

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Игорь Николаевич ГЛУХИХ<sup>1</sup>  
Дмитрий Владиславович НИКИФОРОВ<sup>2</sup>

УДК 519.816

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЫВОДА ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ В МОДЕЛИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

<sup>1</sup> доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой информационных систем,  
Тюменский государственный университет  
igluhih@utmn.ru; ORCID: 0000-0002-0683-6138

<sup>2</sup> аспирант кафедры информационных систем,  
Тюменский государственный университет  
dimonnikiforov@hotmail.com; ORCID: 0000-0003-0650-6056

### Аннотация

В работе рассмотрен метод вывода решений по прецедентам как инструмент принятия решений при моделировании месторождения нефти и газа, его существующее и потенциальное применение в отрасли. Основное направление для применения вывода по прецедентам — это поиск объектов-аналогов для проектирования разра-

---

**Цитирование:** Глухих И. Н. Принятие решений на основе вывода по прецедентам в моделировании месторождений нефти и газа / И. Н. Глухих, Д. В. Никифоров // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2019. Том 5. № 3. С. 147-163.  
DOI: 10.21684/2411-7978-2019-5-3-147-163

ботки месторождений нефти и газа. На сегодняшний день в практике проектирования используется слабоформализованный метод аналогий, который не позволяет максимально достоверно определить объект-аналог, что нередко приводит к ошибкам при проектировании разработки. Объект-аналог служит источником не только готовых околооптимальных проектных решений, но и дополнительной информации об объекте разработки и ключевых решений при моделировании месторождений углеводородов. В работе представлен метод вывода по прецедентам как основной инструмент поиска объектов-аналогов, рассмотрены основные методы извлечения прецедентов из базы данных, а также дано представление об объекте разработки как о прецеденте. Исходя из особенностей представления объекта разработки как прецедента и особенностей применения методов извлечения прецедентов, разработана концепция поиска объектов-аналогов, которая при своей реализации в виде информационной системы позволит учесть различную степень информативности прецедентов, хранящихся в базе данных, и ускорить процедуру извлечения прецедентов из базы. Принципиальной новизной является то, что концептуальная схема, приведенная в работе, позволяет использовать методы извлечения прецедентов в условиях нехватки входных данных, что актуально для проектирования месторождений нефти и газа.

#### **Ключевые слова**

Метод вывода решений по прецедентам, метод аналогий, система поддержки принятия решений, экспертная система, интеллектуальная система, прецедент, извлечение прецедентов, моделирование месторождений нефти и газа, проектирование разработки месторождений нефти и газа.

**DOI: 10.21684/2411-7978-2019-5-3-147-163**

#### **Введение**

На сегодняшний день в мире изучено и разрабатывается достаточно большое число месторождений углеводородов (УВ), большая часть которых приходится на крупные залежи с традиционными коллекторами. Традиционными коллекторами являются нефтегазоносные пласты, освоение которых началось еще во второй половине XX столетия. Разработка таких пластов, как правило, не осложнена их геологическим строением или свойствами насыщающих флюидов. Однако постепенное истощение традиционных запасов постоянно требует разведки и освоения новых объектов разработки.

Сегодня на смену традиционным коллекторам приходят залежи со сложным геологическим строением, низкопроницаемые объекты трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ), объекты ТРИЗ с высоковязкой нефтью, шельфовые залежи УВ и т. п. Разработка подобных объектов требует значительных капитальных затрат, поэтому компании-недропользователи уделяют все больше внимания такому проектированию разработки и обустройства месторождений, при котором на самых ранних этапах создаются новые технические, технологические, организационные решения, способные повысить рентабельность нефтедобычи [5].

Сложность изучения нефтегазоносных пластов заключается в наличии неопределенности, а именно: нельзя точно изучить свойства объекта в межскважинном пространстве. Знания об объекте разработки всегда пополняются в ходе его эксплуатации.

На этапе разведки и пробной эксплуатации перед компаниями стоит задача извлечь максимально большой объем знаний, необходимый для того, чтобы оценить перспективы самого объекта, составить проектную документацию и начать реализацию проектного решения.

Поиск оптимального проектного решения предполагает рассмотрение множества вариантов разработки и обустройства месторождения.

На практике специалисты при поиске решений опираются на прошлый опыт, выбирая известные объекты-аналоги с уже готовыми решениями. Эти решения применяются к новому изучаемому объекту, после чего проводится оценка их эффективности для новых условий.

Подбор объекта-аналога — это слабоформализованная процедура, основанная на анализе многих условий и оценке схожести сравниваемых объектов. Результат такой процедуры во многом зависит от опыта и компетентности специалиста или эксперта, который занимается поиском объектов-аналогов. При этом зачастую на поиск тратится значительное время, а полученные результаты не являются гарантированно лучшими среди возможных.

В области искусственного интеллекта для автоматизации поиска и принятия решений на основе аналогий разработан и эффективно используется метод, который получил название вывода решений на основе прецедентов, или, как представлено в зарубежной литературе, *case based reasoning (CBR)* [3, с. 45-47].

Он не только позволяет объективизировать процесс отбора объектов-аналогов, но и служит основой для построения баз знаний, а также разработки интеллектуальных советующих систем, которые быстро и с экспертной квалификацией способны находить рациональные решения для вновь возникающих ситуаций и объектов.

