затем выдает на выходе преобразованные данные.

На основе обучающей выборки (ретроспективных данных) ИНС настраивает веса связей — соединений между процессорами-нейронами — так, чтобы сеть давала ответы, максимально близкие к правильным, уже известным. Такую систему можно «дообучить», добавив в нее новую внешнюю информацию и получив настройку весовых коэффициентов. Преимущество нейронных сетей заключается в том, что они могут обобщать информацию, работать с разноформатными, ошибочными и даже отсутствующими данными.

Первая простейшая искусственная нейронная сеть — «перцептрон» — была предложена американским психологом и нейрофизиологом Фрэнком Розенблаттом в 1957 году [Rosenblatt, 1957]. Она представляла собой сеть искусственных нейронов с одним скрытым слоем¹ и являлась кибернетической моделью работы мозга, способной к обучению с учителем. Позднее он рассматривал также модели многослойных перцептронов (с несколькими слоями скрытых нейронов) с перекрестными и обратными связями [Розенблатт, 1965]. Прорыв в развитии ИНС был связан с разработкой алгоритма обратного распространения ошибки — метода обучения многослойного перцептрона. Впервые алгоритм был описан в 1974 году А. И. Галушкиным и одновременно Полом Дж. Вербосом [Галушкин, 1974; Werbos, 1974].

Традиционные нейронные сети 1980–1990-х годов имели ряд ограничений в использовании, что сдерживало их широкое распространение, например крайне длительное время обучения — по мере увеличения количества входов и внутренних слоев сети время, требуемое для обучения, растет экспоненциально. Дополнительной характерной проблемой ИНС является неоптимальность итогового результата и невозможность понять, как этот результат был получен (эффект «черного ящика»).

Эффективный метод обучения многослойных нейронных сетей появился позже и получил название «глубокое обучение» (*deep learning*). Этот метод является разновидностью машинного обучения и предполагает многоуровневую обработку информации с использованием нелинейных преобразований. Благодаря «глубокому обучению» сложные ИНС способны учиться на своем опыте без «учителя», формируя в процессе обучения многоуровневые иерархические структуры данных.

На данный момент в мире существует несколько крупных исследовательских центров, которые занимаются разработкой алгоритмов на основе нейронных сетей, — к ним, например, относится лаборатория

¹ Скрытый слой ИНС — это внутренний слой нейронов, который находится между слоем входных и выходных нейронов и в котором происходит преобразование сигнала.

Массачусетского технологического института (MIT)². В России ведущей организацией в этой сфере является Вычислительный центр РАН им. А. А. Дородницына³. Изначально акцент делался на таких направлениях, как распознавание речи и текста, «компьютерное зрение» в робототехнике.

Сегодня все более значительную роль искусственный интеллект играет в работе нефтегазовой отрасли — от интерпретации геологической информации до собственно добычи нефти и газа. Его применение позволяет снижать соответствующие затраты и повышать эффективность выполняемых операций.

Остановимся подробнее на тех сферах нефтегазового сектора и других сырьевых отраслей, где искусственный интеллект уже внедрен в реальную практику.

2. Интерпретация геологических данных

Искусственные нейронные сети успешно применяются в решении геофизических и геотехнических задач. Привлечение ИНС позволяет сократить требуемое количество скважин и проводимых тестов для определения характеристик грунтов и свойств коллекторов, приводя к значительной экономии денежных средств и времени. Например, использование нейронных сетей в картографировании почвенных слоев на севере Ирана показало высокую степень точности предсказания обученных моделей на основе ИНС — около 90% (при сравнении с данными тестовых скважин) [Choobbasti et al., 2015].

Применение нейронных сетей снижает себестоимость проводимых исследований, улучшает качество геологической оценки и облегчает интерпретацию структуры подземных слоев. Полезность ИНС объясняется их способностью обрабатывать большой объем данных, работать с нелинейными взаимосвязями, приспосабливаться к изменяющимся условиям, обобщать и обучаться.

Искусственные нейронные сети, наряду с линейными регрессиями, применяются для прогнозирования различных геофизических параметров (например, таких свойств коллекторов, как пористость и эффективная толщина пласта), для построения кривых геофизических исследований скважин⁴. ИНС используются в геофизике также для интерпретации каротажных данных [Родина, Силкин, 2007], интерпретации данных сейсмических наблюдений [Kuroda et al., 2012], определения литологической структуры [Akinyokun et al., 2009] и гра-

² MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory // MIT: <https://www.csail.mit.edu>.

