

УДК 550.822.2

DOI: 10.31660/0445-0108-2023-6-65-77

Геостиринг, применение синтетического каротажа при проводке горизонтальных участков стволов скважин

Е. В. Новицкая, А. А. Ширяев*

Филиал ООО «Лукойл-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени, Тюмень, Россия

**Artem.A.Shiryaev@lukoil.com*

Аннотация. В данной статье приведен анализ процесса и оптимизации сопровождения наклонно направленных скважин с горизонтальным окончанием при помощи геонавигационного контроля с целью установления его оптимальности при решении поставленных задач. В последнее время поднимается вопрос качественной и эффективной проводки скважин по коллектору и определения положения ствола в пластах. В связи с этим применяется комплексный анализ данных на основе трехмерной геологической модели и специального программного обеспечения для геонавигации скважин. В ходе подготовки к бурению скважины необходимо подготовить объемную исчерпывающую информацию по пробуренным ранее скважинам на определенном месторождении и подгрузить результаты сейсмических исследований. Также в статье описывается анализ мероприятий по различным этапам сопровождения бурения, начиная с геофизической привязки и вскрытия целевого пласта транспортной секцией.

При бурении горизонтального участка скважины используется программное обеспечение для геонавигации при бурении скважин, оснащенное различными инструментами, один из которых — это метод двумерного синтетического каротажа. Метод основан на наложении каротажных кривых ранее пробуренной опорной вертикальной скважины и текущей в бурении наклонно направленной скважины с горизонтальным окончанием. Метод двумерного синтетического каротажа является основным и наиболее оптимальным методом проводки скважин с горизонтальным окончанием при бурении терригенных коллекторов в Западной Сибири.

Ключевые слова: геонавигация, синтетический каротаж, трехмерная геологическая модель, геостиринг, геофизические исследования скважин, оптимизации проводки скважины

Для цитирования: Новицкая, Е. В. Геостиринг, применение синтетического каротажа при проводке горизонтальных участков стволов скважин / Е. В. Новицкая, А. А. Ширяев. – DOI 10.31660/0445-0108-2023-6-65-77 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – № 6. – С. 65–77.

Geosteering, application of synthetic logging to horizontal wellbore sections

Elena V. Novitskaya, Artem A. Shiryaev*

KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen, Tyumen, Russia

**Artem.A.Shiryaev@lukoil.com*

Abstract. This article provides an analysis of the process and optimization of horizontal wellbore tracking using geosteering control. Recently, the issue of high-quality and efficient drilling of wells through the reservoir and determining the position of the wellbore in the formations has been

raised. In this regard, complex data analysis is used based on a 3D geological model and special software for well geosteering. In preparation for drilling a well, it is necessary to prepare voluminous, comprehensive information on previously drilled wells in a particular field and upload the results of seismic surveys. The article also describes an analysis of activities at various stages of drilling support, starting with geophysical reference and opening the target formation with the transport section.

When drilling a horizontal section of a well, geosteering software is used while drilling wells, equipped with various tools, one of which is the 2D synthetic logging method. The method is based on the superposition of logging curves of a previously drilled reference vertical well and a directional well with a horizontal end currently being drilled. The two-dimensional synthetic logging method is the main and most optimal way to optimize the placement of wells with horizontal completion when drilling terrigenous reservoirs in Western Siberia.

Keywords: geonavigation, synthetic logging, three-dimensional geological model, geosteering, geophysical studies of wells, optimization of well wiring

For citation: Novitskaya, E. V., & Shiryaev, A. A. (2023). Geosteering, application of synthetic logging to horizontal wellbore sections. *Oil and Gas Studies*, (6), pp. 65-77. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2023-6-65-77

Введение

Современные методы разработки месторождений нацелены на повышение эффективности мероприятий по увеличению нефтеотдачи продуктивных пластов. Существует множество способов увеличения прибыли за счет применения тех или иных технологий, среди которых бурение нефтяных горизонтальных скважин, способствующее как добыче нефти из сложных по геологическому строению пластов, так и разработке трудноизвлекаемых запасов углеводородов [1].

В процессе бурения горизонтальных участков стволов скважин важнейшими инструментами сопровождения бурения являются заблаговременное построение трехмерной геологической модели, учитывающей геометризацию моделируемого геологического объекта, литологические и фильтрационно-емкостные свойства, а также результаты интерпретации сейсмических исследований, анализ исследований керна и иные имеющиеся фактические данные [2]. На практике широко применяется метод повышения эффективности проводки скважин с горизонтальным окончанием, именуемый геостирингом (от англ. Geosteering или геонавигация), позволяющий не только уточнить фактическое положение горизонтального участка скважины, но и скорректировать траекторию ее бурения в режиме реального времени.

