



УДК 622.276

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПОДБОРА МЕСТОРОЖДЕНИЙ-АНАЛОГОВ НЕФТИ И ГАЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАЗРАБОТКИ

SUBSTANTIATION OF THE METHODOLOGY FOR SELECTION OF FIELDS-ANALOGUES OF OIL AND GAS IN THE DESIGN OF DEVELOPMENT

Бовконюк Павел Алексеевич

аспирант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Санкт-Петербургский горный университет
pavelbovkonuk@gmail.com

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Санкт-Петербургский горный университет
Savenok_OV@pers.spmi.ru

Аннотация. Разработка нефтяных и газовых месторождений подразумевает под собой принятие сложных технологических решений, основанных на огромном количестве исходных данных. На успешность того или иного решения может повлиять множество факторов, порой совершенно не взаимосвязанных и зависящих от состояния необходимой материально-технической базы, доступа к информации о месторождении, от качества этой информации, а также от опыта и квалификации людей, принимающих решения. Все эти факторы в совокупности позволяют прогнозировать успешность тех или иных геолого-технических мероприятий лишь с определённой долей вероятности, что негативно влияет на сам процесс принятия технологических решений, а также на их конечный результат. Для борьбы с негативным влиянием приведённых факторов принято использовать так называемый метод аналогий, заключающийся в сравнении двух месторождений или пластов, похожих друг на друга по ряду признаков. Данная методика не только позволяет оперативно принимать те или иные решения, основанные на опыте разработки месторождений-аналогов, но и работать в условиях отсутствия необходимых данных, что нередко имеет место быть на промысле. В статье рассмотрены различные подходы к определению месторождений-аналогов, а также существующие проблемы и связанные с этим возможности для дальнейшего развития метода аналогий.

Ключевые слова: опыт применения метода аналогий; недостатки и пути их решения метода аналогий; методика подбора месторождений-аналогов; учёт основных характеристик сходства залежей; программы, позволяющие в автоматическом режиме производить поиск месторождений-аналогов; классификационные признаки свойств продуктивных пластов; структурированная база данных месторождений-аналогов.

Bovkonyuk Pavel Alekseevich

graduate student of the department of development and operation of oil and gas fields, Saint Petersburg mining university
pavelbovkonuk@gmail.com

Savenok Olga Vadimovna

doctor of technical sciences, professor of the department of development and operation of oil and gas fields, Saint Petersburg mining university
Savenok_OV@pers.spmi.ru

Annotation. The development of oil and gas fields implies the adoption of complex technological decisions based on a huge amount of initial data. The success of a decision can be influenced by many factors, sometimes completely unrelated and depending on the state of the necessary material and technical base, access to information about the field, the quality of this information, as well as the experience and qualifications of people making decisions. All these factors together make it possible to predict the success of certain geological and technical measures only with a certain degree of probability, which negatively affects the process of making technological decisions, as well as their final result. To combat the negative impact of these factors, it is customary to use the so-called analogy method, which consists in comparing two deposits or reservoirs that are similar to each other in a number of ways. This technique not only allows you to quickly make certain decisions based on the experience of developing analogous fields, but also to work in the absence of the necessary data, which often takes place in the field. The article discusses various approaches to the definition of analogue deposits, as well as existing problems and related opportunities for further development of the analogy method.

Keywords: experience in applying the analogy method; shortcomings and ways of their solution of the method of analogies; methodology for selecting analogous deposits; accounting for the main characteristics of the similarity of deposits; programs that allow you to automatically search for analogous fields; classification features of properties of productive layers; structured database of analogue fields.

В ведение

Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений представляет собой комплексный процесс, объединяющий этапы предпроектных исследований, проектирования системы разработки, реализации проектных решений, контроля технологических показателей и дальнейшего совершенствования проектных решений с учётом уточнения геологической информации, появления новых технологий, изменения сценарных условий. Все эти этапы характеризуются дефицитом и ограниченной достовер-



ностью исходной информации. При этом, как правило, наиболее ответственные решения принимаются в начале разработки, а наиболее полная информация появляется только к концу разработки.

В результате накопления данных по геологическому строению и разработке нефтяных и газовых месторождений, представлению их в публикациях, отчётах, базах данных приём применения аналогий становится все более доступным. Приём состоит в восполнении данных и анализе эффективности используемых методов управления по интересующему объекту путем поиска объектов-аналогов, изучения их строения и истории разработки. Таким образом, по аналогии становится возможной интерпретация более ограниченных сведений, появляется дополнительное подтверждение принимаемых допущений. Опыт последних лет свидетельствует об эффективности данного подхода [1].

В связи с этим задача поиска месторождений-аналогов с целью восполнения данных и анализа методов разработки и добычи по интересующему объекту представляется весьма актуальной [2].

Таким образом, целью данного научного исследования является повышение эффективности разработки нефтяных и газовых месторождений путём совершенствования средств и методов подбора месторождений-аналогов.

