

УДК 622.276.5:550.8

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2018

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ МЕТОДОМ СТРОИТЕЛЬСТВА БОКОВЫХ СТОЛОВ

**С.В. Варушкин, Ж.А. Хакимова**

ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» (614990, Россия, г. Пермь, ул. Ленина, 62)

## THE DESIGN OF GEOLOGICAL EXPLORATION WITH SIDE TRACK DRILLING

**Stanislav V. Varushkin, Zhanna A. Khakimova**

LUKOIL-PERM LLC (62 Lenina st., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 24.04.2018. Принята / Accepted: 03.09.2018. Опубликовано / Published: 28.09.2018

### Ключевые слова:

геолого-разведочные работы, боковой ствол, сейсморазведочные работы 3D, структуры, скважины-кандидаты, геоданные, профиль, отвод земли, резка «окна», геофизические исследования, отбор керн, прирост запасов, месторождение, затраты.

Рассмотрен вопрос использования метода реконструкции скважины путем бурения боковых стволов как способа для опоскования перспективных структур на территории Пермского края. В настоящий момент в фонде выявленных и подготовленных структур числятся малоразмерные объекты с ресурсами менее 100 тыс. т, ввод в бурение которых экономически нерентабелен. Решением этой проблемы может стать более экономичный способ – бурение бокового ствола из скважин, расположенных вблизи перспективных объектов.

Бурение боковых стволов стало одной из наиболее инвестиционно привлекательных технологий, направленных на стабилизацию и дальнейший рост добычи нефти на разрабатываемых месторождениях. Данный метод служит для интенсификации системы разработки месторождений, увеличения коэффициента извлечения нефти из продуктивных пластов и фактически заменяет уплотнение сетки скважин. Соответствующие технологии помогают сохранить скважину и сэкономить затраты на строительство и освоение. При наличии скважин-кандидатов, в том числе консервированных и ликвидированных, расположенных вблизи перспективных структур, становится актуальным их опоскование с помощью строительства бокового ствола как метода геолого-разведочных работ.

В работе описана технология строительства боковых стволов и представлен алгоритм проектируемых работ. Проанализированы фонд скважин ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» и геологическое строение перспективных объектов. Рассмотрена техническая возможность реконструкции скважин бурением боковых стволов. Определены критерии выбора скважин-кандидатов и интервалов резки «окна». Произведен расчет профилей вторых стволов для рекомендуемых скважин, проработаны различные аспекты, связанные с их строительством. Конечным итогом работы стали предложения по включению данных мероприятий в программу геолого-разведочных работ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

Результаты работы имеют практическую значимость и могут быть использованы в производственной деятельности нефтегазодобывающих обществ.

### Key words:

geological exploration, side track, 3D seismic exploration, structures, candidate wells, geodata, profile, land acquisition, “window” cutting, geophysical surveys, core sampling, reserves increase, field, costs.

The paper discusses the method of well reconstruction using sidetracks drilling as a method for searching prospective formations in Perm region. At the moment, there are small-size reservoirs of less than 100 thousand tonnes of resources included in located and prepared formations. Drilling of the reservoirs is unprofitable. Drilling a sidetrack from wells located near promising reservoirs can be more economical way to solve the problem.

Drilling of sidetracks has become one of the most investment-attractive technologies aimed at stabilizing and further increasing oil production from fields being developed. This method is used to intensify the system of field development, increase the rate of oil extraction from productive formations and actually replaces the compaction of the well grid. Appropriate technologies help to save a well as well as construction and development costs. In presence of candidate wells, including plugged and abandoned one, located near promising structures, it becomes important to search for them using sidetrack drilling as a method of geological exploration.

The paper describes the technology of side tracks construction and presents the algorithm of works designed. Well stock of LUKOIL-PERM LLC and geological structure of promising objects were analyzed. The technical possibility of well reconstruction by sidetracking was considered. Criteria for candidate wells and “window” kickoff intervals to be selected are defined. Calculation of profiles of second well bores for recommended wells was made, various aspects related to their construction were worked out. As a result of the work it was proposed to include these activities in the geological exploration program of LUKOIL-PERM LLC.

Results of the work have practical significance and can be used in production activities of oil and gas companies.

**Варушкин Станислав Владимирович** – геолог 1-й категории Управления геологии (тел.: +007 342 219 80 00, e-mail: Stanislav.Varushkin2@lp.lukoil.com). Контактное лицо для переписки.

**Хакимова Жанна Александровна** – ведущий геолог Управления геологии (тел.: +007 342 235 66 48, e-mail: Zhanna.Khakimova@lp.lukoil.com).

**Stanislav V. Varushkin** – 1<sup>st</sup> category Geologist of the Geology Department (tel.: +007 342 219 80 00, e-mail: Stanislav.Varushkin2@lp.lukoil.com). The contact person for correspondence.

**Zhanna A. Khakimova** – Senior Geologist of the Geology Department (tel.: +007 342 235 66 48, e-mail: Zhanna.Khakimova@lp.lukoil.com).