На программное обеспечение, применяемое для осуществления процесса геонавигации, возлагаются следующие задачи:

- создание стартовой геонавигационной модели на основе трехмерной геологической модели с комплексом геолого-геофизической информации, а также данных пробуренной транспортной секции скважины с горизонтальным окончанием (участок скважины от устья до кровли коллектора целевого пласта);
- построение двумерного синтетического каротажа по данным пробуренных скважин окружения;
- сопровождение бурения горизонтального участка скважины;

- определение положения ствола скважины в пласте;
- объединение информации из трехмерной геологической модели и данных, полученных при бурении конкретной скважины (актуализация геологической модели в процессе бурения);
- корректировка трехмерной геологической модели в части локальных структурных изменений на основании данных из геонавигационной модели.

Объект и методы исследования

Предварительное построение трехмерных геологических моделей позволяет не только оценить плановую отметку вскрытия стратиграфической кровли целевого пласта, но и запланировать проводку горизонтального участка по тому или иному продуктивному пропластку [3].

Для создания трехмерной геологической модели необходимо учитывать данные пробуренных скважин, окружающих планируемую к бурению скважину с горизонтальным окончанием, результаты интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС), стратиграфические разбивки пластов, результаты обработки региональных или площадных сейсмических исследований для последующего построения геонавигационной модели на ее основе (рис. 1, 2).

По результатам вскрытия стратиграфической кровли пласта транспортной секцией скважины с горизонтальным окончанием и корректировки трехмерной геологической модели строится геонавигационная модель, в которой учитывают скорректированные стратиграфические поверхности [4]. Геометрия стратиграфической кровли пласта в реальности может значительно отличаться от текущего представления о строении пласта даже в случае наличия детальной трехмерной геологической модели. Отличие может быть обусловлено несколькими причинами: погрешностью замеров инклинометрии, некорректной записью каротажей при проведении ГИС, неточностью в корреляции разреза [5].

Результаты и обсуждение

При геологическом сопровождении бурения наклонно направленных скважин с горизонтальным окончанием использование обычной методики внутрипластовой корреляции разреза по вертикали, при котором корреляция выполняется в абсолютных отметках, недостаточно с того момента, как только произошел первый перегиб горизонтального участка с увеличением зенитного угла более 90 градусов. Для скважин, зенитный угол которых на всем протяжении ствола не превышает 90 градусов, допускается использовать обычный способ корреляции пластов для определения текущего местонахождения забоя скважины в разрезе [6]. Таким образом, для устранения неопределенностей, связанных с геометрией пласта и замерами инклинометрии, необходимо использовать метод, позволяющий определить текущее положение забоя скважины относительно разреза пласта, то есть необходимо произвести внутрипластовую корреляцию с учетом геометрии пересечения ствола скважины с пропластками коллектора целевого интервала.

