

НОВЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ 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: корреляция разрезов скважин; распознавание образов; геологическое моделирование.

Аннотация: Представлены новые методы для решения задачи автоматической корреляции геологических разрезов скважин. Дано описание предлагаемых методов и их отличия от альтернативных. Полученные результаты позволили сделать вывод о высокой эффективности предлагаемой системы.

Корреляция геологических разрезов скважин является одним из важнейших этапов построения трехмерной геологической модели месторождений нефти и газа. Задачей корреляции является выделение в разрезе и прослеживание по площади одноименных стратиграфических комплексов, горизонтов и пластов, основным источником данных для этого, как правило, являются каротажные диаграммы геофизических исследований скважин (ГИС).

По сути, решается задача распознавания образов – нахождение образца участка сигнала каротажных диаграмм одной скважины на диаграммах других скважин. Основная трудность корреляции состоит в том, что геологическое строение и фациальный состав пласта могут существенно меняться от скважины к скважине, поэтому сама процедура корреляции скважин обоснованно считается сложнейшей неформализованной задачей, требующей от промыслового геолога высокой квалификации и больших временных затрат.

В работе [1] дано описание подхода, основанного на принципе перспективного соответствия для каждого этажа залежи, в [2, 3] предложены подходы, основанные на построении триангуляционной сети скважин. Анализ существующих методов выявил, что они не учитывают ряд важных факторов, касающихся использования в расчетах дополнительных

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.

входных данных, таких как интерпретация выше- и нижележащих горизонтов, углы падения, направления простирания пластов, а также других трендовых данных.

В данной работе предлагаются новые методы для системы автоматической корреляции геологических разрезов скважин, учитывающие ряд факторов, рассмотренных выше.

Введем обозначение пласта $L_i^{w_i}$, где w_i – имя скважины, на которой прослеживается пласт, а i – его номер в стратиграфической последовательности (нумерация идет сверху вниз). Соответственно, подошва пласта будет обозначаться как $L_{i+1}^{w_i}$, а кровля как $L_{i-1}^{w_i}$. Истинную глубину залегания пласта (True Vertical Depth) обозначим как $TVD(L_i^{w_i})$, а расстояние по кабелю от устья скважины до пласта (Measured Depth) – $MD(L_i^{w_i})$ (рисунок).

В случае согласного залегания пластов, стратиграфическая последовательность сохраняется, и поверхности пластов почти параллельны между собой. Таким образом, при проведении процедуры автоматической корреляции скважин, область расположения отбивки искомого пласта L_i обучающей скважины w_i на неизвестной скважине w_j описывается следующим образом:

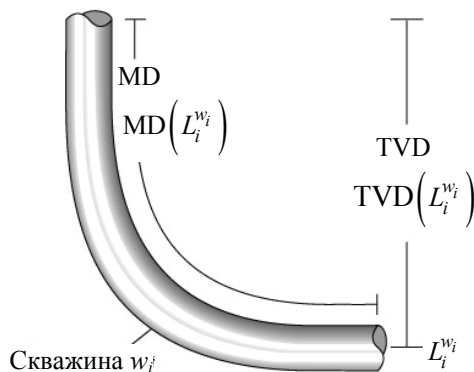
$$\forall i, j, TVD(L_{i-1}^{w_j}) < TVD(L_i^{w_j}) < TVD(L_{i+1}^{w_j}),$$

при этом наиболее вероятная область местонахождения отбивки пласта при принятии гипотезы о горизонтальном залегании:

$$TVD(L_{i-1}^{w_i}) < TVD(L_i^{w_j}) < TVD(L_{i+1}^{w_i}).$$

В случае, если нижележащий пласт неизвестен, можно фиксировать нижнюю границу поиска либо какой-то заданной глубиной, либо глубиной, близкой к расстоянию между данными маркерами отбивок пластов на обучающей скважине, либо выбрать критерий останова в виде достижения коэффициентом корреляции заданного порогового значения (например, 0,8).

Данный метод при использовании в процедуре автоматической корреляции скважин позволяет формализовать условие последовательного залегания пластов, невозможность их пересечения, а также обозначить примерную область наиболее вероятного нахождения искомой отбивки



Принципиальная схема скважины

пласта L_i обучающей скважины w_i на неизвестной скважине w_j . Благодаря данным упрощениям критически сокращается число ложных корреляционных гипотез и вычислительное время.

В случае, если уже известно расположение искомого маркера на каких-либо соседних (географически) обучающих скважинах (например, из предыдущих итераций системы автоматической корреляции), возможно учесть также и угол падения пластов.