## Введение

Подготовка необходимой информации для разработки долгосрочных, среднесрочных и оперативных планов и программ геолого-разведочных работ является основным критерием эффективности деятельности геологической службы любого нефтегазодобывающего предприятия. На сегодняшний день для компенсации добычи нефти приростом запасов за счет геолого-разведочных работ необходима активизация работ как по исследованию недоизученных территорий и объектов, так и по развитию новых направлений и путей опоискования [1–7].

При планировании поисково-оценочного и разведочного бурения необходимо учитывать лицензионные обязательства и сроки в геологических проектах, которые в дальнейшем закладываются в программу геолого-разведочных работ. Зачастую опоискование структур с небольшими ресурсами может переноситься из года в год ввиду их инвестиционной непривлекательности.

Среди современных методов по разработке нефтяных и газовых месторождений большую роль играет бурение боковых стволов. Их использование позволяет решить большой спектр проблем, связанных с повышением добычи нефти на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки, и вовлечением трудноизвлекаемых запасов углеводородов. Соответствующие технологии помогают сохранить скважину и сэкономить затраты на ее освоение [8–13].

## Технология строительства боковых стволов

Зарезка боковых стволов – это эффективная технология, позволяющая увеличить добычу нефти на старых месторождениях и коэффициент извлечения нефти из пластов, вернуть в эксплуатацию нефтяные скважины, которые не могли быть возвращены в действующий фонд другими методами [14–16].

Путем бурения боковых стволов в разработку вовлекаются ранее не задействованные участки пласта, а также трудноизвлекаемые запасы нефти, добыча которых ранее не представлялась

возможной. Применение технологии зарезки боковых стволов способствует увеличению нефтеотдачи пластов и фактически заменяет уплотнение скважин.

Помимо этого, в практике существуют примеры доразведки пропущенных залежей и опоискования локальных структур, выявленных по данным проведенных сейсморазведочных работ 3D [17].

Процесс строительства боковых стволов состоит из следующих этапов:

- выбор скважин-кандидатов для бурения боковых стволов;
- выбор конструкции, профиля и расчет траектории боковых стволов;
- ликвидация части ствола в скважине;
- вырезание «окна» в обсадной колонне;
- зарезка и бурение боковых стволов;
- крепление хвостовиком или фильтром;
- освоение и вызов притока пластового флюида.

Эксплуатационные колонны выше интервала установки цементного моста по данным соответствующих приборов и опрессовки должны быть технически исправны, а траектории стволов подобранной и соседних скважин достаточно достоверными для исключения пересечения стволов [18].

Конструкция скважины в части надежности, технологичности и безопасности должна обеспечивать:

1. Максимальное использование пластовой энергии продуктивных горизонтов в процессе эксплуатации за счет выбора оптимального диаметра эксплуатационной колонны и возможности достижения проектного уровня гидродинамической связи продуктивных отложений со стволом скважины.

2. Применение оптимальных режимов эксплуатации, поддержания пластового давления, теплового воздействия и других методов повышения нефтеотдачи пластов.

3. Условия безопасного ведения работ без аварий и осложнений на всех этапах строительства и эксплуатации скважины.

4. Необходимую горно-геологическую информацию по вскрываемому разрезу.

5. Условия охраны недр и окружающей среды за счет прочности и долговечности крепи скважины, герметичности обсадных колонн и кольцевых пространств.

6. Максимальную унификацию по типоразмерам обсадных труб и ствола скважины.

Боковые стволы проектируются к бурению из скважин, обсаженных колоннами диаметрами 146 мм. Для них рекомендуются обсадные трубы потайных колонн-хвостовиков диаметрами 101,6 мм [19–22].

Основной вариант зарезки бокового ствола заключается в вырезании «окна». В скважину спускается клин-отклонитель с ориентирующим устройством, который устанавливается на искусственный забой. Работы по спуску и установке клина-отклонителя производятся в соответствии с технологией фирм-производителей.

Спуск компоновки на стальных бурильных трубах производится с замером длины инструмента, со скоростью не более 0,2 м/с. Установка клина-отклонителя в наклонно-направленных скважинах должна производиться ориентировочно в пределах  $\pm 90^\circ$  по отношению к азимуту искривления основного ствола в месте установки [23].

После установки клина-отклонителя компоновка с подвесным устройством и телесистемой поднимается, спускается компоновка для вырезания «окна».

Производство работ по бурению выполняется в соответствии с индивидуальным техническим проектом на строительство второго ствола скважины методом вырезки «окна» в эксплуатационной колонне и планом работ на реконструкцию.

### **Алгоритм планирования мероприятий**

На первом этапе на основе актуального геологического материала по сейсморазведочным работам 3D был произведен выбор перспективных участков и структур. Предлагается использовать в качестве скважин-кандидатов законсервированные и ликвидированные скважины, расположенные в непосредственной близости от контура или свода перспективного поднятия. Стоит отметить, что

подходы к ликвидации скважин не учитывали возможных перспектив по их вводу в работу при изменении в представлениях о геологическом строении объектов.

В качестве примера планирования рассмотрим южный купол Губановской структуры, расположенный в южной части Веслянской валообразной зоны на территории Кокуйского месторождения (рис. 1).