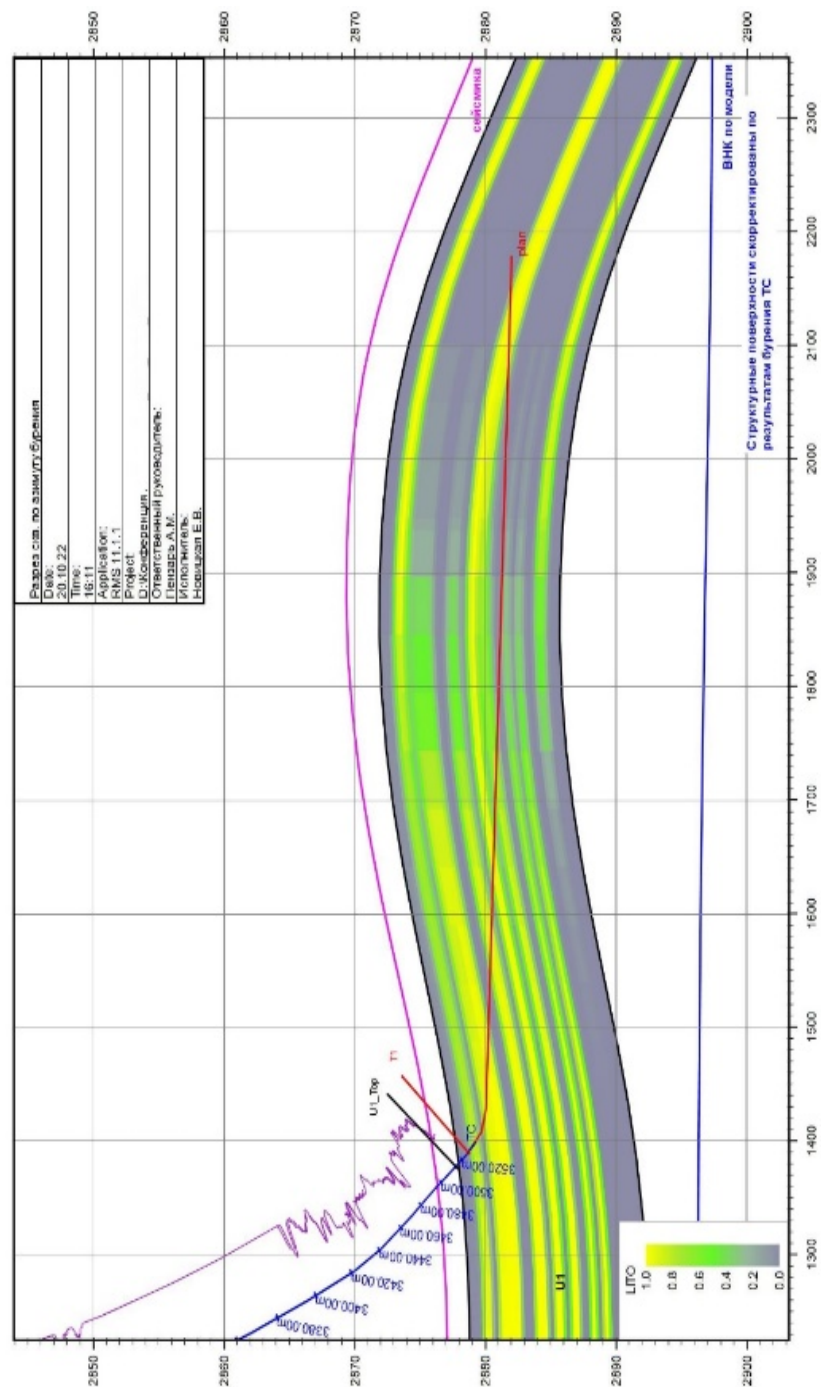


Рис. 1. Разрез куба литологии из трехмерной геологической модели, построенной до начала бурения горизонтального участка скважины

В настоящее время наиболее эффективной методикой, применяемой при геологическом сопровождении бурения горизонтальных скважин в режиме реального времени, является метод двумерного синтетического каротажа (ДСК). Данный метод основан на создании синтетического каротажа по стволу скважины и его настройке на фактический каротаж, записанный при бурении, путем подбора положения кровли пласта и всего геологического разреза (абсолютная глубина и угол залегания) относительно горизонтального ствола скважины. Таким образом, решается обратная задача по определению положения горизонтального ствола в разрезе, на основе фактического каротажа и инклинометрии.

Основой работы метода ДСК геонавигации является сравнение каротажа во время бурения горизонтальной скважины с каротажем соседней опорной скважины, имеющей траекторию близкую к вертикальной (рис. 3). Синтетический двумерный каротаж строится вдоль траектории бурения горизонтального участка скважины. Для его построения используют гамма-каротаж, каротаж сопротивлений, гамма-гамма плотностной каротаж, нейтронный каротаж по тепловым нейтронам, а также данные азимутального каротажа, позволяющие определить угол залегания структуры вдоль азимута бурения горизонтального участка скважины (см. рис. 3). Вышеупомянутый набор методов ГИС [7] является оптимальным для построения двумерного синтетического каротажа при проводке ствола скважины.

Синтетическая кривая представляет собой каротажную кривую опорной скважины, пересчитанную из вертикальной глубины (TVD) в глубину с горизонтальным отходом вдоль траектории скважины (THL), с учетом плановой траектории бурящейся скважины и изменения структуры пласта вдоль планового азимута бурения. Иными словами, происходит «плоско-параллельное» распространение данных ГИС с опорной скважины на весь моделируемый пласт объекта проведения работ. Такой метод позволяет учесть стратиграфические особенности исследуемого участка, наличие выклиниваний и увеличения толщины пласта, а также угол падения пласта вдоль азимута плановой траектории на бурение горизонтального участка скважины (рис. 4, 5). Синтетические каротажные кривые будут сравниваться с полученными по данным бурения в реальном времени, и на основании такого сравнения геонавигационная модель будет подвержена корректировке до достижения оптимального уровня совпадения геофизических кривых.