Данная работа посвящена применению CBR как инструмента поддержки принятия ключевых решений при моделировании нефтегазовых месторождений.

### **Метод вывода решений по прецедентам**

#### *История метода*

В течение 70-х и 80-х гг. XX в. исследования в области искусственного интеллекта (ИИ) были направлены на создание экспертных систем (ЭС). Особенностью ЭС стало использование базы эмпирических, слабоформализованных знаний, с помощью которых компьютерная система могла на уровне эксперта решать трудные и практические важные задачи предметной области. Такие системы стали выступать в качестве «интеллектуальных усилителей» специалистов, инженеров, менеджеров, помогая им в поиске решений профессиональных задач. Ключевой для построения ЭС стала проблема выявления и представления в компьютере экспертных знаний, для чего были разработаны несколько моде-

лей (продукционная, фреймы, семантические сети и т. п.), и в связи с этим возникла самостоятельная прикладная дисциплина — инженерия знаний (ИЗ). Несмотря на собственные методы и приемы ИЗ, оказалось, что сама проблема выявления и формализации знаний с помощью традиционных моделей на практике приводит к весьма высокой трудоемкости процессов создания прикладных ЭС. В то же время было замечено, что на практике при возникновении новой задачи лицо, принимающее решение (ЛПР), или эксперт в своей работе зачастую опирается на собственный прошлый опыт: анализирует подобные случаи из своей же практики, вспоминает уже реализованные решения и адаптирует их применительно к текущей задаче [1, с. 636; 3, с. 45-47]. Этот подход и был положен в основу CBR как метода поиска решений на основе опыта решения предыдущих проблем или прецедентов.

Теоретической основой для CBR послужила работа Р. Шенка и Р. Абельсона «Сценарии, планы, цели и понимание: исследование структур человеческого знания» (1977), которая посвящена проблемам организации памяти и представления знаний. В начале 80-х гг. прошлого столетия Р. Шенк продолжил работу над динамической моделью памяти и моделью рассуждений на основе прецедентов. Полученная модель легла в основу первой CBR-системы CYRUS, которую реализовала Дж. Колондер [14]. Далее полученные результаты легли в основу многих CBR-систем, которые нашли свое применение в экономике, юриспруденции, медицине, технических отраслях, поиске решения проблемных ситуаций и т. д.

Стоит отметить, что примерно в это же время отечественными учеными в области искусственного интеллекта, в частности Ю. Н. Клыкковым, Д. А. Поспеловым, был разработан метод ситуационного управления сложными объектами [6, 8, 9], в котором реализована очень похожая идея — выбор рационального управляющего воздействия происходит на основе сравнения текущей ситуации с другими, известными в базе знаний, каждой из которых уже сопоставлено ранее найденное решение.

На сегодняшний день область применения CBR-систем продолжает расширяться [3, с. 45-47].

#### *CBR-метод*

Метод CBR включает в себя цикл, состоящий из трех основных этапов: поиск и отбор, повторное использование и сохранение (рис. 1).

Новая задача, проходя по циклу CBR, на каждом этапе взаимодействует с базой прецедентов, которая представляет собой множество прецедентов одного типа с новой задачей. Каждый прецедент *CASE* представляет собой условие *Sit* и решение *R*:  $CASE = \langle Sit, R \rangle$  [4].

На этапе поиска и отбора происходит выборка из базы прецедентов случая (или случаев), наиболее схожего для новой задачи. Далее производится попытка повторного использования готового решения для новой задачи. На завершающей стадии CBR-цикла производится сохранение нового прецедента в базу для дальнейшего использования [3, с. 47-48].

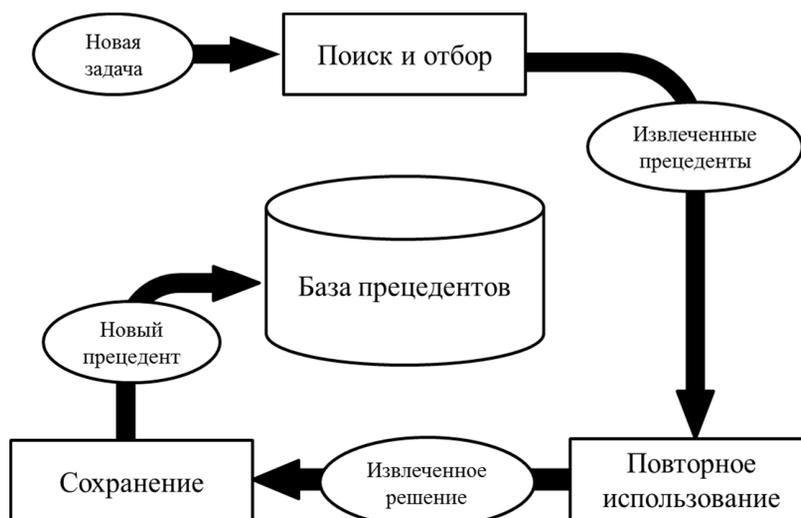


Рис. 1. CBR-цикл

Fig. 1. CBR-cycle

#### Методы извлечения прецедентов

На первой стадии CBR-цикла необходимо выделить в базе прецедентов именно те, которые являются наиболее схожими с текущим прецедентом. Существует целый ряд методов извлечения прецедентов, их сочетаний и модификаций. Основными методами являются: метод ближайшего соседа, метод на основе деревьев решения, метод на основе знаний, метод извлечения на основе применимости прецедентов. Использование того или иного метода извлечения зависит от того, каким образом представлены прецеденты в базе [1, с. 637; 3, с. 49].