Структура была подготовлена в 2015 г. по результатам сейсморазведочных работ методом общей глубинной точки 3D на Кокуйском месторождении (СП 12/13). Амплитуда структуры по отражающему горизонту  $\Pi^{\text{II}}$  составляет 14 м, размеры – 1,5×0,8 км. Объект представляет собой тектоно-седиментационное поднятие, осложненное позднедевонской органогенной постройкой, палеокарстом в турнейских и башкирских отложениях. В непосредственной близости от структуры пробурена законсервированная скважина № 754 Кокуйского месторождения.

Для поисков залежей нефти рекомендуется пробурить боковой ствол скважины № 754-Кокуйское со вскрытием франских отложений. Извлекаемые ресурсы по паспорту составляют 328 тыс. т. Оценены ресурсы следующих комплексов: верхнедевонского, нижнекаменноугольного карбонатного и визейского терригенного. Помимо этого структура попадает в зону уже поставленных на баланс запасов категорий В1 + С1 по среднекаменноугольным отложениям.

На втором этапе рассматриваются техническое состояние скважины и возможность проведения работ по капитальному ремонту. На основе регламента [24] и производственного опыта общества обоснованы критерии выбора скважин-кандидатов и интервалы зарезки бокового ствола. Рассмотрены причины ввода в консервацию/ликвидацию, герметичность эксплуатационной колонны, открытые интервалы перфорации, результаты испытаний и другие аспекты (табл. 1).

Основными критериями выбора скважин для их восстановления путем бурения стволов по данным анализа являются (рис. 2):

- отсутствие неизвлеченных запасов в скважине;
- расположение текущего забоя не более 700 м от оптимального (предлагаемого) на своде структуры;
- герметичность эксплуатационной колонны;
- профиль скважины, позволяющий производить работы по резке второго ствола (интенсивность кривизны менее 5° на 10 метров);
- отсутствие металлических пластырей или манжетов из труб выше предполагаемой точки резки второго ствола (максимальная глубина вырезки «окна» на 400 м выше кровли пласта);
- наличие и качество цементного камня;
- отсутствие аварий в скважине, повлекших ее ликвидацию;
- отсутствие планов эксплуатационного бурения в рассматриваемом районе работ.

При выборе интервала резки второго ствола скважины руководствуются следующими критериями [25]:

- глубиной от устья до верхнего края последнего перфорированного интервала, исходя из этого второй ствол забуривают на 30–50 м выше;

- наличием цементного кольца за обсадной колонной, его качеством;
- устойчивостью стенок скважины и минимальной твердостью горных пород;
- максимальной интенсивностью искривления ствола скважины выше интервала забуривания, она не должна превышать 2–3° на 10 м;
- глубиной нахождения муфт эксплуатационной колонны в интервале предполагаемого выреза;
- герметичностью эксплуатационной колонны в предполагаемом интервале;
- глубиной кровли продуктивного пласта;
- отклонением нового ствола от вертикали;
- радиусом искривления в интервале набора зенитного угла.

На третьем этапе выполняется подготовка геоданных по бурению. В результате расчета определяется точное значение проложения, углов и предварительной глубины ствола. Устанавливается текущий собственник земельного участка, на котором расположена скважина. При наличии действующего договора аренды земельного участка появляется возможность выполнения работ без длительного процесса отвода земли и сопутствующих затрат.