На рисунке 4 представлен пример визуализации выбранной каротажной кривой относительно шкалы TVD. Для каждой точки кривой гамма-каротажа (GK) необходимо поставить точку синтетической кривой гамма-каротажа (GK_Syn) относительно шкалы THL. Искусственно созданному пику на кривой GK (опорная скважина слева) соответствует пик на синтетической кривой в той точке по THL (горизонтальный масштаб), который соответствует пересечению стратиграфической кровли пласта с траекторией бурящейся скважины. Положение пика на синтетической кривой зависит от углов падения пласта, поскольку изменение набора углов приводит к изменению точки пересечения пропластков с фактической траекторией. Аналогичный процесс расчета производится по всем парам точек (GK, TVD) с получением пар точек (GK_Syn, THL). Если по направлению бурения изменяется угол падения пласта, то синтетическая кривая также принимает иной характер, так как изменяются точки пересечения траектории и пластов.

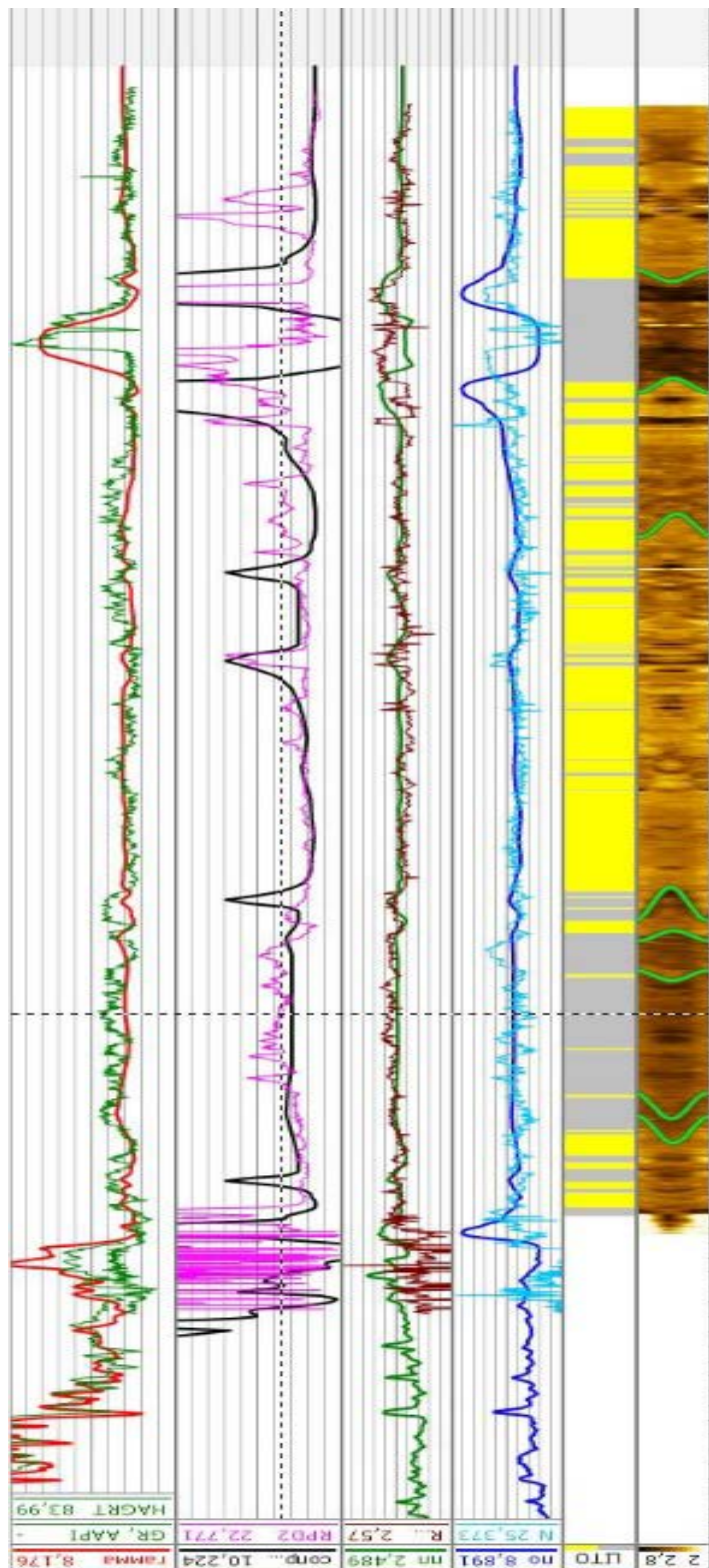


Рис. 3. Набор геофизических методов для построения двумерного синтетического каротажа