Метод ближайшего соседа (nearest neighbor, или NN) является наиболее простым и часто используемым методом сравнения и извлечения прецедентов. Для вычисления степени сходства между прецедентами из базы и текущим прецедентом вводится метрика. На основе множества параметров, которыми обладают прецеденты, с помощью метрики определяется расстояние между двумя точками: текущим, прецедентом и прецедентом из базы. Основные преимущества данного метода — это простота реализации и то, что метод не зависит от специфики конкретной предметной области. Основными недостатками являются сложность выбора метрики, невозможность работы с неполным набором данных и требование значительных вычислительных мощностей при работе с большой базой прецедентов [1, с. 637; 3, с. 49].

Метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений представляет собой проверку тех или иных параметров прецедента на определенное условие, которое включено в вершину дерева. Вершины дерева на основе информации о текущей задаче указывают, по какой дальнейшей ветви следует продолжать поиск. Конечной вершиной в данном дереве будет являться прецедент, схожий

с текущим или множество прецедентов. Данный метод наилучшим образом подходит для работы с большими базами прецедентов [3, с. 49-50].

Метод извлечения прецедентов на основе знаний позволяет учитывать знания ЛПР и экспертов в конкретной предметной области. В методе реализован подход к ранжированию прецедентов и определению важности параметров самих прецедентов с помощью их весовых коэффициентов, которые могут быть заданы ЛПР и экспертами.

Сложность реализации метода заключается в трудоемкой процедуре ранжирования прецедентов при расширении их базы. Метод может быть использован в совокупности с другими методами, что позволит ускорить процесс принятия решения при работе с большой базой прецедентов [3, с. 50].

Метод извлечения прецедентов с учетом их применимости является дополнением к существующим методам. В данном методе решение схожих прецедентов может быть использовано, если оно применимо к текущему случаю. Применимость прецедента — это возможность получения положительного результата в тех условиях, в которых решается задача [3, с. 50].

### **Применение СВР в нефтегазовой отрасли**

#### *Существующий опыт применения СВР*

Процедуры принятия решений в нефтегазовой отрасли сопровождаются технологическими и бизнес-процессами. Решения, принимаемые в технологических процессах, в большинстве случаев основаны на накопленном опыте. Данное обстоятельство свидетельствует о возможности и необходимости внедрения СВР-систем.

Применение СВР-метода в нефтегазовой отрасли началось в конце 90-х гг. XX в. Первая работа написанная П. Скалли в 1998 г. [20], была посвящена планированию гидроразрыва пласта (ГРП) с помощью СВР. В 1999 г. Р. Ирриганг опубликовал работу об оптимизации бурения скважин на суше с помощью СВР [13]. Развитие его идей продолжили П. Перри в 2004 г. и С. Кравис в 2005 г. В своей работе С. Кравис также затронул тему прогнозирования аварий при бурении, т. е. объединил использование СВР для планирования и мониторинга технических процессов [15, 18]. В 2001 г. Дж. Мендес изучил вопрос о планировании бурения скважин на шельфовых залежах [17].

Более поздние труды посвящены проектированию разработки и оценке запасов УВ с помощью объектов-аналогов, которыми являются схожие по своим свойствам объекты разработки. В 2006 г. Дж. Ходжин рассмотрел возможность определения петрофизических свойств и запасов УВ с помощью СВР [12]. Подобную работу проделал Р. Сидл в 2010 г. [19]. В 2013 г. С. Дурсун и Д. Темизель рассматривают модель СВР-системы для принятия решения в проектировании разработки. В своей работе авторы рекомендуют использовать метод ближайшего соседа с выбором пяти ближайших прецедентов. При этом в работе реализовано два подхода: 1) одновременное вычисление мер схожести прецедентов по качественным и количественным параметрам; 2) последовательное вычисление мер схожести сначала на основе качественных, а затем количественных

параметров и наоборот. Основная проблема предложенных подходов — это выбор метрики, т. к. от него зависит результат [10, с. 3-18].

В работах отечественных авторов на основе прецедентного подхода также были предложены решения ряда задач для нефтегазовой отрасли:

- создание корпоративных проблемно-ориентированных баз знаний для планирования и проведения геолого-технических мероприятий (ГТМ) [11];
- поддержка принятия решений при управлении трубопроводными системами [2];
- мониторинг состояния промысловых нефтепроводов [7];
- предотвращение нештатных ситуаций на газоперекачивающих агрегатах компрессорных станций [16].

#### *Представление прецедента в разработке месторождений*

Любой объект разработки имеет численные и качественные характеристики, которые можно разделить на следующие группы: свойства породы, геологические характеристики, географические характеристики, инженерно-технические свойства, свойства флюидов [10, с. 3] (таблица 1).