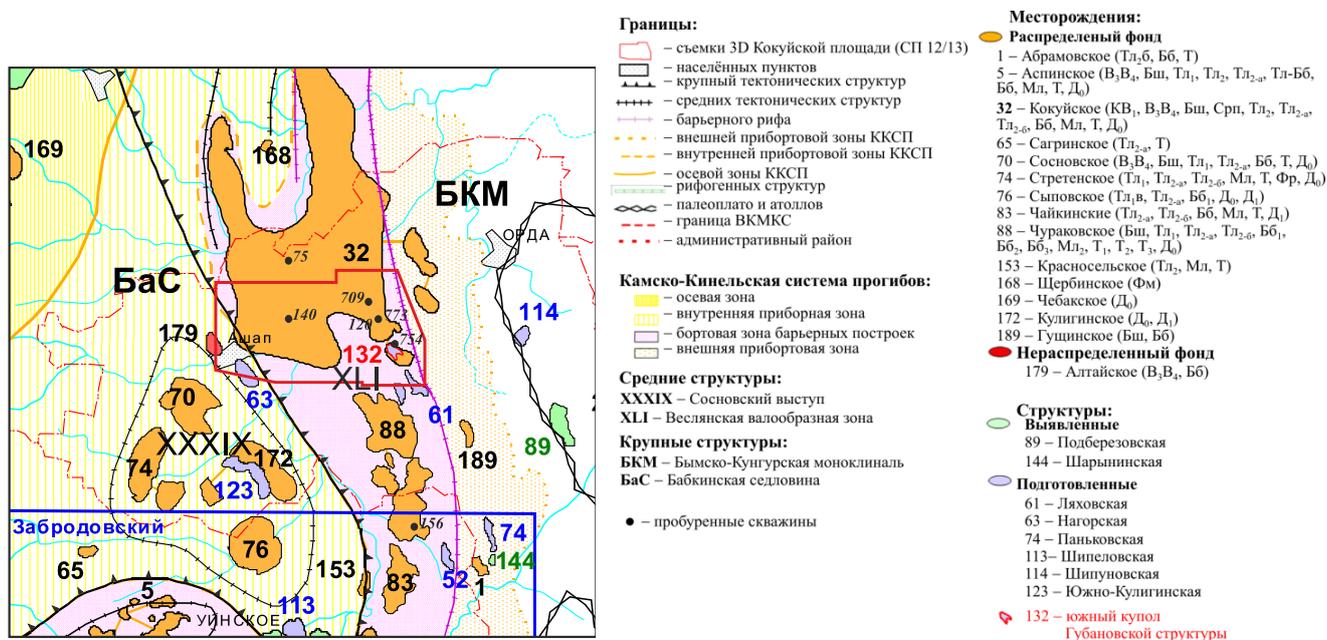


Рис. 1. Обзорная схема района работ: ККСП – Камско-Кинельская система прогибов; ВКМКС – Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей

Таблица 1

## Основная информация о скважине\*

Наименование	Значение
Месторождение (поднятие)	Кокуйское (Губановское)
Куст	4
Номер скважины	754
Альтитуда стола ротора, м	215,24
Категория скважины	Нефтяная в консервации
Категория скважины по опасности	2-я (по Гф)
Эксплуатационный горизонт	Бш
Конструкция скважины: – направление Ø 426×11 мм – кондуктор Ø 299×9 мм – техническая колонна Ø 219×8 мм – эксплуатационная колонна Ø 146×8 мм	21 м, ВПЦ до устья 70 м, ВПЦ до устья 498 м, ВПЦ до устья 1825 м, ВПЦ до 220 м
Интервалы перфорации, м: – Бш – Тл	1382,0–1392,0 м (не изолированы) 1729,0–1735,0 м (изолированы 22.10.1986)
Пробуренный забой скважины, м	1825,0
Искусственный забой, м	1810,0
Текущий забой, м	1592,0
Максимальный зенитный угол, град	29,25 град на глубине 300 м
Состояние цементного камня за обсадной колонной	Удовлетворительное
Герметичность обсадной колонны, МПа, ее остаточная прочность	13,0 (определено 07.07.1976)
Наличие заколонных перетоков	–
Наличие (отсутствие) давления в межколонных пространствах, МПа	–
Подземное оборудование	–
Устьевое оборудование	ЭТГ 73×146
Состояние скважины	В консервации

Примечание: \* – информация может быть изменена для сохранения конфиденциальности; ВПЦ – верхний предел цементирования.

На основе геоданных произведен расчет профилей для рекомендуемых стволов. В первую очередь рассматривалась возможность наклонного бурения с максимальным зенитным углом до 60° (табл. 2). Данное решение связано с возможностью использования безглинистого или малоглинистого бурового раствора, что также снизит стоимость работ по бурению [26–35]. Профили стволов должны учитывать наличие значительного по длине участка падения зенитного угла при вскрытии перспективных отложений [36, 37].

Построены профили боковых стволов, позволяющие в трехмерном виде представить прохождение проектируемого профиля через структурные поверхности (рис. 3, 4).

Благодаря полученным изображениям существует возможность проверить правильность построения профилей и скорректировать их для наиболее оптимальной проводки.

Ввиду того что боковые стволы выполняют функции поисково-оценочных и разведочных

скважин, одним из важнейших моментов является заложение оптимального комплекса геолого-геофизических исследований. Для получения качественной геологической информации в план-заказ планируется включение расширенного комплекса геофизических исследований скважин (табл. 3). Для изучения литологической характеристики пластов и физических свойств коллекторов, уточнения стратиграфических границ, эффективных и нефтенасыщенных толщин, положения водонефтяных контактов, а также лабораторного изучения в скважинах предусматривается отбор керна. Также закладывается операция по испытанию скважины в процессе бурения при помощи оборудования КИИ-92 [38].

Отбор керна рекомендуется проводить с использованием керноотборочного снаряда Security DBS 104/52 или его аналогов с кернорвателями цангового типа, обеспечивающими 100 % выноса керна.

Для изучения литологии разреза и определения в нем нефтеносности производится отбор шлама через 5 м проходки, в интервалах продуктивных горизонтов через 2 м.

Контрольный замер инструмента следует производить перед отбором керна и после достижения проектной глубины скважины.