Общемировые научные достижения по теме исследований

Опыт ввода в эксплуатацию новых месторождений углеводородов показывает, что все проектные решения, принимаемые на начальных стадиях освоения залежи, оказывают определяющую роль как на стратегию разработки, так и на конечную стоимость всего проекта в целом. Исходя из этого, ещё на ранних стадиях геологоразведочных работ необходим простой и эффективный инструмент, который бы позволил определить наиболее вероятные параметры природного резервуара для получения нескольких сценариев реализации стратегии разработки с её последующей корректировкой при получении новых данных. Таким инструментом является метод аналогий, который является неотъемлемой частью системного подхода, реализуемого в нефтегазовой отрасли. Он учитывает степень неопределённости и геологические риски проекта, сохраняя преемственность технологических решений. Важной особенностью данного метода является возможность оценки экономических показателей, когда на любой стадии проекта можно просчитать экономический эффект. Это ведёт к снижению рисков принятия экономически нерентабельных решений (которые могут вести к большим объёмам дополнительных затрат на обустройство нового месторождения и составлять до 40 % от всего объёма капитальных вложений) и позволяет оперативно оптимизировать время выполнения проекта.

Корректный выбор пласта-аналога чрезвычайно важен не только с точки зрения выбора стратегии разработки месторождения, но и с позиции особенностей геологического строения изучаемого объекта [3]. Поэтому изучением этого вопроса на протяжении последних десятилетий занимается достаточно большое количество авторов. Первые обобщающие работы по возможному применению метода аналогии в качестве источника дополнительной информации о месторождениях УВ появились в отечественной литературе ещё в начале 70-х годов XX века. Были сделаны попытки создания критериев уникальности объектов разработки, которые бы служили в качестве классификаторов для распознавания основных технологических показателей разработки месторождений УВ, давая оценку успешности применения различных методов увеличения нефтеотдачи. Другие работы [4, 5] были направлены на разработку критериев качественного выбора тампонажных растворов и режимов цементирования, которые смогли бы обеспечить качественное крепление конструкции скважин. В течение последнего десятилетия в связи со значительным увеличением доли интегрированного проектирования в общем объёме работ, связанных с прогнозом технологических показателей разработки, в российских нефтегазовых компаниях всё чаще применяется метод аналогий. В первую очередь, это касается изучения стратегии разработки и применения технологий добычи и МУН, которые наиболее эффективны на месторождениях со схожим геологическим строением. Так, например, была создана база данных «МУН», которая разработана по типу экспертной системы [6].

В классификациях SPE и SEC термин месторождения-аналоги, прежде всего, связан с оценкой доказанных запасов. При этом в качестве аналога выбирается объект со сходными свойствами породы и флюида, но, как правило, находящийся на более поздней стадии эксплуатации, с аналогичными или лучшими характеристиками, обоснованной рентабельностью разработки [7].

В задачах разработки привлечение аналогий позволяет принимать решения, обосновывать жизнеспособность проекта, величины основных параметров, таких как, например, коэффициент извлечения нефти (КИН), или наоборот, указывать на высокие риски, связанные с реализацией проекта. Изучение месторождений-аналогов достаточно широко используется при выполнении совместных проектов. Данный подход особенно показателен для шельфовых месторождений, где риски высокие, а решения по основным инвестициям приходится принимать на этапе, когда объём исследований минимален (например, отсутствуют данные по добыче). Так, при принятии ключевых решений по разработке месторождений Северного моря привлекались данные по нескольким месторождениям-аналогам США, Южной Африки и шельфа Австралии [8].

Метод привлечения аналогий наиболее известен в приложении к новым месторождениям, вместе с тем в последнее десятилетие всё чаще появляются сообщения о применении его на старых объектах для определения потенциала увеличения нефтеотдачи.



В проектах разработки месторождений предусмотрен раздел анализа разработки аналогичных месторождений. В настоящее время при создании проекта разработки этот инструмент ещё недостаточно полно используется, что отражается на качестве проекта [9].

Задачу поиска аналогов нередко ассоциируют с поиском «объекта-близнеца», наиболее схожего по некоторым параметрам и характеристикам с целевым рассматриваемым объектом [10].

Месторождение можно считать аналогом, если оно совпадает или является схожим с рассматриваемым по некоторым известным геологическим параметрам обеих залежей. Такое сходство позволяет сделать вывод, что и остальные характеристики будут аналогичны параметрам месторождения, в котором они неизвестны, что, в свою очередь, позволяет, например, произвести оценку пропусков в данных, полученных с месторождений-аналогов [11].

Следует отметить, что совокупность геологических параметров месторождения представляет собой многомерное распределение, содержащее как дискретные, так и непрерывные переменные. Определение типа зависимостей между данными имеет важное значение, так как применение классических совместных моделей распределения с использованием принципа корреляции может оказаться невозможным в случае, если зависимости не линейны, что характерно для геологических и геометрических признаков. Дополнительным преимуществом при выборе оптимального подхода является минимальное использование экспертных знаний, а в идеальном случае и полный отказ от них. В связи с этим поиск месторождений-аналогов является достаточно нетривиальной задачей, для которой на данный момент не существует общепринятого решения [12].