Таблица 1

**Перечень параметров объекта разработки**

Table 1

**List of productive formation properties**

Свойства породы	Геологические свойства	Географические характеристики	Инженерно-технические свойства	Свойства флюидов
1	2	3	4	5
Пористость, д. ед.	Преобладающая литология	Расстояние между объектами по латерали, м	Средняя глубина залегания, м	Плотность нефти в ст. у. т/м <sup>3</sup>
Проницаемость, мД	Тип коллектора	Принадлежность к региону	Начальное пластовое давление, бар	Плотность пластовой воды в ст. у. т/м <sup>3</sup>
Анизотропия, д. ед.	Геологический возраст	—	Начальная пластовая температура	Плотность газа в ст. у. т/м <sup>3</sup>
Общая мощность, м	Обстановка осадко-накопления	—	Наличие данных МДИП	Минерализация пластовой воды, г/л
Эффективная мощность, м	Непрерывность/расчлененность	—	Средний входной дебит добывающей скважины, т/сут.	Начальное газосодержание, ст. м <sup>3</sup> /ст. м <sup>3</sup>

Окончание таблицы 1

Table 1 (end)

1	2	3	4	5
Коэффициент песчаности, д. ед.	Тип флюидального контакта	—	Плотность сетки скважин, Га/скв.	Вязкость нефти, сПз
Насыщенность УВ, д. ед.	Продуктивная мощность, м	—	Режим работы залежи	Вязкость воды, сПз
Тип/кол-во керновых исследований	Наличие данных сейсморазведки (2D/3D)	—	Система разработки и заводнения	Вязкость газа, сПз
Тип/кол-во ГИС	—	—	Соотношение добывающих скважин к нагнетательным	Наличие глубинных проб флюида
—	—	—	Начальные запасы УВ, тыс. т или м <sup>3</sup>	—
—	—	—	Коэффициенты извлечения УВ, д. ед.	—
—	—	—	Целевой продукт добычи (нефть, газ, газоконденсат)	—

Примечания: ГИС — геофизические исследования скважин; ВНК — водо-нефтяной контакт; ГВК — газовойодный контакт; ГНК — газонефтяной контакт, МДИП — модульный динамический испытатель пластов.

Notes: ГИС — logging; ВНК — water-oil contact (WOC); ГВК — gas-water contact (GWC); ГНК — gas-oil contact (GOC), МДИП — modular formation dynamics tester (MDT).

В таблице 1 в каждой группе представленных параметров присутствуют численные и качественные характеристики, причем среди качественных характеристик также присутствуют параметры, характеризующие степень изученности объекта. Разный тип параметров должен быть учтен во время извлечения прецедентов из базы.

Каждый прецедент в базе знаний *CASE* со множеством параметров *Sit* и множеством ключевых решений для моделирования  $R = \{r_1, r_2, r_3\}$ . Множество  $Sit = \{Y; X\}$  состоит из подмножеств качественных параметров  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  и численных  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ . Каждый элемент множеств  $X$ ,  $Y$  и  $R$  имеет непустое значение.

- Ключевые решения для моделирования можно разделить на следующие группы:
- $r_1$ : получение функциональных зависимостей вида «кern — kern» и «кern — ГИС» для оценки фильтрационно-емкостных свойств объекта;
  - $r_2$ : выбор алгоритмов построения математических моделей (ММ), входящих в состав геологической модели (ГМ);
  - $r_3$ : выбор типов ММ, входящих в состав гидродинамической модели (ГДМ).

Также из объектов-аналогов может быть извлечена недостающая информация для нового объекта.

Т. к. прецеденты в базе являются объектами разработки, то им свойственны следующие особенности:

- 1) прецеденты в базе являются динамическими, т. е. информация о каждом прецеденте и его ключевые решения обновляются по мере изучения объекта разработки в ходе его эксплуатации и дополнительного исследования;
- 2) прецеденты в базе могут обладать неполным набором собственных параметров, которые могут быть получены в ходе исследования объекта, значения пустых параметров наследуются от объектов-аналогов;
- 3) новым объектом является объект разработки, еще не запущенный в промышленную эксплуатацию, т. е. объект с пустым или неполным множеством решений.

Данные особенности необходимо учитывать для корректной работы CBR-системы.

Таким образом, CBR-система способна решать задачи трех типов: поиск решения для новой задачи; восстановление исходной информации новой задачи; обновление решений для прецедентов, хранящихся в базе (актуализация базы).

#### *Концепция использования CBR-цикла для создания ГМ и ГДМ*

Исходя из представления о прецедентах, поиск объектов-аналогов можно производить несколькими подходами:

- ранжирование базы прецедентов по качественным характеристикам с последующим ранжированием прецедентов по численным характеристикам;
- создание определенных классов внутри базы прецедентов, выбор класса прецедентов с помощью дерева решений и ранжирование прецедентов внутри выбранного класса по численным характеристикам.

На вход в CBR-систему (рис. 2) поступает новая задача  $CASE_{new}(Y; X; R)$ , причем множества  $Y$  и  $X$  могут быть неполными, но обязательно не должны быть пустыми. Множество решений  $R$  на входе в систему является неполным или пустым.

В первом подходе для разделения базы прецедентов на классы необходимо ввести метрику проверки однозначного соответствия качественных параметров новой задачи  $y_i$  и  $k$ -ого прецедента базы  $y_i^k$ :

$$F_k = \sum_{i=1}^n f(y_i; y_i^k); \quad (1)$$

$$f(y_i; y_i^k) = \begin{cases} 0, & y_i \neq y_i^k, \\ 1, & y_i = y_i^k. \end{cases} \quad (2)$$

Разделение базы прецедентов на классы относительно новой задачи выполняется как группировка прецедентов с одинаковыми значениями  $F_k$ . Для ранжирования по степени схожести предпочтительным является класс прецедентов, которому соответствует  $F_k \rightarrow \max$ .