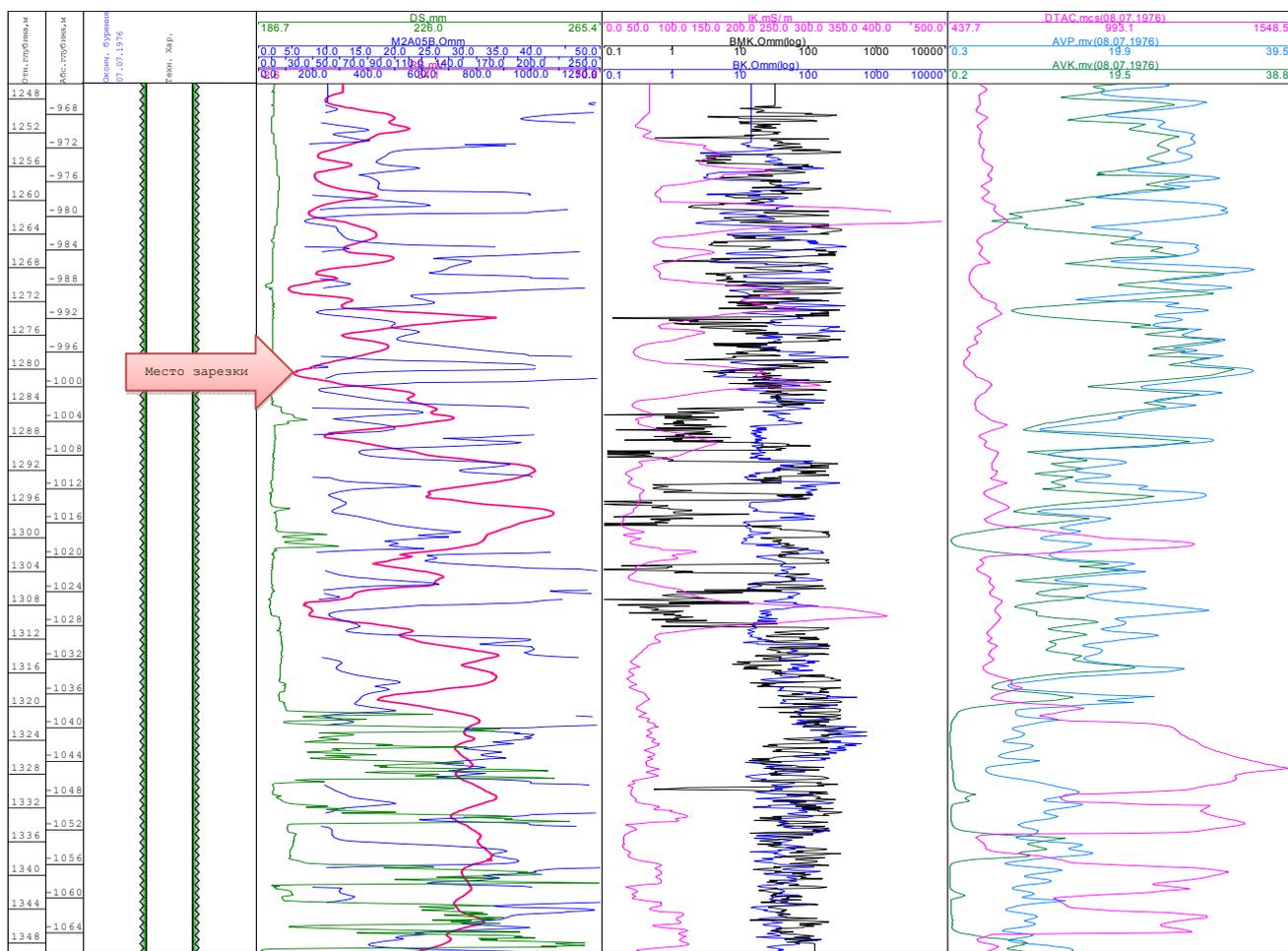


Рис. 2. Выбор интервала зарезки скважины по данным каротажной диаграммы

Таблица 2

Отчет по инклинометрии скважины 754 Кокуйского месторождения (интервал анализа по стволу – от 1280 до 2552,33 м)

Глубина по стволу, м	Зенитный угол, град	Азимут магнитный, град	Азимут истинный, град	Глубина по вертикали, м	Абсолютная отметка, м	Глобальное смещение к северу, м	Глобальное смещение к востоку, м	Пространственная интенсивность, град/10 м	Угол установки отклонителя, град	Интенсивность по зениту, град/10 м	Интенсивность по азимуту, град/10 м
1280,00	8,75	137,13	137,13	1213,24	-997,90	50444,40	46472,63	0,152	-90,49	0,000	-1,000
1290,00	9,75	151,43	151,43	1223,11	-1007,77	50443,09	46473,57	2,507	66,49	1,000	14,300
1300,00	9,75	151,43	151,43	1232,97	1017,63	50441,61	46474,38	0,000	0,00	0,000	0,000
1455,08	56,81	223,20	223,20	1361,61	1146,27	50377,93	46433,10	3,500	78,25	3,035	4,628
1935,04	56,81	223,20	223,20	1624,34	1409,00	50085,14	46158,14	0,000	0,00	0,000	0,000
2552,33	2,37	223,20	223,20	2141,16	1925,82	49871,20	45957,25	0,882	-180,00	-0,882	0,000