Пусть даны две обучающие скважины w_i и w_k , на которых известно местоположение искомой отбивки пласта L_i и неизвестная скважина w_j . Рассмотрим задачу в абсолютной системе координат проекта месторождения. Зная координаты устьев скважин в (X, Y, Z) , а также данные инклинометрии (отклонения траектории скважины от вертикали по глубине и азимутальный угол), можно найти абсолютные координаты отбивок пласта L_i на каждой обучающей скважине на основе замеренного $MD(L_i^{w_i})$.

Рассмотрим плоскость разреза по скважинам $\{w_i, w_k, w_j\}$. Обозначим через $(X_{L_i}^{w_i}, Y_{L_i}^{w_i})$ абсолютные координаты отбивки пласта L_i на w_i , и $(X_{L_i}^{w_k}, Y_{L_i}^{w_k})$ на w_k соответственно. Тогда область нахождения отбивки пласта $L_i(X_{L_i}^{w_j}, Y_{L_i}^{w_j})$ на неизвестной скважине w_{i+2} может быть найдена путем непосредственной линейной экстраполяции прямой $\{(X_{L_i}^{w_i}, Y_{L_i}^{w_i}), (X_{L_i}^{w_k}, Y_{L_i}^{w_k})\}$ до пересечения с траекторией скважины w_j . Таким образом, абсолютные координаты искомого пласта $L_i(X_{L_i}^{w_j}, Y_{L_i}^{w_j})$ описываются следующим образом:

$$\begin{aligned} (X_{L_i}^{w_j}, Y_{L_i}^{w_j}) &= \left(X_{L_i}^{w_j}, Y_{L_i}^{w_i} + (X_{L_i}^{w_j} - X_{L_i}^{w_k}) \operatorname{tg} \alpha \pm \varepsilon \right) = \\ &= \left(X_{L_i}^{w_j}, Y_{L_i}^{w_i} + \frac{(X_{L_i}^{w_j} - X_{L_i}^{w_k})(Y_{L_i}^{w_k} - Y_{L_i}^{w_i})}{X_{L_i}^{w_k} - X_{L_i}^{w_i}} \pm \varepsilon \right), \end{aligned}$$

где $\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{Y_{L_i}^{w_k} - Y_{L_i}^{w_i}}{X_{L_i}^{w_k} - X_{L_i}^{w_i}} \right)$ – угол падения пласта L_i ; ε – размер области

поиска отбивки пласта L_i при $\|X_{L_i}^{w_k} - X_{L_i}^{w_i}\| \rightarrow \min$, $\|X_{L_i}^{w_j} - X_{L_i}^{w_k}\| \rightarrow \min$.

Заметим, что данная экстраполяция корректна только при относительно близком расположении скважин $\left(\|X_{L_i}^{w_k} - X_{L_i}^{w_i}\| \rightarrow \min, \|X_{L_i}^{w_j} - X_{L_i}^{w_k}\| \rightarrow \min\right)$, так как на больших площадях направление прости-

рания пластов существенно меняется. Данный метод позволяет уточнить область поиска неизвестной отбивки пласта, принимая в учет угол падения пластов. При наличии более двух обучающих скважин эффективность метода существенно увеличивается.

Предложенные методы, вошедшие в систему автоматической корреляции геологических разрезов скважин, были протестированы на реальных данных с месторождений нефти и газа в России, на Северном море и в США. Результаты тестирования позволяют сделать выводы о высокой точности распознавания положения отбивок пластов в сравнении с ручной интерпретацией эксперта.

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.

References

1. Guberman, Sh.A. *Neformal'nyi analiz dannykh v geologii i geofizike* (Informal data analysis in geology and geophysics), Moscow: Nedra, 1987, 261 p.
2. Gutman I.S., Balaban I.Yu., Postnova O.V., Rudnev S.A., Saakyan M.I. *Geofizika*, 2010, no 4, pp. 17-25.
3. Kovalevskii E.V. Gogenkov G.N., Perepechkin M.V. *Nedropol'zovanie – XXI vek*, 2007, no 4, pp. 28-31.

New Methods for Automatic Geological Well Section Correlation

N. S. Burlakov

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

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

Abstract: The paper presents the new methods for automatic geological well section correlation. The proposed methods and their differences from the existing approaches have been described. The produced results prove the efficiency of the proposed system.

© Н. С. Бурлаков, 2014

Статья поступила в редакцию 27.01.2014 г.