Во втором подходе использование метода дерева решений требует изначального разделения базы прецедентов на классы, которым будут соответствовать определенные наборы качественных параметров  $y_i$ . Для определения необходимого класса прецедентов качественные параметры новой задачи подвергаются последовательной проверке на тождественное равенство тем или иным значениям. В случае, если какой-либо параметр  $y_i$  отсутствует у новой задачи, то необходимо выделить из базы те классы, которым соответствуют непустые значения параметров  $y_i$ . Т. к. база прецедентов является достаточно большой, то предпочтительный метод — это метод дерева решений, который ускоряет процесс извлечения прецедентов.

В случае работы с качественными параметрами следует сделать допущение: т. к. прецеденты могут иметь неполный набор собственных параметров, то те параметры множества  $Y$ , которые были получены от объектов-аналогов, следует

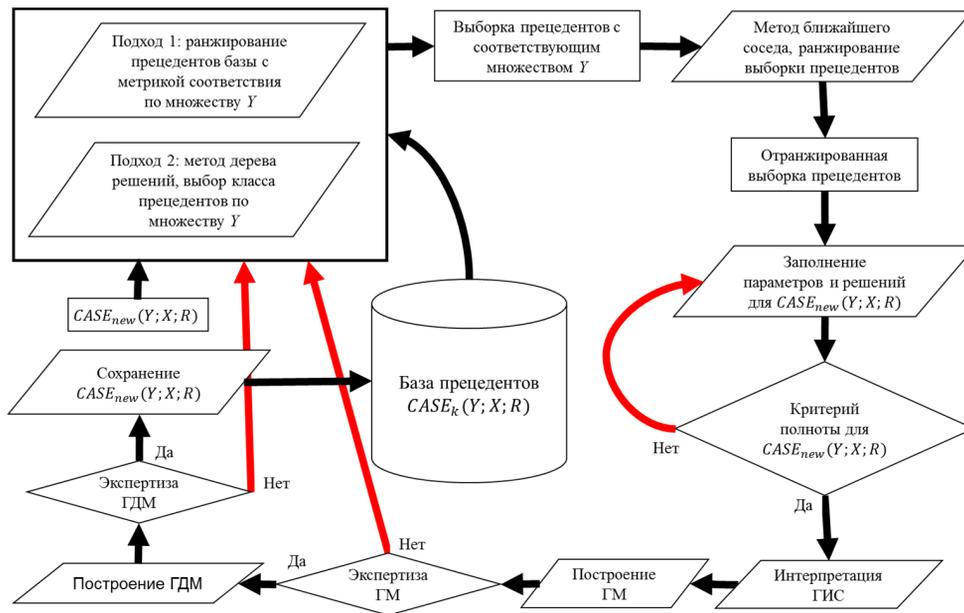


Рис. 2. CBR-цикл поддержки принятия решений при моделировании месторождений нефти и газа

Fig. 2. CBR-cycle of decision making maintenance for oil and gas fields modelling

считать собственными. Данное допущение используется в практике и не является критичным, т. к. определение параметров множества  $Y$  с помощью объектов-аналогов происходит с высокой степенью достоверности.

Полученный класс (или совокупность классов) прецедентов следует ранжировать с помощью метода ближайшего соседа по следующим критериям:

- 1) прецедент из базы должен быть максимально изучен, т. е. иметь максимальное число собственных параметров;
- 2) прецедент из базы должен обладать максимальной степенью схожести с новой задачей.

Ранжирование прецедентов по критериям следует производить именно в том порядке, в котором они представлены, и по убыванию. Метод ближайшего соседа нельзя использовать при неполном наборе входных данных, однако для оценки степени схожести между объектами можно использовать только тот набор параметров, который есть в наличии у новой задачи. Для оценки меры схожести между новой задачей и прецедентом необходимо использовать относительные величины для новой задачи  $x_i / x_i = 1$  и для  $k$ -ого прецедента класса  $x_i^k / x_i$ , где  $x_i^k$  — численный параметр  $k$ -ого прецедента. Оценка схожести новой задачи и  $k$ -ого прецедента выполняется с помощью выбранной метрики. Эвклидова метрика в данном случае будет выражена следующим образом [1, с. 637]:

$$d_k = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i \left(1 - \frac{x_i^k}{x_i}\right)^2}, \quad (3)$$

где  $d_k$  — нормированное расстояние между новой задачей и  $k$ -ым прецедентом;  $w_i$  — весовой коэффициент параметра  $x_i$ , характеризующий наличие у новой задачи параметра  $x_i$ .

Так же могут быть использованы:

— манхэттенская метрика [3, с. 51]:

$$d_k = \sum_{i=1}^m w_i \left|1 - \frac{x_i^k}{x_i}\right|; \quad (4)$$

— метрика Журавлева [3, с. 51]:

$$d_k = \sum_{i=1}^m w_i I\left(\left|1 - \frac{x_i^k}{x_i}\right|\right), \quad (5)$$

$$I\left(\left|1 - \frac{x_i^k}{x_i}\right|\right) = \begin{cases} 0, & \left|1 - \frac{x_i^k}{x_i}\right| \geq \delta, \\ 1, & \left|1 - \frac{x_i^k}{x_i}\right| < \delta, \end{cases} \quad (6)$$

где  $\delta$  — допустимая доля отклонения параметра  $x_i^k$  от  $x_i$ .