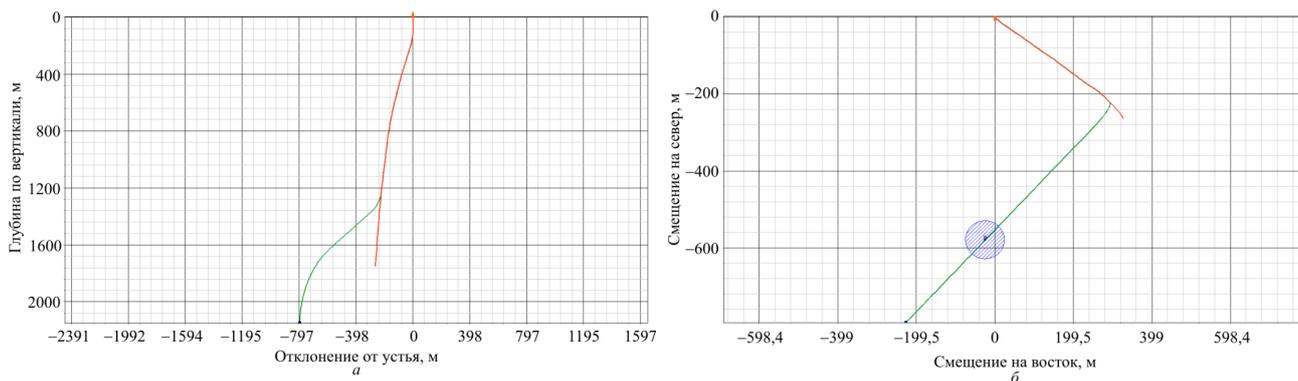


Рис. 3. Вертикальная (а) и горизонтальная (б) проекции бокового ствола

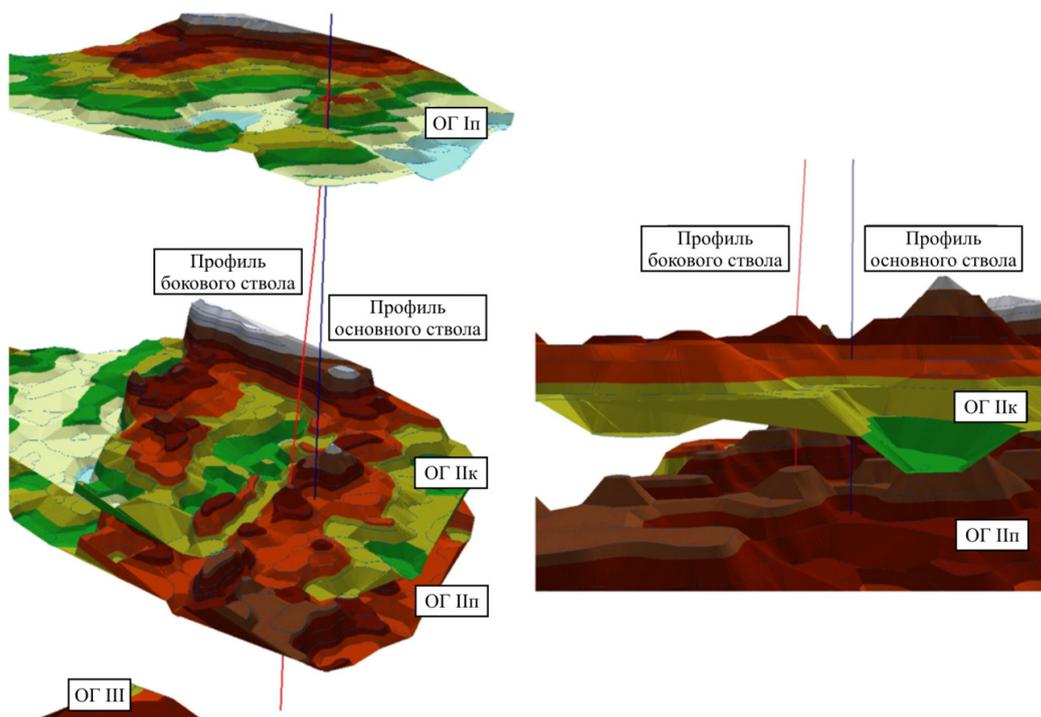


Рис. 4. Построение профиля проектируемого бокового ствола скважины относительно основных отражающих горизонтов (ОГ)

Таблица 3

Промыслово-геофизические исследования

Виды исследований*	Масштаб записи	Примечания
БКЗ-5 уст., ГК, ННК, ИК, БК, АК с ВС, ДС, ГГК-ЛП, МЗ, МБК, ЭМС, СГК	1:200	Промежуточный каротаж после проходки нижнекаменноугольных отложений
ГК, ННК, АК с ВС, ДС, ГГК-ЛП	1:500	После окончания бурения скважины
БКЗ-5 уст., ИК, БК, МБК, МЗ, ДС, ГК, ННК, АК с ВС, ГГК-ЛП, ЭМС, СГК	1:200	
ГК, ННК, ДС	1:200	Привязочный каротаж перед отбором керна
ГК, ННК, БК, ДС	1:200	Привязочный каротаж перед опробованием пласта трубными испытателями
Комплекс исследований по контролю за техническим состоянием скважин		
АКЦ, ГГЦ (СГДТ), ЭМДСТ	1:500	По всему стволу не ранее 48 ч после спуска эксплуатационной колонны
АКЦ-С, ГГЦ (СГДТ), ЭМДСТ	1:200	В интервалах детальных исследований

Примечание: \* – список сокращений видов исследований представлен в «Технической инструкции по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. РД 153-39.0-072-01», утвержденной МПР, Приказ № 134 от 07.05.2001.

Стоимость и срок окупаемости капитальных затрат на строительство бокового ствола значительно ниже аналогичных показателей бурения новой скважины за счет использования части ствола существующей скважины и имеющейся инфраструктуры месторождения. Технико-экономический расчет выявил, что планируемые работы

удовлетворяют условиям эффективности проектов ПАО «ЛУКОЙЛ» и могут быть рекомендованы к внедрению [39].