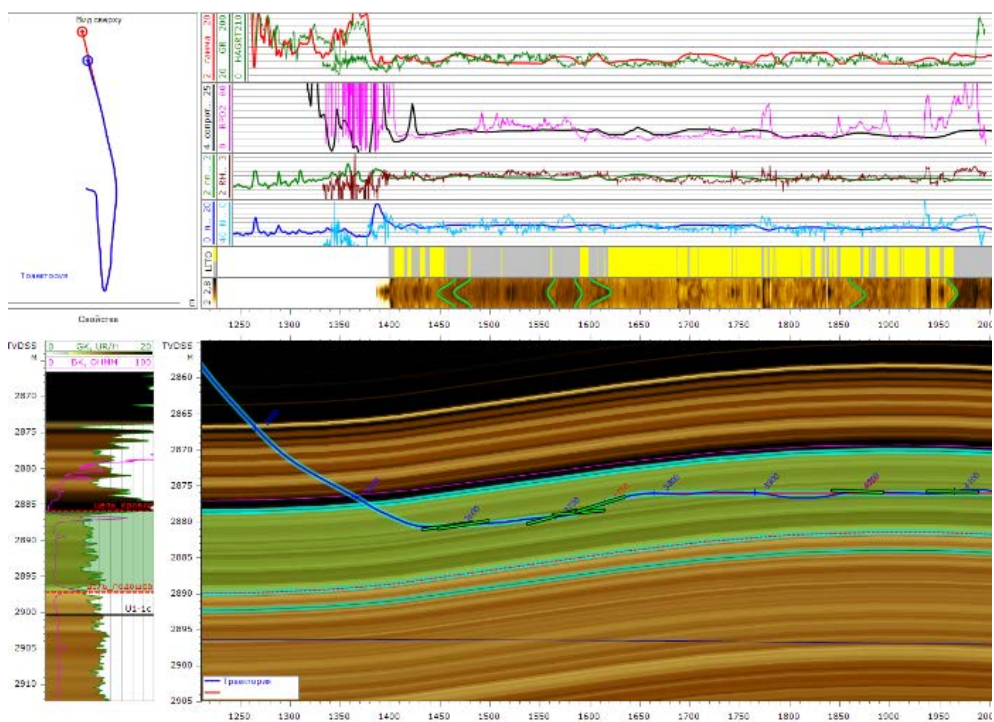


Рис. 4. Разрез из стартовой геонавигационной модели в процессе бурения горизонтального участка скважины без корректировок

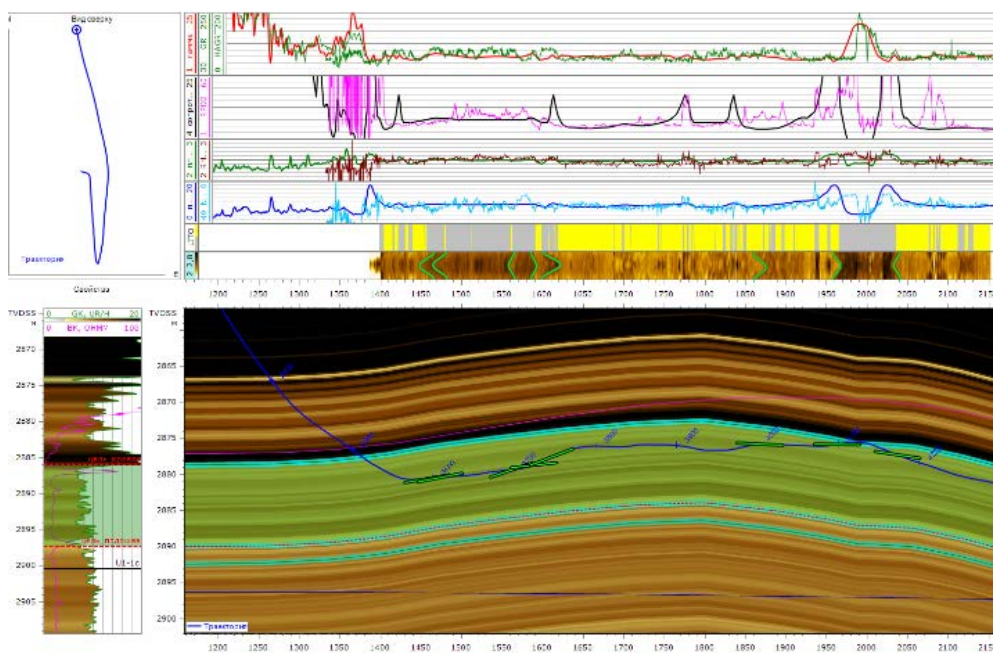


Рис. 5. Разрез из геонавигационной модели по факту бурения горизонтального участка скважины с учетом корректировок углов залегания пласта