Весовой коэффициент  $w_i$  определяется следующим образом:

$$w_i = \begin{cases} 0, & x_i \text{ не известен,} \\ 1, & x_i \text{ известен.} \end{cases} \quad (7)$$

Весовые коэффициенты  $w_i^k$  для численных параметров прецедентов в базе определяются аналогично  $w_i$ , но не по признаку их наличия, а по признаку их фактической изученности, т. е. параметр был изучен в ходе исследований, а не принят по объекту-аналогу.

Для объектов-аналогов, которые могут быть выбраны с помощью метода ближайшего соседа, критерии ранжирования формулируются следующим образом:

- 1)  $\sum_{i=1}^m w_i^k \rightarrow \max$ , максимальная изученность прецедента;
- 2)  $d_k^2 \rightarrow \min$ , максимальная схожесть  $k$ -ого прецедента с новой задачей.

В практике объектов-аналогов может быть несколько или один. Для того чтобы извлечь из отранжированной выборки достаточное число прецедентов, необходимо ввести критерий полноты нового объекта. Данный критерий является проверкой на наличие в множествах  $X$ ,  $Y$  и  $R$  новой задачи пустых элементов. Критерий полноты следует считать выполненным, когда у новой задачи в множествах  $X$ ,  $Y$  и  $R$  не останется элементов с неприсвоенным значением.

Для этого необходимо последовательное обращение к отранжированной выборке. Пустые элементы множеств  $Y$  и  $R$  у новой задачи могут быть получены при первом обращении к выборке, что справедливо в случае принятого допущения для элементов множества  $Y$  и наличия у всех прецедентов в базе заполненного множества  $R$ . Заполнение пустых элементов множества  $X$  начинается с первого обращения к выборке и продолжается до тех пор, пока в множестве  $X$  не останется пустых элементов. От ближайших соседей в выборке новая задача наследует только те параметры  $x_i^k$ , для которых  $w_i^k = 1$ .

Таким образом, после выполнения критерия полноты полученный новый прецедент с его набором параметров и решений подлежит проверке. Проверкой в данном случае является экспертиза построения ГМ и ГДМ. В случае, если проверка не пройдена, необходимо снова выполнить весь цикл, отбросив используемые в предыдущем цикле как объекты-аналоги, так и прецеденты.

В случае успешной проверки правильности выбора объектов-аналогов цикл завершается сохранением нового прецедента в базу.

### Заключение

На сегодняшний день поиск объектов-аналогов остается важным инструментом в практике принятия решений при проектировании разработки нефтяных и газовых месторождений. Выбор объектов-аналогов в значительной степени влияет на принимаемые решения на всех стадиях жизни месторождения. Моделирование месторождений углеводородов является одной из основных частей

проектной работы, и решения, принимаемые в ходе моделирования, также зависят от выбора объекта-аналога.

Однако сам результат поиска и выбора аналогов во многом зависит от опыта, компетентности и субъективных предпочтений специалистов, экспертов и ЛПР, участвующих в этом процессе. Предлагаемый подход позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, объективизировать процесс принятия решения, поскольку предполагает использование строго формализованной процедуры с количественным обоснованием схожести сравниваемых объектов и рассмотрением всех доступных в базе прецедентов. Последнее является еще одним преимуществом использования СВР-системы, т. к. при традиционном подходе человеческого ресурса, как правило, не хватает, чтобы произвести исчерпывающий поиск и анализ всех возможных аналогов для принятия решений.

На данный момент уже существует представление о месторождении углеводородов как о прецеденте. В работе предложена концепция СВР-системы как инструмента принятия решений для создания ГМ и ГДМ. Опробование подобной системы следует производить как проверку согласованности решений, предложенных системой и экспертами.

Кроме того, инструмент поддержки принятия решений в виде СВР-системы и базы месторождений-прецедентов может быть задействован на всех стадиях проектирования разработки месторождений, где необходим выбор объекта-аналога, а не только при моделировании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева А. А. Математические методы интеллектуального анализа данных и вывода по прецедентам / А. А. Алексеева, М. А. Тараник // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов III Международной научной конференции: в 2 ч. Томск: Изд-во ТПУ, 2016. Ч. 1. С. 636-639.
2. Башлыков А. А. Применение методов теории прецедентов в системах поддержки принятия решений при управлении трубопроводными системами / А. А. Башлыков // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2016. № 1. С. 23-32.
3. Варшавский П. Р. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / П. Р. Варшавский, А. П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45-57.
4. Глухих И. Н. Представление знаний и вывод решений в ситуационных базах знаний / И. Н. Глухих // Вестник Тюменского государственного университета. 2006. № 5. С. 265-270.
5. Извлечь нельзя оставить // Электронный журнал «Стратегия». URL: <http://strategyjournal.ru/articles/izvlech-nelzya-ostavit/> (дата обращения: 24.06.2019).
6. Клыков Ю. Н. Ситуационная модель управления большой системой / Ю. Н. Клыков // Изв. АН СССР. Тех. кибернетика. 1970. № 6. С. 17-25.