Таким образом, реализация намеченных предложений позволит минимизировать затраты, связанные с приростом запасов, а сроки ввода в разработку вновь открываемых запасов будут сокращены.

#### Библиографический список

1. Анализ позитивного и негативного влияния разрывных нарушений на сохранность залежей углеводородов на юго-востоке Пермского края / К.В. Попова, Л.С. Додонова, А.В. Габнасыров, С.И. Соловьев, А.И. Сулима, А.Н. Безукладников, И.С. Путилов, А.Ю. Назаров, Е.В. Пятунина // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2017. – № 10. – С. 4–11.
2. Бояршинова М.Г., Винокурова Е.Е., Пятунина Е.В. Особенности литолого-фациального строения карбонатной толщи фаменского яруса Забродовской площади в связи с перспективами нефтегазоносности // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 4. – С. 10–12.
3. О возможности прогнозирования нефтегазоносности фаменских отложений с помощью построения вероятностно-статических моделей / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривошеков, Е.В. Пятунина, С.Н. Пестова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 10. – С. 22–27.
4. Нефтегазовый потенциал Березниковского палеоплато (Пермский край) по геохимическим данным / М.Г. Фрик, И.С. Батова, Н.В. Быкова, Ж.А. Хакимова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 8. – С. 45–58.
5. Нефти и газы Березниковского палеоплато на севере Пермского края / М.Г. Фрик, Г.И. Титова, И.К. Батуев, Ж.А. Хакимова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 11. – С. 11–16.
6. Путилов И.С., Винокурова Е.Е., Хакимова Ж.А. Изучение размещения эффективных толщин визейских терригенных отложений Башкирского свода по результатам интерпретации сейсморазведки 3D // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2012. – № 4. – С. 49–53.
7. Пятунина Е.В., Хакимова Ж.А., Неганов В.М. Особенности развития коллекторов визейской терригенной толщи и перспективы их обнаружения на юго-востоке Пермского края // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 10. – С. 27–32.
8. Устькачкинцев Е.Н. Повышение эффективности строительства боковых стволов на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – Т. 11, № 5. – С. 39–46.
9. Эффективность нефтеизвлечения скважин с боковыми стволами / М.И. Забоева, Б.А. Суеров, Е.С. Лапутина, О.П. Зотова // Академический журнал Западной Сибири. – 2014. – Т. 10, № 1 (50). – С. 119–120.
10. Филатов М.А., Рябчевских М.Ю. Обоснование эффективности боковых стволов при многовариантном геолого-гидродинамическом моделировании на основе геолого-промыслового анализа // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2015. – № 1. – С. 168–172.
11. Бариев О.И. Моделирование боковых стволов // Академический журнал Западной Сибири. – 2015. – Т. 11, № 2 (57). – С. 13–14.
12. Комплексный подход к планированию боковых стволов / А.В. Распопов, А.С. Казанцев, Д.В. Леонтьев, С.В. Летунова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 12. – С. 52–55.
13. Повышение эффективности разработки месторождений на завершающей стадии бурением дополнительных стволов / А.В. Распопов, Ю.Х. Ширяев, Г.Г. Даниленко, Н.С. Галицина, Т.П. Михеева // Нефтяное хозяйство. – 2001. – № 7. – С. 51–53.
14. Куликов С.В. Капитальный ремонт скважин резкой боковых стволов // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 12. – С. 71–75.
15. Гильязов Р.М. Бурение нефтяных скважин с боковыми стволами. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. – 255 с.