После начала бурения и получения первых фактических данных ГИС в реальном времени геонавигационное моделирование осуществляется посредством изменения геометрии пласта путем редактирования его угла залегания. При этом угол меняется для определенного интервала по ТНЛ, и эти изменения не затрагивают часть синтетических расчетов, расположенных левее по шкале горизонтального отхода от устья. При получении дополнительных каротажных данных (замер) вся новая информация загружается в ПО, и далее производится настройка синтетической кривой на поступившие каротажные данные. Для изменения формы синтетических расчетов необходимо изменить угол падения пласта. На примере видно, что на глубине 4 120 метров встретили глинистый пропласток с высокими значениями ГК, соответствующий стратиграфической кровле пласта, таким образом, необходимо скорректировать геонавигационную модель с учетом новых данных и плановый профиль скважины для возвращения в целевой интервал (см. рис. 5).

При поступлении новых данных необходимо также осуществлять настройку синтетической кривой на фактическую путем изменения угла падения в точках по ТНЛ. По достижении оптимального результата корректировки геонавигационной модели на новом интервале по ТНЛ должны быть сформированы рекомендации по бурению для следующего интервала.

В процессе бурения горизонтального участка ствола скважины в режиме реального времени производят детальную корректировку геонавигационной модели и на ее основе — трехмерной геологической модели (рис. 6)¹. Это позволяет оперативно оценить фактическое положение ствола скважины в пласте и внести корректировки в плановую проводку скважины. По завершении бурения вся полученная информация (данные инклинометрии и ГИС, поверхности стратиграфической кровли, подошвы, уточнение положения ВНК/ГВК/ГНК, синтетические данные ГИС и имиджи, результаты моделирования пласта) может быть использована для актуализации постоянно действующих трехмерных геологических моделей [5].

Задача оптимизации проводки скважины — заложение и корректировка плановой траектории скважины по коллектору, вмещающему в себя нефть [8]. Достижение поставленной перед геонавигационной моделью задачи осуществляется путем непрерывного сопровождения бурения горизонтального участка скважины на основе сопоставления синтетического каротажа опорной скважины и каротажа, записываемого во время бурения. Опыт применения метода двумерного синтетического каротажа показал актуальность сопровождения бурения горизонтальных участков скважин. Оптимизация проводки горизонтального участка скважины является неотъемлемой частью процесса геонавигации.

¹РД 15339.0-047-00. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. — М., 2000. — 130 с.