³ Вычислительный центр им. А. А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН // РАН: <http://www.ccas.ru>.

⁴ Нейронные сети, регрессионный анализ и кластеризация сейсмических данных — программа SeisProN // Центральная геофизическая экспедиция: http://www.cge.ru/?page=seispron1_r/.

ниц геологических объектов [Шайбаков, 2012], анализа водонасыщенности [Nakutnyu, 2008] и проницаемости [Huang, 1996].

Анализ геологических данных крайне важен для оценки нефтегазонасыщенности исследуемых участков. Искусственные нейронные сети позволяют анализировать геологический разрез по материалам сейсморазведки (наиболее результативный геофизический метод нахождения углеводородов) [Борисов, Куликов, 2012]. Применение искусственного интеллекта в этом направлении увеличивает эффективность геологоразведочных работ, повышая их скорость и точность и снижая затраты.

3. Эксплуатация месторождений

Искусственный интеллект также применяется в эксплуатации месторождений. Наглядным примером являются «интеллектуальные» месторождения — smart fields (их еще называют «умными», или «цифровыми»). Такие месторождения предполагают удаленное управление объектами нефтегазодобычи и персоналом с помощью различных методов искусственного интеллекта (включая машинное обучение, ИНС, генетические алгоритмы, нечеткую логику и т. д.). Автоматизация процесса повышает эффективность освоения: сокращает издержки при одновременном росте добычи сырья (вследствие роста энергоэффективности, повышения производительности оборудования и персонала), оптимизирует процесс управления, способствует большей открытости и прозрачности информации. Исследование Кембриджской ассоциации энергетических исследований (Cambridge Energy Research Association, CERA) выявило, что показатели добычи на «умных» месторождениях на 2–10% выше, чем на «нецифровых»⁵.

Крупные международные нефтегазовые компании зачастую обладают отдельными подразделениями, которые занимаются технологиями «интеллектуализации» месторождений. Среди таких компаний — *Shell* («Smart Fields»), *BP* («Field of the Future»), *Chevron* («iFields»), а также *Saudi Aramco*, *Petrobras*, *Kuwait Oil* и др. [Демарчук, 2014].

Первые опыты с «интеллектуальными» месторождениями проводятся и в России. Один такой проект реализуется совместным предприятием компаний *Shell* и «Газпромнефть» — компанией «Салым Петролеум». Благодаря быстрой передаче информации на пункты управления растет эффективность использования фонда скважин, снижаются эксплуатационные расходы (вследствие сокращения поездок операторов на промысел), оптимизируется закачка воды в пласт, увеличивается объем и скорость добычи. В 2008 году на нескольких площадках Западно-Салымского месторождения был запущен пи-

⁵ Решения *Honeywell* для создания интеллектуальных/цифровых месторождений // Control Engineering — Россия, 2012: <http://controlengrussia.com/bezopasnost/reshenija-honeywell-dlja-sozdaniya-intellektualnykhcifrovyykh/>.

лотный проект, а к 2010 году технология была внедрена на всех скважинах нефтепромысла. Интеллектуальное управление скважинами и коллекторами повысило добычу «Салым Петролеум» в среднем на 2–2,5% в год, сократив внеплановые простои⁶.

Разновидностью интеллектуальных технологий в нефтегазовой отрасли являются «умные» скважины — smart wells. Такая технология позволяет добывать нефть из разных коллекторов и при этом вести непрерывный учет отдельно по каждому пласту. В России «умные скважины» впервые были применены той же компанией «Салым Петролеум» в конце 2006 года в северной части Вадельпского месторождения. Технология smart wells сокращает количество кустов скважин и объемы строительства внутрипромысловой инфраструктуры, снижая тем самым капитальные затраты и уменьшая воздействие на окружающую среду⁷.

С момента первого применения искусственного интеллекта в мировой индустрии разведки и добычи прошло почти 30 лет. Изначально оно заключалось в интерпретации каротажных диаграмм и в диагностике бурового оборудования с использованием нейронных сетей. Позже сфера применения искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли расширилась и охватила следующие направления: определение характеристик коллекторов, оптимизация конструкций скважин, их тестирование, оптимизация процесса бурения, анализ гидроразрыва пласта, оптимизация газлифта, анализ повреждения породы, оптимизация добычи нефти, анализ рисков проектов по повышению нефтеотдачи [Bello et al., 2015].