Существующие нерешённые научные проблемы по теме исследования

Наиболее распространённым методом решения практически всех возникающих на месторождении проблем, в том числе и поиска месторождений-аналогов, сегодня является метод экспертной оценки, заключающийся в привлечении людей, обладающих знаниями и опытом, достаточными для прогнозирования успешности того или иного технологического решения. Подходы, основанные на привлечении экспертных знаний, являются наиболее простым методом по поиску аналогов с точки зрения времени и трудозатрат.

Подходы с приоритетным использованием экспертных знаний позволяют получить быструю оценку экспертом за короткое время, однако не гарантируют точность результатов и обычно применяются в сжатые сроки в отсутствие более надёжного метода оценки неизвестных параметров. Другой недостаток таких методов – отсутствие информации о значимости или информативности пропущенных параметров. Не удаётся и характеризовать зависимости между параметрами, так как выставление весовых коэффициентов значимости переменных в процессе поиска аналогов экспертом является субъективной оценкой. Исходя из этого требуется рассмотреть более комплексные подходы к поиску аналогов, включающие в себя анализ многомерного распределения с учётом возможных связей между переменными [11].

В настоящее время активно используются подходы, основанные на использовании технологий машинного обучения. В частности, возможно применение различных алгоритмов кластеризации в целях получения групп аналогов, обладающих схожими свойствами [13, 14].

При проектировании разработки новых месторождений компании сталкиваются с проблемой отсутствия необходимых данных, например, геологических данных, информации о насыщающих породу флюидах, а также фильтрационно-емкостных свойствах. Высокая степень неопределённости исходных данных может приводить к дополнительным затратам на обустройство новых месторождений [15].

В связи с этим разработка методик повышения качества поступающих промысловых данных и автоматизированных алгоритмов их обработки, позволяющих получать информацию о явлениях, сопровождающих процесс эксплуатации, обеспечивать возможности раннего обнаружения и прогнозирования нештатного функционирования скважин для сокращения недоборов продукции, обоснованной оценки эффективности назначения мероприятий и формирования оптимального портфеля геолого-технических мероприятий по всему эксплуатационному фонду в условиях действующих ограничений на объёмы добываемой продукции являются актуальными задачами, стоящими перед инженерами-нефтяниками и нефтяной промышленностью в целом [9].

Одной из основных проблем использования метода аналогий в отечественной промышленности является также отсутствие общедоступной, достоверной и обширной базы данных, которая бы включала в себя широкую номенклатуру отечественных нефтяных и газовых месторождений, описывала их основные качественные и количественные свойства, а также результаты проведения различных геолого-технических мероприятий.

Данная проблема отсутствует на рынках западных стран, поскольку там в открытом доступе находятся такие базы данных как, например, TORIS (Tertiary Oil Recovery Information System), представляющая из себя аналитическую систему, курируемую Министерством энергетики США, созданную для оценки технологического и экономического потенциала извлечения углеводородов из нефтяных и газовых месторождений. Также работу над созданием обширной базы данных месторождений ведёт компания «British Petroleum». В России в той или иной степени над данной проблемой работают такие



компании как «Роснефть» и «Газпромнефть», но ввиду большого количества юридических препятствий обмен знаниями подобного рода в РФ в значительной мере ограничен.

Поскольку поиск месторождения-аналога обычно сводится к поиску объекта-близнеца, встаёт закономерный вопрос, на какие параметры месторождения следует опираться для наиболее быстрого и точного поиска подходящего аналога. Во многих научных работах исследователи указывают целый ряд таких признаков, их количество может варьироваться от 5 до нескольких сотен и они могут включать в себя абсолютно любую информацию о месторождении, начиная от географической привязки и геологических признаков и заканчивая свойствами пластового флюида и параметрами системы разработки.

Предложения по решению существующих научных проблем

В работе [2] представлен методический подход для поиска месторождений-аналогов с использованием критериев сопоставимости. Каждый объект разработки месторождения или отдельных пластов можно характеризовать комплексом признаков, включающим структурно-геологические особенности, свойства продуктивных пластов, свойства пластовых флюидов и др. Количество таких признаков может колебаться от 5 до 200 и более.

В качестве квалификационных признаков выбраны структурно-геологические особенности, свойства продуктивных пластов и свойства пластовых флюидов. К структурно-геологическим особенностям относятся: стратиграфическая принадлежность продуктивных пластов, количество продуктивных пластов, фазовое состояние и др. К свойствам продуктивных пластов можно отнести толщину продуктивного пласта, пористость, проницаемость, сжимаемость пород и др. Свойства пластовых флюидов включают следующие признаки: фазовый состав, плотность нефти, вязкость в пластовых условиях, газовый фактор и др.

