

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

УДК 551.7.02

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ И ПРОСЛЕЖИВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ГРАНИЦ ПЛАСТОВ В РАЗРЕЗАХ СКВАЖИН

Н.С. Бурлаков

*ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет
нефти и газа имени И.М. Губкина», г. Москва*

Рецензент канд. техн. наук, доцент Чен Син Э

Ключевые слова и фразы: геофизические исследования скважин; распознавание образов; сопоставление разрезов скважин.

Аннотация: Описан подход к решению задачи автоматического выделения и прослеживания структурных границ геологических пластов по данным геофизических исследований скважин. Приведено математическое описание предлагаемых методов и рассмотрены этапы работы программной системы. Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой точности автоматического прослеживания.

Выделение и прослеживание структурных границ пластов (корреляция разрезов скважин) является основополагающей составляющей изучения внутреннего строения залежи и моделирования любого геологического объекта. На результатах корреляции базируются все последующие процедуры создания статических геологических и гидродинамических двух- и трехмерных моделей залежей углеводородов.

Задачей корреляции является выделение в разрезе и прослеживание по площади одноименных стратиграфических комплексов, горизонтов и пластов, при этом основным источником данных для этого, как правило, являются каротажные диаграммы географического исследования скважин (ГИС). По сути, решается задача распознавания образов – нахождение образца участка сигнала каротажных диаграмм одной скважины на других. Основная трудность корреляции состоит в том, что геологическое строение и фациальный состав пласта может существенно меняться

Бурлаков Никита Сергеевич – аспирант кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование», e-mail: nsburlakov@gmail.com, ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина», г. Москва.

от скважины к скважине, поэтому сама процедура корреляции скважин обоснованно считается сложнейшей неформализованной задачей, требующей от промыслового геолога высокой квалификации и больших временных затрат.

Среди предлагаемых в настоящее время работ, посвященных решению этой задачи, можно выделить подход, основанный на принципе перспективного соответствия для каждого этажа залежи, описанный в [1], а также подходы, основанные на постороении триангуляционной сети скважин, предложенные в работах [2, 3]. Анализ существующих методов выявил, что они нуждаются в трудоемкой настройке к каждому новому набору входных данных, а также не учитывают ряд важных факторов, касающихся выбора исходной информации, адаптации применяемых методов в зависимости от геологической обстановки и информативности и качества входных данных.

В данной статье предлагается алгоритмическое описание программной системы сопоставления разрезов скважин. Входными данными для системы может служить множество n скважин W_n , на части которых отбивка пластов h_i уже была проставлена экспертом. В таком случае, скважину $w_j^{h_i}$, на которой уже имеется отметка пласта h_i , будем называть «обучающей». Скважины, на которых отбивка пласта отсутствует, будем называть «неизвестными». Рассмотрим подробнее этапы работы системы.

Этап 1. В случае отсутствия обучающих скважин программа предлагает свою систему разбивки на пласты месторождения. Для этого выбирается «опорная» скважина, с максимальной глубиной забоя и потенциально вскрывающая максимальное количество стратиграфических горизонтов. После чего по каротажам скважины высчитывается статистика D^2 . Для каждой точки каротажной кривой вычисляется среднее значение сигнала за d метров выше ME_1 и ниже ME_2 рассматриваемой точки, а также дисперсия Var_1 и Var_2 этих участков. Тогда

$$D^2 = \frac{(ME_1 - ME_2)^2}{Var_1 + Var_2}.$$

В местах резкого перепада средних значений каротажных кривых (то есть в потенциальных местах отбивок пластов) величина статистики D^2 будет иметь ярко выраженные пики, и такие места заносятся как начальные отбивки пластов. Затем скважина коррелируется с ближайшими k скважинами (см. этапы 4, 5). Если невязка корреляции меньше заданной, найденные отбивки утверждаются как система пластов месторождения и могут быть отредактированы экспертом.

Этап 2. Далее все каротажные кривые проходят процедуру классификации на применимость процедур системы, в ходе которой для каждой последовательности сигналов x_i i -го каротажа в окрестности ε известной отбивки h_j скважины $w_k \in W_n$ вычисляется коэффициент качества $q \in [0; 1]$ по каждому из нижеследующих критериев.

1. Критерий относительного отклонения статистических характеристик сигнала (например, математического ожидания и дисперсии):

$$\text{Dev}_M = \frac{|Mx_i| - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Mx_j}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Mx_j}, \quad \text{Dev}_D = \frac{|Dx_i| - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Dx_j}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Dx_j}.$$

В случае, если $Mx_i \rightarrow \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Mx_j$ и $Dx_i \rightarrow \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Dx_j$, то $q \rightarrow 1$, иначе $q \rightarrow 0$.

2. Критерий зашумленности сигнала по методу поворотных точек ($\eta_t = 1$, если точка поворотная, иначе -0 ; $\vartheta = \sum_{t=1}^{n-2} \eta_t$, ϑ^* – число поворотных точек). Вычисляется статистика Stat и величина зашумленности TP:

$$\text{Stat} = \frac{\vartheta^* - M\vartheta}{\sqrt{D\vartheta}}, \quad \text{TP} = \frac{|\text{Stat}| - 1,96}{|\text{Stat}|}.$$

В случае, если $\text{TP} \in [0; 1]$, то $q \rightarrow 0$, иначе $q \rightarrow 1$.