7. Кузяков О. Н. Интеллектуальный мониторинг состояния промыслового нефтепровода с выводом решений на основе прецедентов / О. Н. Кузяков, И. Н. Глухих, И. В. Гапанович // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2019. № 3. С. 31-36. DOI: 10.33285/0132-2222-2019-3(548)-31-36
8. Поспелов Д. А. Логико-лингвистические модели в системах управления / Д. А. Поспелов. М.: Энергоатомиздат, 1981. 232 с.
9. Поспелов Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. М.: Наука, 1986. 288 с.
10. Dursun S. Efficient use of methods, attributes, and case-based reasoning algorithms in reservoir analogue techniques in field development / S. Dursun, C. Temizel // SPE Digital Energy Conference (5-7 March 2013, The Woodlands, Texas, USA). SPE-163700-MS. DOI: 10.2118/163700-MS
11. Gluhih I. N. Situational models in corporative knowledge base on geological-technical measures' know-how / I. N. Gluhih, V. N. Piankov, A. R. Zabolotnov // Neftyanoe khozyaystvo — Oil Industry. 2002. Vol. 6. P. 45.
12. Hodgins J. E. The selection, application, and misapplication of reservoir analogs for the estimation of petroleum reserves / J. E. Hodgins, D. R. Harrell // SPE Annual Technical Conference and Exhibition (24-27 September 2006, San Antonio, Texas, USA). SPE-102505-MS. DOI: 10.2118/102505-MS
13. Irrgang R. A case-based system to cut drilling costs / R. Irrgang, C. Damski, S. Kravis, E. Maidla, K. Millheim // SPE Annual Technical Conference and Exhibition (3-6 October 1999, Houston, Texas). SPE-56504-MS. DOI: 10.2118/56504-MS
14. Kolodner J. L. An Introduction to case-based reasoning / J. L. Kolonder // Artificial Intelligence Review. 1992. № 6. Pp. 3-34. DOI: 10.1007/BF00155578
15. Kravis S. I. A case based system for oil and gas well design with risk assessment / S. I. Kravis // Applied Intelligence. 2005. Vol. 23. № 1. Pp. 39-53. DOI: 10.1007/s10489-005-2371-7
16. Kuzyakov O. N. Case-based reasoning approach for automating control of gas-compressor unit within gas-compressor station / O. N. Kuzyakov, I. N. Gluhih, M. A. Andreeva // IOP Conference Series: Journal of Physics. 2018. Vol. 1059. Article 012023. DOI: 10.1088/1742-6596/1059/1/012023
17. Mendes J. R. P. Case-based system: indexing and retrieval with fuzzy hypercube / J. R. P. Mendes, I. R. Guilherme, C. K. Morooka // Joint 9<sup>th</sup> IFSA World Congress and 20<sup>th</sup> NAFIPS International Conference. Vancouver, 2001. DOI: 10.1109/NAFIPS.2001.944709
18. Perry P. B. A case based knowledge repository for drilling optimization / P. B. Perry, D. A. Curry, J. D. Kerridge, J. Lawton, D. Bowden, A. N. Flett // IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition (13-15 September 2004, Kuala Lumpur, Malaysia). SPE-87994-MS. DOI: 10.2118/87994-MS
19. Sidle R. An update on the use of reservoir analogs for the estimation of oil and gas reserves / R. Sidle, W. J. Lee // SPE Economics & Management. 2010. Vol. 2. № 2. Pp. 80-85. DOI: 10.2118/129688-PA
20. Skalle P. Case-based reasoning, a method for gaining experience and giving advise on how to avoid and how to free stuck drill strings / P. Skalle, A. Aamodt, J. Sveen // IADC Middle East Drilling Conference. Dubai, 1998.

**Igor N. GLUKHIKH<sup>1</sup>**  
**Dmitry V. NIKIFOROV<sup>2</sup>**

UDC 519.816

## **DECISION MAKING FOR MODELING OF OIL AND GAS FIELDS BY USING CASE-BASED REASONING**

<sup>1</sup> Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
Head of Information Technology Department,  
University of Tyumen  
igluhih@utmn.ru; ORCID: 0000-0002-0683-6138

<sup>2</sup> Postgraduate Student,  
Information Technology Department,  
University of Tyumen  
dimonnikiforov@hotmail.com; ORCID: 0000-0003-0650-6056

### **Abstract**

This article describes a case-based reasoning (CBR) method as a decision-making tool in modeling oil and gas fields, its existing and potential application in the industry. The main direction for the application of the CBR method is the search for analogous objects for the design of oil and gas field development. The current engineering practice involves a vaguely formalized method of analogies, which does not allow defining the object as much as possible authentically the analogue that does not cause errors. The analogue object serves not only as a source of ready-made near optimal design solutions, but also as additional information about the object of development and key decisions in modeling hydrocarbon fields.

This paper considers the CBR method as the main tool for finding analogue objects, the main methods of extracting precedents from the database, and gives an idea of the object of development as a precedent. Proceeding from the peculiarities of presenting the object of development as a precedent and the peculiarities of applying the methods of extracting precedents, the authors have developed the concept of searching for analogue objects. In its implementation, it will allow for a different degree of information content of precedents stored

---

**Citation:** Glukhikh I. N., Nikiforov D. V. 2019. "Decision making for modeling of oil and gas fields by using case based reasoning". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 5, no 3, pp. 147-163.