Так как классификационные признаки имеют различные размерности и широкие диапазоны изменения, то каждый признак разбивался на малые диапазоны, которым присваивался условный индекс. Фрагмент такой таблицы для свойств продуктивных пластов приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент таблицы классификационных признаков свойств продуктивных пластов

№№ n/n	Классификационные признаки	Характеристика	Условный индекс
2.1	Толщина продуктивного пласта, м	до 5	1
		5–10	2
		10–15	3
		более 15	4
2.2	Пористость, %	до 10	1
		10–15	2
		15–20	3
		20–25	4
		25–30	5
2.3	Минералогический состав	более 30	6
		наличие глинистости	1
		наличие карбонатов	2

Совокупность M объектов можно подвергнуть кластерному анализу, т.е. разбить это множество на ряд классов так, чтобы объекты одной группы (класса) были бы «однородными» (сходными) по комплексу признаков и в то же время были «разнородными» (несходными) с объектами, принадлежащими к другой группе (классу).

Существует несколько методов кластеризации многомерных по признакам объектов в сходные (однородные) классы, которые изложены в работах [4, 16]. Однако все они решаются в терминах матрицы расстояния или в терминах матрицы сходства.

Нами выбран последовательный процесс кластеризации, основанный на коэффициенте корреляции между признаками различных объектов (месторождений) и называемый «дендрограммой». Дендрограмму можно определить как графическое изображение процесса последовательной кластеризации, который реализуется в терминах матрицы сходства (рис. 1).

Приведённый анализ даст возможность решения целого комплекса задач, включающих:

- изучение стратегий разработки на однотипных месторождениях и выбор наиболее эффективных;
- анализ применения новых технологий и выбор наиболее эффективных для каждого класса месторождений;
- количественный анализ показателей разработки внутри класса и между классами и др.

В работе [17] приводится таблица сопоставления классификационных признаков, на основе анализа которой определяются месторождения, наиболее схожие по своим геологическим характеристикам с изучаемым объектом.

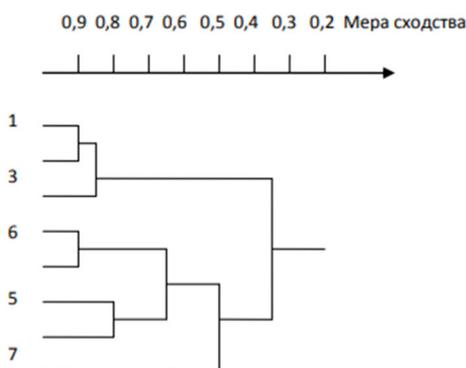


Рисунок 1 – Пример построения дендрограммы

Авторы работы предлагают делить все признаки на 2 группы: *качественные* и *количественные*.

К качественным признакам следует отнести нефтегазоносную провинцию, стратиграфическую принадлежность, группы пород, тип коллектора, обстановку осадконакопления, фазовое состояние, тектоническую активность района и тип ловушки.

К количественным признакам можно отнести глубину залегания, класс коллектора по пористости и проницаемости, плотность нефти и объём геологических запасов.

Для более качественного подбора месторождения-аналога и отсеечения залежей, подходящих по своим свойствам только формально, предлагается ранжировать классификационные признаки по трём классам.

К первому классу относится признак группы пород: так на самом начальном этапе анализа происходит подбор возможных аналогов по принципиальному геологическому признаку, и в дальнейшем рассматриваются только породы-коллектора одного типа. Ко второму классу относятся признаки типа коллектора и обстановки осадконакопления, к третьему – все остальные.

На основе выделенных классификационных признаков создаётся библиотека или выборка месторождений или пластов, близких по своим свойствам, в первую очередь, по качественным признакам, к исследуемому объекту, в виде таблицы с возможностью фильтрации по количественным признакам, и по сходству этих признаков делается вывод о том, какие месторождения могут получить статус аналога.

Аналоги могут быть сформированы в группы по схожести ряда признаков, проранжированы и определены группы (например, I группа, II группа, III группа и т.д.).

По мнению авторов, очень важным параметром является степень геологической изученности месторождения. От количества и качества информации будут в значительной степени зависеть результаты использования метода аналогий. В случае если количество и качество исходной информации низкое, то и ожидаемые результаты анализа будут очень ненадёжными.

В работе [11] предложен способ поиска месторождений-аналогов на основе кластеризации байесовских сетей, построенных на параметрах месторождений. С помощью байесовских сетей возможно эффективно представить нефтегазовые месторождения в виде многомерного распределения с учётом сложных взаимосвязей между параметрами. Для каждого из месторождений в производственной базе данных строилась байесовская сеть на выборке из ближайших его соседей, полученных с использованием метрики косинусного расстояния. Кластеризация построенных на выборках месторождений сетей производится путём сравнения метрики расстояния Хэмминга между вытянутыми в одномерный вектор матрицами смежности. Произведён сравнительный анализ разработанного подхода и других методов поиска аналогов на основе методов машинного обучения. Приведены результаты оценки работы алгоритма, подтверждающие, что моделирование и поиск аналогов с помощью байесовских сетей является более комплексным решением задачи. Точность восстановления пропущенных значений для большинства параметров с помощью разработанного алгоритма оказалась выше, чем в существующих классических алгоритмах кластеризации.