3. Введен критерий эффективности алгоритма: $\text{Eff}(\text{Alg}_i) \rightarrow [0; 1]$ при распознавании схожести участков сигналов из множества обучающих скважин, причем $q \rightarrow 1$ при $\text{Eff}(\text{Alg}_i) \rightarrow 1$, иначе $q \rightarrow 0$.

4. Также вводятся такие критерии качества, как идентичность шаблонов, масштабов, единиц измерения, частоты сэмпирования и области определения глубин каротажных кривых, формальное описание которых в данной работе опускается.

Этап 3. Пользователь обозначает список неизвестных скважин, перечень искомых отбивок пластов и выбирает методы ГИС для их поиска. Для каждой отбивки пласта, в соответствии с выбранной неизвестной скважиной, методом ГИС и текущим алгоритмом распознавания схожести, вычисляются критерии качества для k соседних обучающих скважин (см. этап 2), в результате чего выбираются $m \leq k$ скважин с максимальными показателями качества q .

Этап 4. Отобранные на этапе 3 скважины используются для поиска отбивки h_s на текущей неизвестной скважине. Для этого берется участок сигнала x_i i -го каротажа в окрестности ϵ известной отбивки h_s отобранной обучающей скважины и ищется схожий участок на неизвестной скважине. Для этого используются различные алгоритмы распознавания схожести, среди которых можно выделить коэффициент корреляции Пирсона, ранговый коэффициент корреляции Спирмена, евклидову метрику, алгоритм Dynamic Time Warping (учитывающий сжатие/расширение пласта), анализ спектральных плотностей сигналов, нейросетевую регрессию, а также ряд других алгоритмов. После чего отбирается p точек кривой, получивших максимальное значение коэффициента схожести больше порогового

по всем алгоритмам. Такие точки будем называть *корреляционными гипотезами*.

Этап 5. Найденные на этапе 4 корреляционные гипотезы проходят процедуру верификации. Для этого по критериям, описанным на этапе 2, выбирается множество проверочных скважин r : $r \cap m = \emptyset$, из множества обучающих скважин, с наибольшим коэффициентом качества q для текущей неизвестной скважины, указанного типа ГИС и заданной отбивки. После чего проверяется согласованность гипотезы по множеству проверочных скважин, выраженная в максимальном коэффициенте схожести между участками сигналами $x_i \in h_j$ каждой проверочной и текущей неизвестной скважиной. В случае недостаточного качества проверочных скважин, процедура согласования может проходить по неизвестным скважинам, аналогично подходам, описанным в [2, 3], но в отличие от них, скважины выбираются не по триангуляционной сети, а в соответствии с критериями, описанными на этапе 2. Согласованная гипотеза, получившая минимальную величину невязки и максимальный коэффициент схожести, принимается как окончательная найденная отбивка пласта.

Этап 6. Полученные на предыдущих этапах согласованные гипотезы заносятся в список обучающих отбивок скважин, после чего используются при дальнейшем сопоставлении разрезов скважин. Этапы 4, 5 повторяются до тех пор, пока не найдены все указанные отбивки неизвестных скважин.

Разработанный алгоритм выделения и прослеживания структурных границ протестирован на реальных данных с месторождений нефти и газа в России, на Северном море и в США. Результаты тестирования позволяют сделать следующие выводы.

Предложенную систему отличает высокая точность прослеживания, в подавляющем большинстве случаев результат автоматического прослеживания границ горизонтов совпадает с ручной корреляцией, предложенной экспертом. Применение «качественных» критериев выбора обучающих скважин для согласования гипотез позволило существенно сократить количество ошибочных предположений системы по сравнению с использованием существующих подходов, основанных на согласовании по триангуляционной сети скважин. Кроме того, предложенный подход отличается большей адаптивностью к входным данным и использует совокупность алгоритмов распознавания схожести, что также позволяет повысить точность прослеживания.

Список литературы

1. Губерман, Ш.А. Неформальный анализ данных в геологии и геофизике / Ш.А. Губерман. – М. : Недра, 1987. – 261 с.
2. Программный комплекс ACDV для изучения осадконакопления в залежах углеводородов сложного геологического строения / И.С. Гутман [и др.]. – Геофизика. – 2010. – № 4. – С. 17–25.

3. Ковалевский, Е.В. Уточнение геологических моделей посредством использования автоматической корреляции скважин / Е.В. Ковалевский, Г.Н. Гогенков, М.В. Перепечкин // Недропользование – XXI век. – 2007. – № 4. – С. 28–31 .

Algorithmization and Automation of Allocation and Tracking of Structural Boundaries of Horizons in Well Sections

N.S. Burlakov

*Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin,
Moscow*

Key words and phrases: pattern recognition; well logging; well section correlation.

Abstract: The paper presents the approach to automatic allocation and tracking of structural boundaries of geological horizons utilizing well log data. Mathematical description of the proposed methods and stages of program system operation are given. The produced results prove the accuracy of proposed automated tracking system.

© Н.С. Бурлаков, 2013