DOI: 10.21684/2411-7978-2019-5-3-147-163

in the database and will accelerate the procedure of extracting precedents from the database. The principal novelty is that the presented conceptual scheme allows using the methods of extracting precedents in the conditions of insufficient input data, which is important for the design of oil and gas fields.

### **Keywords**

Case-based reasoning, CBR, analogue techniques, decision making support system, expert system, intelligent system, case, case extracting, modelling of oil and gas fields, design of oil and gas fields development.

**DOI: 10.21684/2411-7978-2019-5-3-147-163**

### **REFERENCES**

1. Alekseeva A. A., Taranic M. A. 2016 “Mathematical methods of intelligent data analysis and output on the case based reasoning”. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Research Conference “Information technology in science, management, social sphere and medicine” in 2 vols. Vol. 1, pp. 636-639. Tomsk. [In Russian]
2. Bashlikov A. A. 2016. “Application of case theory methods in decision making system for pipeline system management”. Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry, no 1, pp. 23-32. [In Russian]
3. Varshavskiy P. R., Ereemeev A. P. 2009. “Modelling of decision making based on case based reasoning in intelligence system of decision making maintenance”. Artificial Intelligence and Decision Making, no 2, pp. 45-57. [In Russian]
4. Glukhikh I. N. 2006. “Knowledge application and reasoning in situational knowledge base”. Tyumen State University Herald, no 5, pp. 265-270. [In Russian]
5. Strategy. “Recover must not leave”. Accessed 24 June 2019. <http://strategyjournal.ru/articles/izvlech-nelzya-ostavit/> [In Russian]
6. Klikov U. N. 1970. “Situational models big system management”. *Izvestia Akademii nauk USSR. Tekhnicheskaya kybernetika*, no 6, pp. 17-25. [In Russian]
7. Kuzyakov O. N., Glukhikh I. N., Gapanovich I. V. 2019. “Intelligent tracking of oil pipeline status with case-based reasoning”. Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry, no 3, pp. 31-36. DOI: 10.33285/0132-2222-2019-3(548)-31-36 [In Russian]
8. Pospelov D. A. 1981. Logical-Linguistic Model in Management Systems. Moscow: Energoatomizdat. [In Russian]
9. Pospelov D. A. 1986. Situational Management. Theory and Practice] Moscow: Nauka. [In Russian]
10. Dursun S., Temizel C. 2013. “Efficient use of methods, attributes, and case-based reasoning algorithms in reservoir analogue techniques in field development”. SPE Digital Energy Conference (5-7 March, Woodlands, Texas, USA). SPE-163700-MS. DOI: 10.2118/163700-MS
11. Glukhikh I. N., Piankov V. N., Zabolotnov A. R. 2002. “Situational models in corporative knowledge base on geological-technical measures’ know-how”. *Neftyanoe khozyaystvo — Oil Industry*, vol. 6, p. 45.

12. Hodgin J. E., Harrell D. R. 2006. "The selection, application, and misapplication of reservoir analogs for the estimation of petroleum reserves". SPE Annual Technical Conference and Exhibition (24-27 September, San Antonio, Texas, USA). SPE-102505-MS. DOI: 10.2118/102505-MS
13. Irrgang R., Damski C., Kravis S., Maidla E., Millheim K. 1999. "A case-based system to cut drilling costs ". SPE Annual Technical Conference and Exhibition (3-6 October, Houston, Texas). SPE-56504-MS. DOI: 10.2118/56504-MS
14. Kolodner J. L. 1992. "An Introduction to case-based reasoning". *Artificial Intelligence Review*, no 6, pp. 3-34. DOI: 10.1007/BF00155578
15. Kravis S. I. 2005. "A case based system for oil and gas well design with risk assessment". *Applied Intelligence*, vol. 23, no 1, pp. 39-53. DOI: 10.1007/s10489-005-2371-7
16. Kuzyakov O. N., Glukhikh I. N., Andreeva M. A. 2018. "Case-based reasoning approach for automating control of gas-compressor unit within gas-compressor station". *IOP Conference Series: Journal of Physics*, vol. 1059, art. 012023. DOI: 10.1088/1742-6596/1059/1/012023
17. Mendes J. R. P., Guilherme I. R., Morooka C. K. 2001. "Case-based system: indexing and retrieval with fuzzy hypercube". In: *Joint 9<sup>th</sup> IFSA World Congress and 20<sup>th</sup> NAFIPS International Conference*. Vancouver. DOI: 10.1109/NAFIPS.2001.944709
18. Perry P. B., Curry D. A., Kerridge J. D., Lawton J., Bowden D., Flett A. N. 2004. "A case based knowledge repository for drilling optimization". *IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition (13-15 September, Kuala Lumpur, Malaysia)*. SPE-87994-MS. DOI: 10.2118/87994-MS
19. Sidle R., Lee W. J. 2010. "An update on the use of reservoir analogs for the estimation of oil and gas reserves". *SPE Economics & Management*, vol. 2, no 2, pp. 80-85. DOI: 10.2118/129688-PA
20. Skalle P., Aamodt A., Sveen J. 1998. "Case-based reasoning, a method for gaining experience and giving advise on how to avoid and how to free stuck drill strings". *IADC Middle East Drilling Conference*. Dubai.