В работе [6] проанализированы методики и программное обеспечение для выбора и оценки эффективности методов увеличения нефтеотдачи. Выделены основные этапы скрининга технологий увеличения нефтеотдачи. В статье автор рассматривает ряд программ зарубежных авторов, которые используются для оценки применимости различных МУН. В данных программах разработчики прибегают к использованию искусственного интеллекта и нейронных сетей для наиболее точного определения интервалов применимости различных методов на основе информации по успешным проектам на месторождениях, занесённых в базу данных. В данной работе упоминаются две базы данных. Первая имплементирована в программу Screening 2.0 и состоит из 1000 проектов месторождений. Вторая включает в себя 2200 проектов и работает в паре с экспертно-аналитической системой NeuroShell.

Также в данной работе упоминается метод кластеризации как наиболее простой метод работы с данными по месторождениям-аналогам.



В работе [18] приводится метод выявления объектов-аналогов путём использования обобщённой модели кривых капиллярного давления, представляющих из себя зависимость безразмерного капиллярного давления от нормированной (приведённой) водонасыщенности в логарифмической системе координат.

В условиях Западной Сибири для любого месторождения на коллекции образцов керна в лабораторных условиях изучают капиллярные характеристики продуктивного пласта. Определяют фильтрационно-емкостные свойства образцов: пористость, проницаемость, остаточную водонасыщенность. Далее путём статистической обработки лабораторных данных можно получить обобщённую математическую модель капиллярных кривых.

В работе [19] представлена обобщённая модель капиллярных кривых для коллекторов Западной Сибири (1):

$$\ln(P_{r0}) = a + b \cdot \ln(K_g^*) + c \cdot (\ln(K_g^*))^2, \tag{1}$$

Параметры обобщённой модели a , b и c являются характеристиками данного продуктивного пласта, причём каждый продуктивный пласт однозначно характеризуется своими параметрами. Эти параметры являются неизменными для конкретного продуктивного пласта, но различными для пластов разных месторождений.

Параметр a определяет степень смачиваемости поверхности порового канала, т.е. водоудерживающую способность продуктивного пласта. Параметр b характеризует микронеоднородность каналов по размерам, а также доленое участие каналов в процессе фильтрации жидкости. Кроме того, относительные фазовые проницаемости для смачивающей (вода) и несмачивающей (нефть, газ) фаз для различных водонасыщенностей тоже определяются параметром b . Параметр c характеризует поведение кривой капиллярного давления в области минимальных значений размеров поровых каналов.

Таким образом, обобщённая модель капиллярного давления однозначно характеризует данный эксплуатационный объект, и параметры модели могут быть использованы для распознавания объекта-аналога, находящегося в разработке. Очевидно, опыт разработки объекта-аналога можно уверенно использовать в процессе разработки рассматриваемого месторождения.

В работе [20] автор анализирует применимость четырёх различных нейронных сетей для прогнозирования коэффициента нефтеотдачи: BPNN (British Petroleum neural network), RBFNN (Radial basis function neural network), GRNN (Generalized regression neural network) и WNN (Wavelet neural network).

Автор приводит инфографику (рис. 2 и 3), согласно которой с 2001 по 2020 гг. количество публикаций на тему использования нейронных сетей в нефтегазовой индустрии непрерывно росло, а наибольшее количество упоминаний наблюдается у RBFNN (порядка 35,8 % от всех публикаций), далее следует BPNN, GRNN и WNN.

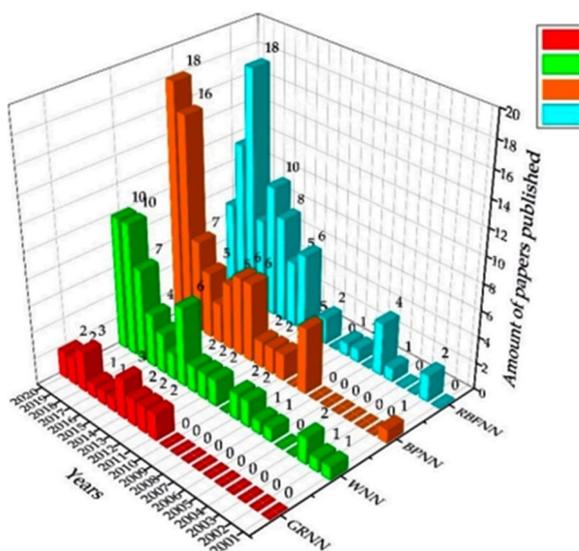


Рисунок 2 – Количество публикаций на тему использования нейронных сетей в нефтегазовой индустрии с 2001 по 2020 гг.