Методы искусственного интеллекта снижают и расходы компаний, занимающихся сланцевой добычей. Например, использование породоразрушающих инструментов со встроенными компьютерными чипами, нацеленных на поиск трещин в породе, повышает эффективность гидроразрыва пласта⁸.

4. Прогнозирование цен

Еще одной областью применения искусственного интеллекта стало прогнозирование. Из-за значительного снижения цен на полезные ископаемые (включая нефть, уголь и многие металлы) возник спрос на более совершенные методы анализа сырьевых рынков.

Применение искусственного интеллекта в прогнозировании открывает новые возможности для описания и прогноза событий как на

⁶ Умные месторождения Салыма // Russian Oil and Gas Technologies Magazine, 2014: https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/09/06_SPD_Smartfields.pdf.

⁷ Добыча углеводородов. Умные скважины // Shell, 2016: <http://www.shell.com.ru/future-energy/itl-campaign/production.html/>.

⁸ Притчард А. Э. Страсти по нефти: Саудовская Аравия эффективно рубит сук, на котором сидит // ProFinance service, 07.08.2015: <http://www.forexfp.ru/news/2015/08/07/axnx-strasti-po-nefti-saudovskaya-araviya-effektno-rubit-suk-na-kotorom-sidit.html/>.

финансовых, так и на сырьевых рынках. Сила аналитических методов на основе искусственного интеллекта заключается в том, что они максимально точно имитируют поведение участников рынка и отражают социальную специфику экономических отношений.

Очень часто сырьевые компании разрабатывают свои собственные модели прогнозирования цен на продаваемое сырье. Большинство таких моделей основано на традиционной эконометрике — регрессионных многофакторных моделях. Главными преимуществами методов на основе искусственного интеллекта по сравнению с традиционными эконометрическими моделями являются:

- контекстуальная обработка информации;
- адаптивность моделей и их способность к обучению;
- толерантность к ошибкам;
- отсутствие необходимости предварительной обработки данных;
- автоматический выбор оптимальной модели.

С помощью методов искусственного интеллекта становится возможным перебрать значительно большее количество моделей, при этом машина может одновременно применять различные комбинации методов (например, нейронные сети совместно с методом опорных векторов). В этом случае появляется возможность выбора не просто из большего абсолютного количества моделей, но и из большего количества различных *видов* моделей.

На данный момент разработан целый ряд методов на основе искусственного интеллекта, которые используются для выработки прогнозов цен на сырьевые товары, но нейронные сети остаются самым популярным из них. Благодаря тому, что нейронные сети могут работать со сложными, разноформатными и даже неполными данными, они подходят для работы с нелинейными, нестационарными и волатильными рядами, к числу которых относятся цены на сырьевые товары.

Заключение

Искусственный интеллект уже внедрен в реальную практику и активно используется в работе сырьевой отрасли. Методы искусственного интеллекта, особенно нейронные сети, активно применяются в геологоразведке и в добыче углеводородов. Интерпретация геологических данных включает анализ данных геофизических исследований скважин (ГИС), каротажа, сейсморазведки, определение характеристик коллекторов и т. д. Их применение в области добычи включает ряд процессов — от обустройства промысла и способов управления им до собственно добычи и методов ее повышения. Такие методы позволяют повысить эффективность выполняемых операций, снижая

затраты и повышая результат. В случае применения «умных месторождений» снижаются не только операционные, но и капитальные затраты, а объем добычи — вследствие роста производительности оборудования и персонала — возрастает.

Другим важным направлением применения искусственного интеллекта является прогнозирование цен на сырье, от которых зависят прибыль добывающих компаний и стратегия их развития. Модели на основе искусственного интеллекта могут максимально точно воспроизводить сложное поведение на сырьевых и фондовых рынках, описывать и прогнозировать волатильные временные ряды. При этом они не требуют предварительной обработки данных, ручного перебора и выбора оптимальной модели, могут работать с пропущенными и ошибочными наблюдениями, способны самообучаться и дообучаться с появлением новых актуальных данных.