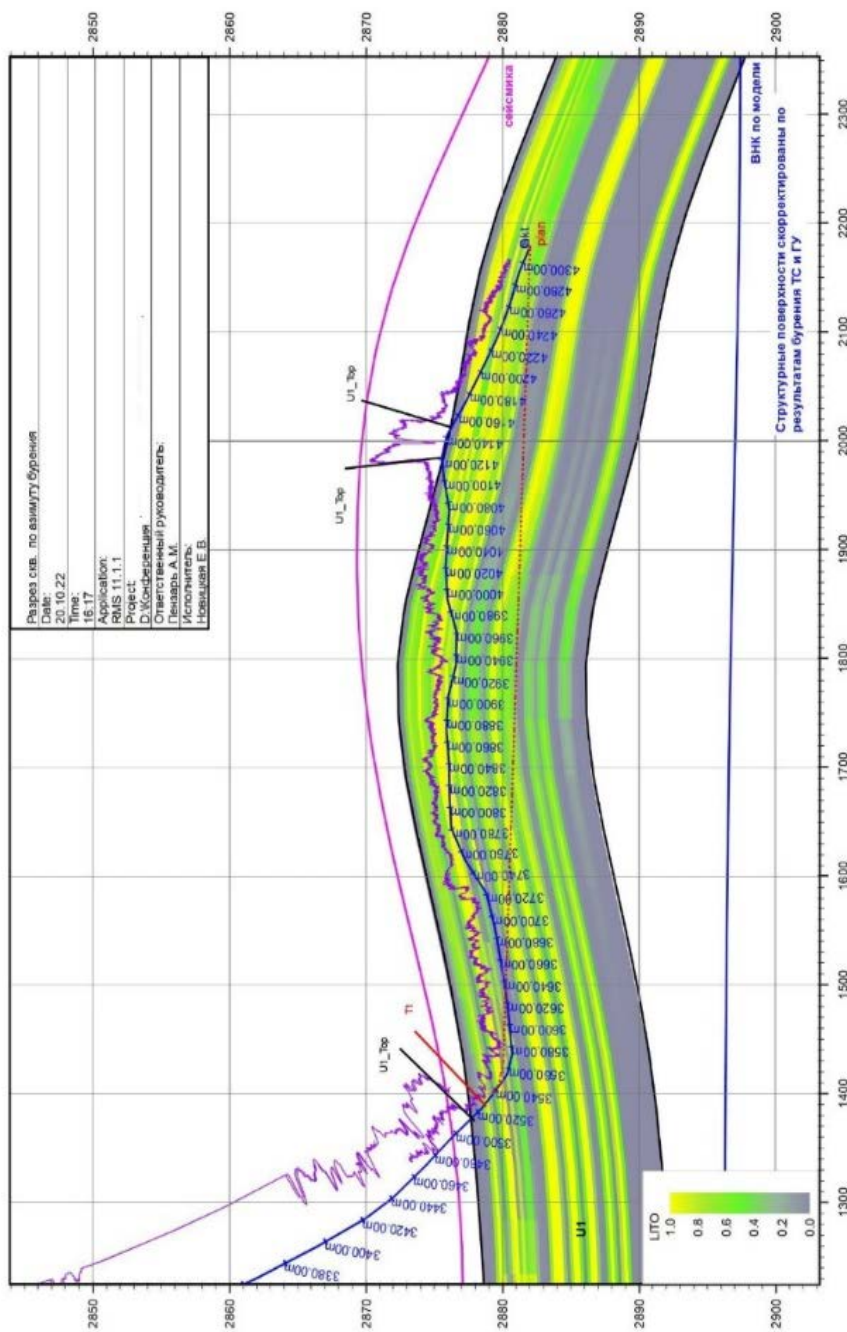


Рис. 6. Разрез куба литологии по окончании бурения горизонтального участка скважины

При разбуривании маломощных пропластков коллектора метод геонавигации позволяет не только оптимизировать проводку по коллектору, но и получить детальную геологическую картину района проведения работ. Метод двумерного синтетического каротажа геонавигации активно применяется на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» и зарекомендовал себя как один из наиболее эффективных методов, позволяющих обеспечить максимально возможное вскрытие коллектора горизонтальным участком скважины.

Представленные рисунки сделаны в программном обеспечении «Geosteering Office» и Roxar «RMS 11.1.1».

Выводы

По результатам анализа проводки одной из скважин, пробуренных на месторождении Западной Сибири на пласт Ю1, рассмотрен процесс проводки наклонно направленной скважины с горизонтальным окончанием, а также процесс ее оптимизации на основании геостиринга, основанного на методе построения синтетического каротажа. Среди достоинств метода выявлены следующие:

- 1) минимальный набор ГИС, используемый для геонавигационного моделирования (в некоторых случаях достаточно одной кривой ГК);
- 2) высокая точность оценки фактического положения скважины в пласте и оптимизация проводки горизонтального участка скважины при наличии кривых гамма-каротажа, сопротивления, плотности и пористости;
- 3) использование простейшего алгоритма распространения свойств пласта, определяемых более чем по одной скважине; при наличии данных по двум опорным скважинам возможно получить наиболее точную геонавигационную модель;
- 4) простота использования.

Недостатками метода определены следующие случаи:

- 1) при использовании каротажа опорной скважины предположительно моделируемые структурные и литологические свойства пласта в интервале бурения горизонтальной скважины аналогичны свойствам пласта опорной; однако нередки случаи, когда геологические особенности разбуриваемого пласта кардинально отличаются от тех, что приняты по опорной скважине;
- 2) такие случаи, как локальные геологические неоднородности (изменение толщины пласта, выклинивание искоемых пропластков коллектора, линзы, смена фаций, разломы), могут привести к некорректным расчетам угла падения пласта и, соответственно, неверным вариантам принятия решения дальнейшего бурения.

На основании проведенного анализа можно судить о том, что геостиринг является оптимальным решением для решения поставленных задач, поскольку позволяет обеспечить максимальную проводку по коллектору путем корректировки траектории бурящейся скважины.