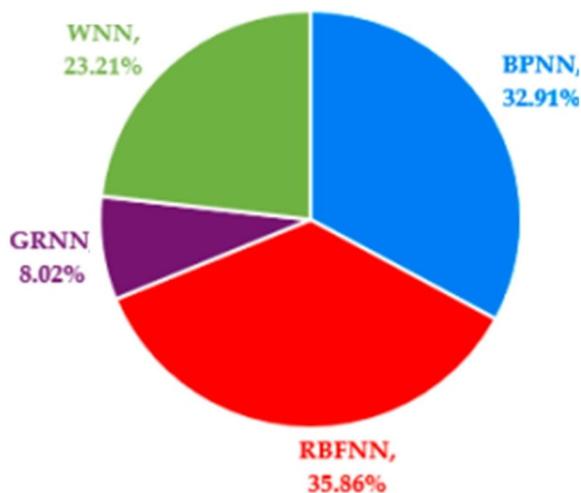


Рисунок 3 – Процентное соотношение упоминаний различных типов нейронных сетей в публикациях с 2001 по 2020 гг.

BPNN предлагает хорошую идею для решения сложной нелинейной задачи прогнозирования коэффициента нефтеотдачи нефтяного месторождения. Хотя точность прогнозирования BPNN, оптими-



зированной интеллектуальным алгоритмом, повышается, существует множество результатов, вызванных согласованием весов и пороговых значений, что приводит к большим колебаниям в конечных результатах прогнозирования ошибок.

По сравнению с широко используемой BPNN, доказано, что эффект аппроксимации RBFNN в нелинейных функциях лучше. Для прогнозирования определённых показателей разработки нефтяных месторождений RBFNN имеет более высокую скорость обучения и меньшее количество итераций, и больше подходит для сложных систем с большим количеством неизвестных параметров.

GRNN обладает такими характеристиками, как простой процесс вычисления, высокая скорость обучения, меньшее количество параметров настройки, хорошая глобальная сходимости и т.д. По сравнению с BPNN сеть GRNN может достигать лучших результатов прогнозирования при решении нелинейных задач с небольшими выборками. По сравнению с RBFNN сеть GRNN характеризуется простым процессом обучения: неизвестные переменные в RBFNN включают центр функции c , ширину функции δ и вес ω ; однако GRNN рассматривает обучающую выборку как центр функции c , отменяет вес ω и сохраняет только неизвестную переменную – ширину функции δ . Поэтому интеллектуальные алгоритмы легче сочетать с GRNN, и для повышения точности прогноза достаточно настроить только один параметр δ .

По сравнению с BPNN сеть WNN имеет значительные улучшения в скорости сходимости, способности к обобщению и точности аппроксимации, но у неё всё ещё есть проблемы, такие как задержка на экстремальных значениях и стабильность сети. WNN избегает проблем нелинейной оптимизации, таких как локальная оптимизация, значительно упрощает обучение и имеет широкие перспективы применения. С постоянным углублением исследований WNN его области применения будут становиться всё более и более обширными.

Таким образом, автор даёт развёрнутое пояснение того, что из себя представляют различные типы нейронных сетей и как наиболее эффективно применить их в задачах прогнозирования коэффициента нефтеизвлечения.

В работе [15] рассматривается методика и программный модуль выбора объекта-аналога, позволяющая подбирать объекты-аналоги для нефтегазоконденсатной залежи с близкими геолого-физическими характеристиками на основе качественных и количественных параметров с использованием весовых коэффициентов для каждого параметра, которые отражают его значимость как признака пласта-аналога. Выбор производится из базы геологических объектов-аналогов, в которую занесена информация по геолого-физическим характеристикам более чем по 2500 залежам ПАО «НК «Роснефть». Процедура выбора объекта-аналога из базы геологических объектов-аналогов занимает не более 15 минут, т.к. расчёт критериев для выбора объектов-аналогов автоматизирован, что существенно быстрее традиционного подхода по выбору аналогов вручную (рис. 4).



Рисунок 4 – Схема выбора объекта-аналога

В работе [21] описан инструмент для поиска и ранжирования объектов-аналогов из базы данных разработки месторождений на основе теории нечётких множеств. Реализованный функционал позволяет выбирать задачи и целевые параметры, по которым подбираются объекты-аналоги. В алгоритме введены весовые показатели для каждой задачи соответственно, основанные на экспертном



мнении и статистике. Результат работы инструмента позволяет воспользоваться существующим опытом разработки схожих объектов из базы данных и восполнить недостающую информацию.

Разработанный инструмент по подбору объектов-аналогов позволяет не только восполнить недостающие геологические данные, но и получить информацию по системам разработки, характеристике вытеснения, темпам падения жидкости, стартовым дебитам и результатам испытаний разведочных скважин.

Для определения объекта-аналога в инструменте реализована возможность выбора задачи подбора: для составления проектно-технического документа, выбора третичного метода воздействия, оптимизации системы разработки в рамках опытно-промышленных работ (ОПР), гидродинамического моделирования, подготовки инвестиционного меморандума.

Решением в работе является алгоритм, позволяющий по целевым параметрам и базе данных разработки месторождения математически определить наиболее «близкий» объект месторождения. Под «близостью» понимается степень принадлежности того или иного параметра из базы данных к целевому параметру.