Таким образом, методы искусственного интеллекта имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными подходами и могут стать подходящим инструментом повышения эффективности работы добывающих компаний в период низких цен на сырье.

Литература

1. *Борисов А. С., Куликов С. А.* Искусственные нейронные сети в прогнозировании нефтегазозности по данным сейсморазведки // Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий. 2012.
2. *Галушкин А. И.* Синтез многослойных систем распознавания образов. М.: Энергия, 1974.
3. *Демарчук В. В.* Перспективы и направления реализации проектов «интеллектуальных» месторождений нефти и газа // Молодой ученый. 2014. № 19. С. 284–289.
4. *Родина С. Н., Силкин К. Ю.* Применение нейросетевого подхода при интерпретации каротажных данных // Вестник ВГУ, Геология. 2007. № 2. С. 184–188.
5. *Розенблатт Ф.* Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга / под ред. С. М. Осовца. М.: Мир, 1965.
6. *Шайбаков Р. А.* Использование нейросетевого аппарата для идентификации границ геологических объектов / Материалы международной научной конференции «Технические науки: традиции и инновации». Челябинск: Два комсомольца, 2012. С. 8–11.
7. *Akinyokun O. C., Enikanselu P. A., Adeyemo A. B., Adesida A.* Well log interpretation model for the determination of lithology and fluid contents // The Pacific Journal of Science and Technology. 2009. Vol. 10. No 1. P. 507–517.
8. *Bello O., Holzmann J., Yaqoob T., Teodoriu C.* Application of artificial intelligence methods in drilling system design and operations: A review of the state of the art // JAISCR. 2015. Vol. 5. No 2. P. 121–139.
9. *Choobbasti A. J., Farrokhzad F., Mashaie E. R., Azar P. H.* Mapping of soil layers using artificial neural network (case study of Babol, northern Iran) // Journal of the South African Institution of Civil Engineering. March 2015. Vol. 57. No 1. P. 59–66.
10. *Hinton G. E.* Learning multiple layers of representation // Trends in Cognitive Sciences. 2007. Vol. 11. P. 428–434.
11. *Huang Z., Shimeld J., Williamson M., Katsube J.* Permeability prediction with artificial neural network modeling in the Venture gas field, offshore eastern Canada // Geophysics. 1996. Vol. 61. P. 422–436.

12. *Kuroda M. C., Vidal A. C., Almeida de Carvalho A. M.* Interpretation of seismic multi-attributes using a neural network // *Journal of Applied Geophysics*. 2012. Vol. 85. P. 15–24.
13. *Nakutnyy P., Asghari K., Torn A.* Analysis of waterflooding through application of neural networks // *Conference Paper, Canadian International Petroleum Conference, Calgary, Alberta*. 17–19 June. 2008.
14. *Rosenblatt F.* The Perceptron: a perceiving and recognizing automaton // *Report 85-460-1, Cornell Aeronautical Laboratory*, 1957.
15. *Werbos P. J.* Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences // *Ph.D. thesis, Harvard University, Cambridge, MA*, 1974.

Ekonomicheskaya Politika, 2016, vol. 11, no. 5, pp. 188-197

Peter F. KAZNACHEEV, Cand. Sci. (Philos.), Deputy Director for research at the Centre for Resource Economics Director of the Centre for Resource Economics.
E-mail: kaznacheev-pf@ranepa.ru

Regina V. SAMOILOVA, Deputy Director for research at the Centre for Resource Economics. E-mail: bazaleva-rv@ranepa.ru

Nikola V. KJURCHISKI. E-mail: kyurchiski-nv@ranepa.ru

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration
(82, Vernadskogo prosp., Moscow, 119571, Russian Federation).

Improving Efficiency of the Oil and Gas Sector and Other Extractive Industries by Applying Methods of Artificial Intelligence

Abstract

A considerable decline in commodity prices in recent years, primarily oil prices, is the result of a new equilibrium in the market which, in turn, is a direct consequence of technological innovations. In such circumstances, those producers which can adapt to lower prices by reducing costs and increasing efficiency will gain a strong competitive advantage. Until recently, the main driving force of innovative development of the energy sector had been the “shale revolution”. The situation is changing rapidly — the oil and gas industry is in need of new technological solutions that would allow it to weather the storm of lower prices. Currently, one of the areas where innovation is fastest is artificial intelligence. The article provides a brief overview of the most widespread method within artificial intelligence — artificial neural networks and describes their main applications within the oil and gas sector. In their work the authors distinguish highlight three main applications — interpretation of geological data, hydrocarbon production (smart fields) and price forecasting. The use of artificial intelligence can increase efficiency of both geological exploration and production — it allows to achieve more at a lower cost. Under the new market conditions formed in the energy and mining sectors it is crucially important to utilise all available mechanisms to increase efficiency. Following the drop in commodity prices, it has become of vital for companies to acquire more accurate forecasting methods which would allow to analyze market developments and improve strategic planning.