Список источников

1. Нефтегазопромысловая геология и гидрогеология : учебник для вузов / В. Г. Каналин, С. Б. Вагин, М. А. Токарев [и др.]. – Москва : Недра, 1997. – 366 с. – Текст : непосредственный.
2. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений (Часть 1. Геологические модели) / А. Г. Авербух, С. И. Билибин, Д. Н. Болотник [и др.]. – Москва : ВНИИОЭНГ, 2003. – 164 с. – Текст : непосредственный.
3. Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач / Под редакцией В. Е. Никитского, В. В. Бродского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1987. – 471 с. – Текст : непосредственный.
4. Кашик, А. С. О моделировании крупных давно эксплуатирующихся месторождений / А. С. Кашик, Г. Н. Гогоненков. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 7. – С. 94–99.
5. Закревский, К. Е. Геологическое 3D моделирование : монография / К. Е. Закревский. – Москва : ООО «ИПЦ Маска», 2009. – 376 с. – Текст : непосредственный.
6. Кан, В. Е. Анализ геолого-промысловой характеристики горизонтальных скважин ОНГКМ и скважин, восстановленных боковым стволом / В. Е. Кан, М. А. Кузнецова, М. П. Трифонова. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2006. – № 7. – С. 61–65.
7. Косков, Б. В. Использование данных ГИС для оценки гидродинамических параметров продуктивных пластов / Б. В. Косков. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов межрегиональной молодежной научной конференции Северэкотех. – Ухта, 2002. – С. 17–20.
8. Трифонова, М. П. Геологическое обоснование местоположения и проводки горизонтальных скважин на Оренбургском НГКМ с использованием цифровой геологической модели / М. П. Трифонова. – Текст : непосредственный // Материалы VI всероссийской конференции молодых ученых и специалистов по проблемам газовой промышленности России. – Москва : ОАО «Газпром», РГУ НГ им. И.М. Губкина, 2005. – С. 38–39.

References

1. Kanalin, V. G., Tokarev, M. A., Lanchakov, G. A., & Timofeev, V. A. (1997). *Neftegazopromyslovaya geologiya i gidrogeologiya*. Moscow, Nedra, 366 p. (In Russian).
2. Averbukh, A. G., Bilibin, S. I., Bolotnik, D. N., Velichkina, N. F., Gushman, I. S., Denisov, S. B.,... Chernitskiy, A. V. (2003). *Metodicheskie ukazaniya po sozdaniyu postoyanno deystvuyushchikh geologo-tekhnologicheskikh modeley neftyanykh i gazoneftyanykh mestorozhdeniy (Chast' 1. Geologicheskie modeli)*. Moscow, VNIIOENG Publ., 164 p. (In Russian).
3. Nikitsky, V. E., & Brodsky, V. V. (Eds) (1987). *Kompleksirovanie geofizicheskikh metodov pri reshenii geologicheskikh zadach*. 2nd edition, revised and expanded. Moscow, Nedra Publ., 471 p. (In Russian).
4. Kashik, A. S., & Gogonenkov, G. N. (2002). On the modeling of large long-exploited fields. *Oil Industry*, (7), pp. 94-99. (In Russian).

5. Zakrevsky, K. E. (2009). Geological 3D modeling. Moscow, IPTS Maska LLC Publ., 376 p. (In Russian).
6. Kan, V. E., Kuznetsova, M. A., & Trifonova, M. P. (2006). Analiz geologo-promyslovoy kharakteristiki gorizonta'nykh skvazhin ONGKM i skvazhin, vostanovlennykh bokovym stvolom. Oilfield Engineering, (7), pp. 61-65. (In Russian).
7. Koskov, B. V. (2002). Ispol'zovanie dannykh GIS dlya otsenki gidrodinamicheskikh parametrov produktivnykh plastov. Tezisy dokladov mezhregional'noy molodezhnoy nauchnoy konferentsii Severekotekh. Ukhta, pp. 17-20. (In Russian).
8. Trifonova, M. P. (2005). Geologicheskoe obosnovanie mestopolozheniya i provodki gorizonta'nykh skvazhin na Orenburgskom NGKM s ispol'zovaniem tsifrovoy geologicheskoy modeli. Materialy VI vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov po problemam gazovoy promyshlennosti Rossii. Moscow, Gazprom LLC, National University of Oil and Gas "Gubkin University" Publ., pp. 38-39. (In Russian).

Информация об авторах/ Information about the authors

Новицкая Елена Владимировна,
главный специалист отдела геологического сопровождения бурения, филиал ООО «Лукойл-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени

Ширяев Артем Александрович,
ведущий специалист отдела геологического сопровождения бурения, филиал ООО «Лукойл-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени,
Artem.A.Shiryayev@lukoil.com

Elena V. Novitskaya, Chief Specialist of the Department of Geological Support of Drilling, KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen

Artem A. Shiryayev, Leading Specialist of the Department of Geological Support of Drilling, KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen, Artem.A.Shiryayev@lukoil.com

Статья поступила в редакцию 23.04.2023; одобрена после рецензирования 16.10.2023; принята к публикации 20.10.2023.

The article was submitted 23.04.2023; approved after reviewing 16.10.2023; accepted for publication 20.10.2023.