На вход алгоритма подаётся набор целевых параметров объекта месторождения, учёт которых опционален. Далее алгоритм, используя только выбранные параметры, для каждой строки и каждого параметра из базы данных рассчитывает функцию принадлежности:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2\sigma^2}}; \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

где b – значение целевого параметра; x – значение параметра объекта-аналога; σ – среднеквадратичное отклонение выборки по параметру из базы данных; n – количество учитываемых параметров при поиске объекта-аналога (зависит от насыщенности базы данных); \bar{x} – среднее значение по выборке из базы данных.

После чего рассчитывается итоговая оценка схожести по каждому объекту, называемая *единым комплексным критерием* и рассчитываемая по формуле:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sqrt{\prod_{i=1}^n \mu_i^{w_i}}}, \quad (4)$$

где w_i – вес i -го параметра; μ_i – функция принадлежности i -го параметра, рассчитанная по формуле (2).

Следует подчеркнуть, что веса для каждой задачи подобраны статистическим методом согласно экспертному мнению. Для этого проведён опрос экспертного состава, в котором было необходимо расставить весовые показатели (от 0 до 1) по их экспертному мнению для каждого параметра решаемых задач алгоритма.

Для универсальности инструмента все целевые параметры разделены на 2 группы: *качественные* и *количественные*.

Алгоритм позволяет отфильтровать по тем качественным параметрам, которые изначально выбраны перед запуском. Если принимается решение не использовать нефтегазоносную провинцию или тип ловушки как целевой качественный параметр, то алгоритм не учитывает их. Важно отметить, что в инструменте отсутствует предустановка качественных параметров и строгая необходимость в них при поиске объектов-аналогов отсутствует.

Список литературы:

1. Количественные методы использования аналогов в задачах разведки и разработки месторождений / С.И. Кудряшов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 43–47.
2. Использование критериев сопоставимости при поиске аналогичных месторождений углеводородов / И.О. Орлова [и др.] // Технические и технологические системы: материалы Восьмой Международной научной конференции «ТТС-16». – Краснодар : Издательский Дом - Юг, 2016. – С. 285–290.
3. Когнитивные технологии исследования информационных массивов для восстановления неявных знаний и данных / А.Р. Закиров [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 12. – С. 76–78.
4. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен / пер. с англ. Г.Г. Вайнштейна и А.М. Васьковского. – М. : Мир, 1976. – 512 с.



5. Методика оценки надёжности крепи скважин / А.А. Арутюнов [и др.]. – Краснодар : ВНИИКР-нефть, 1985. – 82 с.
6. Иванов Е.Н. Выбор и оценка эффективности методов увеличения нефтеотдачи для месторождений Западной Сибири // Георесурсы. – 2012. – С. 89–90.
7. Солодов И.С., Шакшин В.П., Колесников В.А. Статистические подходы к выявлению месторождений-аналогов Самарской области // Нефтяное хозяйство. – 2011. – С. 30–33.
8. Bhushan V., Hopkinson S.C. A Novel Approach to Identify Reservoir Analogues // Proceedings of the European Petroleum Conference. – 2002. DOI: 10.2118/78338-ms
9. Денисов О.В. Совершенствование процессов мониторинга и регулирования разработки нефтяных месторождений на основе статистических, оптимизационных и нейросетевых алгоритмов : дисс. ... канд. техн. наук. – Бугульма : Татарский научно-исследовательский и проектный институт нефти (ТатНИПИнефть) ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, 2019. – 133 с.
10. Методика выбора объекта-аналога для нефтегазовой залежи по геолого-физическим характеристикам / И.С. Вологин [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 12. – С. 124–127. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-12-124-127
11. Безбородов А.К., Деева И.Ю. Поиск месторождений-аналогов на основе кластеризации байесовских сетей // Journal of Instrument Engineering. – 2022. – Vol. 65. – № 1. – P. 64–72.
12. Variations in ranked list of reservoir analogs as an effect of search preferences / A. Voskresenskiy [et al.] // Saint Petersburg 2020 – Geosciences: Converting Knowledge into Resources. – 2020. DOI:10.3997/2214-4609.202053163
13. Agglomerative hierarchical clustering of airborne electromagnetic data for multi-scale geological studies / M. Dumont [et al.] // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 157. – P. 1–9 DOI: 10.1016/j.jappgeo.2018.06.020
14. Ren Z., Sun L., Zhai Q. Improved k-means and spectral matching for hyperspectral mineral mapping // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2020. – Vol. 91. DOI:10.1016/j.jag.2020.102154
15. Повышение эффективности разработки новых нефтегазоконденсатных залежей за счёт применения методики выбора объекта-аналога (часть 1) / Э.К. Абдрахманова [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2022. – № 92. – С. 66–69.
16. Дюран Б., Одделл П. Кластерный анализ / пер. с англ. Е.З. Демиденко. – М. : Статистика, 1977. – 128 с.
17. Поднебесных А.В., Хафизов А.Р. Методика экспресс-оценки выбора объекта-аналога для залежей углеводородного сырья на основе их геологических признаков // Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых. – 2019. – С. 9–18.
18. Группирование эксплуатационных объектов на основе параметров обобщённой модели кривых капиллярного давления на примере ряда нефтяных месторождений Западной Сибири / Р.Т. Ахметов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг Георесурсов. – 2021. – С. 89–97.
19. Jun He, Kegang Ling. Measuring permeabilities of Middle-Bakken samples using three different methods // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – Vol. 31. – P. 28–38. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.03.007
20. Research progress of oilfield development index prediction based on artificial neural networks / C. Chen [et al.] // Energies. – 2021. – Vol. 14. – Issue 18. – URL : <https://doi.org/10.3390/en14185844>
21. Мигманов Р.Р., Зиазев Р.Р., Галиуллин М.М. Автоматизированный алгоритм подбора объекта-аналога на основе теории нечётких множеств // Экспозиция Нефть Газ. – 2022. – № 7. – С. 15–19.