Keywords: artificial intelligence, neural networks, commodity industry, oil and gas sector, efficiency.

JEL: C45, L71, O3, Q3, Q4.

References

1. Borisov A. S., Kulikov S. A. *Iskusstvennye neyronnye seti v prognozirovanii neftegazonosnosti po dannym sejsmorazvedki* [Artificial neural networks in the forecasting of petroleum potential from seismic data]. Kazanskij (Privolzhskij) federal'nyj universitet, Institut geologii i neftegazovyh tekhnologij [Kazan Federal University, Institute of Geology and Petroleum Technologies]. 2012.
2. Galushkin A. I. *Sintez mnogoslojnyh sistem raspoznavaniya obrazov* [Synthesis of multi-layer systems pattern recognition]. Moscow: Ehnergiya, 1974.
3. Demarchuk V. V. Perspektivy i napravleniya realizacii proektov "intellektual'nyh" mestorozhdenij nefti i gaza [Perspectives and areas of implementation of "intelligent" oil and gas fields]. *Molodoj uchenyj* [Young Scientist], 2014, no. 19, pp. 284-289.
4. Rodina S. N., Silkin K. Yu. Primenenie nejrosetevogo podhoda pri interpretacii karotaznyh dannyh [Application of neural network approach in interpreting well logging data]. *Vestnik VGU, Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Geology], 2007, no. 2, pp. 184-188.
5. Rozenblatt F. *Principy nejrodinamiki. Perceptrony i teoriya mekhanizmov mozga* [Principles of neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms]. S. M. Osovec (ed.). Moscow: Mir, 1965.
6. Shajbakov R. A. Ispol'zovanie nejrosetevogo apparata dlya identifikacii granic geologicheskikh ob"ektov [The use of neural network mechanism for identifying of geological objects boundaries]. *Materials of the international scientific conference "Tekhnicheskie nauki: tradicii i innovacii"* ["Technical Sciences: Traditions and Innovations"], Chelyabinsk: Dva komsomol'ca, 2012, pp. 8-11.
7. Akinyokun O. C., Enikanselu P. A., Adeyemo A. B., Adesida A. Well log interpretation model for the determination of lithology and fluid contents. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 2009, vol. 10, no. 1, pp. 507-517.
8. Bello O., Holzmann J., Yaqoob T., Teodoriu C. Application of artificial intelligence methods in drilling system design and operations: A review of the state of the art. *JAISCR*, 2015, vol. 5, no. 2, pp. 121-139.
9. Choobbasti A. J., Farrokhzad F., Mashaie E. R., Azar P. H. Mapping of soil layers using artificial neural network (case study of Babol, northern Iran). *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, March 2015, vol. 57, no. 1, pp. 59-66.
10. Hinton G. E. Learning multiple layers of representation. *Trends in Cognitive Sciences*, 2007, vol. 11, pp. 428-434.
11. Huang Z., Shimeld J., Williamson M., Katsube J. Permeability prediction with artificial neural network modeling in the Venture gas field, offshore eastern Canada, *Geophysics*, 1996, vol. 61, pp. 422-436.
12. Kuroda M. C., Vidal A. C., Almeida de Carvalho A. M. Interpretation of seismic multiattributes using a neural network. *Journal of Applied Geophysics*, 2012, vol. 85, pp. 15-24.
13. Nakutnyy P., Asghari K., Torn A. *Analysis of waterflooding through application of neural networks*. Conference Paper, Canadian International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, 17-19 June, 2008.
14. Rosenblatt F. *The perceptron: a perceiving and recognizing automaton*. Report 85-460-1, Cornell Aeronautical Laboratory, 1957.
15. Werbos P. J. *Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences*. Ph.D. thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.