List of references:

1. Quantitative methods of using analogues in the tasks of field exploration and development / S.I. Kudryashov [et al.] // Oil industry. – 2015. – № 4. – P. 43–47.
2. The use of comparability criteria in the search for similar hydrocarbon deposits / I.O. Orlova [et al.] // Technical and technological systems: Proceedings of the Eighth International Scientific Conference «TTS-16». – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2016. – P. 285–290.
3. Cognitive technologies of information array research for recovery of implicit knowledge and data / A.R. Zakirov [et al.] // Oil Economy. – 2018. – № 12. – P. 76–78.
4. Duda R., Hart P. Pattern recognition and scene analysis / translated from English by G.G. Weinstein and A.M. Vaskovsky. – М. : The World, 1976. – 512 p.
5. Methodology of evaluation of well support reliability / A.A. Arutyunov [et al.]. – Krasnodar : VNIKR-oil, 1985. – 82 p.
6. Ivanov E.N. Choice and evaluation of efficiency of oil recovery enhancement methods for Western Siberia oilfields // Georesursy. – 2012. – P. 89–90.



7. Solodov I.S., Shakshin V.P., Kolesnikov V.A. Statistical approaches to identification of the Samara region analogues // Oil Industry. – 2011. – P. 30–33.
8. Bhushan V., Hopkinson S.C. A Novel Approach to Identify Reservoir Analogues // Proceedings of the European Petroleum Conference. – 2002. DOI: 10.2118/78338-ms.
9. Denisov O.V. Improved processes of monitoring and regulation of oil field development based on statistical, optimization and neural network algorithms: dissertation. Candidate of Technical Sciences. – Bugulma : Tatar Oil Research and Design Institute (TatNIPIneft) PJSC Tatneft named after V.D. Shashin, 2019. – 133 p.
10. Methodology of selection of object–analogues for oil–and–gas deposit by geological and physical ha–characteristics / I.S. Vologin [et al.] // Neftyanoe upravlenie. – 2019. – № 12. – P. 124–127. DOI: 10.24887/0028–2448–2019–12–124–127
11. Bezborodov A.K., Deeva I.Yu. Search for analog deposits based on clustering of Bayesian networks // Journal of Instrument Engineering. – 2022. – Vol. 65. – № 1. – P. 64–72.
12. Variations in ranked list of reservoir analogs as an effect of search preferences / A. Voskresenskiy [et al.] // Saint Petersburg 2020 – Geosciences: Converting Knowledge into Resources. – 2020. DOI:10.3997/2214–4609.202053163
13. Agglomerative hierarchical clustering of airborne electromagnetic data for multi–scale geological studies / M. Dumont [et al.] // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 157. – P. 1–9 DOI: 10.1016/j.jappgeo.2018.06.020
14. Ren Z., Sun L., Zhai Q. Improved k–means and spectral matching for hyperspectral mineral mapping // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2020. – Vol. 91. DOI:10.1016/j.jag.2020.102154
15. Improvement of development efficiency of new oil–and–gas–condensate deposits due to the application of the methodology of object-analog selection (part 1) / E.K. Abdrakhmanova [et al.] // Exposition Oil Gas. – 2022. – № 92. – P. 66–69.
16. Duran B., Odell P. Cluster analysis / translated from English by E.Z. Demidenko. – M. : Statistics, 1977. – 128 p.
17. Podnebesnykh A.V., Khafizov A.R. Methodology of express–evaluation of selection of object–analogues for hydrocarbon deposits based on their geological features // Geophysics, geophysical methods of mineral prospecting. – 2019. – P. 9–18.
18. Grouping of production objects based on the parameters of the generalized model of capillary pressure curves by the example of a number of oil fields in Western Siberia / R.T. Akhmetov [et al.] // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of Georesources. – 2021. – P. 89–97.
19. Jun He, Kegang Ling. Measuring permeabilities of Middle–Bakken samples using three different methods // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – Vol. 31. – P. 28–38. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.03.007
20. Research progress of oilfield development index prediction based on artificial neural networks / C. Chen [et al.] // Energies. – 2021. – Vol. 14. – Issue 18. – URL : <https://doi.org/10.3390/en14185844>.
21. Migmanov R.R., Ziayev R.R., Galiullin M.M. Automated algorithm of object–analog selection based on fuzzy sets theory // Exposition Oil Gas. – 2022. – № 7. – P. 15–19.