16. Kolba P., Klimov M. Sidetrack and well deepening operations in the Jurassic Formation of Vnygapur oil field // SPE. – 2010. – Oct. – P. 26–28. DOI: 10.2118/138061-RU
17. Варушкин С.В. Проект доразведки фаменских отложений путем бурения боковых стволов и углубления скважин проектного эксплуатационного фонда ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр.: в 2 т. / отв. ред. Р.Р. Гильмутдинов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – Т. 1. – С. 196–197.
18. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности (зарегистрировано в Минюсте России 19.04.2013 № 28222; с изм. и доп. вступ. в силу с 01.01.2017): утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.03.2013 № 101 [Электронный ресурс]. – URL: <https://tk-servis.ru/uploads/files/ntd-20150306-203247.pdf> (дата обращения: 12.02.2018).
19. Буслаев В.Ф. Техничко-технологические решения по строительству горизонтальных и разветвленных скважин // Бурение скважин. – 1992. – № 10. – С. 8–12.
20. Clements W.R., Jelsma H.H. Horizontal wells pose special hydraulic design considerations // Petroleum Engineer International. – 1989. – 61 (11). – P. 45–51.
21. Crouse P.C. Horizontal drilling spurs optimism // World Oil. – 1991. – Vol. 212, № 2. – P. 35–37.
22. Skelton J.H. Louisiana horisontal well taps oil in area of salt related fracturing // Oil and Gas J. – 1992. – Vol. 90, № 27. – P. 88–90.
23. Особенности резки дополнительного ствола в эксплуатационной колонне скважины / Р.А. Ахтямов, И.Р. Сафиуллин, Р.В. Хакимов, В.С. Хакимов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2014. – № 3. – С. 15–18.
24. Типовые технико-технологические решения на бурение боковых стволов из эксплуатационных скважин на основе использования современных технических средств и технологий / ОАО НК «ЛУКОЙЛ». – М., 2005.
25. Техника и технология строительства боковых стволов в нефтяных и газовых скважинах: учеб. пособие / В.М. Шенбергер, Г.П. Зозуля, М.Г. Гейхман, И.С. Матиешин, А.В. Кустышев. – Тюмень: Изд-во Тюменск. гос. нефтегаз. ун-та, 2006. – 573 с.
26. Aadnoy B.S., Chenevert M.E. Stability of highly inclined bore-holes // SPE Drilling Engineering. – 1987. – Vol. 2, iss. 04. – P. 364–374. DOI: 10.2118/16052-PA
27. Gray G.R., Darly H.C., Rogers W.F. Composition and properties of oil well drilling fluids. – Houston: Gulf Publishing Co., 1980. – 630 p.
28. Al-Ajmi A.M., Zimmerman R.W. A new well path optimization model for increased mechanical borehole stability // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2009. – Vol. 69, iss. 1–2. – P. 53–62. DOI: 10.1016/j.petrol.2009.05.018
29. Chen X., Tan, C.P., Detournay C. A study on wellbore stability in fractured rock masses with impact of mud infiltration // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2003. – Vol. 38, iss. 3–4. – P. 145–154. DOI: 10.1016/S0920-4105(03)00028-7
30. An integrated computer based method to maximize infill drilling, sidetracking and workover potential in multiple stacked hydrocarbon reservoirs / T. Friedel, R.L. Trebelle, S. Flew, W. Belfield, N. Syaifullah, C. Curteis, J. Meyer, F. Caretta // Asia Pacific Oil and Gas Conference & Exhibition, 4–6 August. – Jakarta, Indonesia. – 2009. – Aug. – P. 18. DOI: 10.2118/123711-MS
31. Zeynali M.E. Mechanical and physico-chemical aspects of wellbore stability during drilling operations // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2012. – Vol. 82–83. – P. 120–124. DOI: 10.1016/j.petrol.2012.01.006
32. Kleverlaan M., Lawless A. Through tubing rotary drilling: a cost-effective method for sidetracking wells in mature assets // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 26–29 September. – Houston, 2004. DOI: 10.2118/91005-MS
33. Milling reliability curves as decision-making tools in cased hole sidetracking applications / D. Palomino, C. Pinard, S. Steinke, B. Moss // IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference / Society of Petroleum Engineers, Singapore, 22–24 August 2016. DOI: 10.2118/180525-MS
34. Garfield G. L., Mackenzie G. Latest developments and new technologies for coiled-tubing sidetracking applications // IADC/SPE Drilling Conference, Society of Petroleum Engineers, 4–6 March 2008, Orlando, Florida. DOI: 10.2118/112587-MS
35. Smalley M.T., Teale D.W., Haq M.A. Workover well operations to restore full reservoir access in an underground natural-gas-storage cavern: a case study for developing new technology in dual-string section milling methods // SPE Western Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers, 23–27 April 2017, Bakersfield, California. DOI: 10.2118/185702-MS
36. Поваляхин А.С., Коваленко В.В., Солодкий К.М. Вопросы проектирования пространственного профиля горизонтальных скважин и боковых стволов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2012. – № 1. – С. 8–11.

37. Легаев Я.В., Халимов М.А. Профили боковых стволов с горизонтальным окончанием и выбор траектории бурения для снижения затрат при строительстве боковых стволов // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 3. – С. 35–40.

38. Особенности интерпретации результатов исследования боковых стволов испытателями пластов на трубах / Р.А. Ахтямов, И.Р. Сафиуллин, Р.В. Хахимов, В.С. Хахимов // Геология, геофизика и разработка

нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 5. – С. 35–39.

39. Волкова О.А., Лобанова Д.В., Поплаухина Т.Б. Учет прироста запасов от бурения боковых стволов при геолого-экономической оценке запасов по международным стандартам // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – Т. 11, № 3. – С. 94–103.

### References

1. Popova K.V., Dodonova L.S., Gabnasyrov A.V., Solovov S.I., Sulima A.I., Bezukladnikov A.N., Putilov I.S., Nazarov A.Yu., Pyatunina E.V. Analiz pozitivnogo i negativnogo vliyaniya razryvnykh narusheniy na sokhrannost zalezhey uglevodorodov na yugo-vostoke Permskogo kraia [Analysis of faults' positive and negative influence on undamaged state of hydrocarbon deposits in the south-east of Perm region]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2017, no.10, pp.4-11.

2. Boyarshinova M.G., Vinokurova E.E., Pyatunina E.V. Osobennosti litologo-fatsialnogo stroeniya karbonatnoy tolshchi famenskogo yarusy Zabrodovskoy ploshchadi v svyazi s perspektivami neftegazonosnosti [Discussion of some specific features of lithological-facial structure of carbonate strata of famennian stage of Zabrodovsky territory because of prospects of its oil and gas potential]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2015, no.4, pp.10-12.

3. Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Pyatunina E.V., Pestova S.N. O vozmozhnosti prognozirovaniya neftegazonosnosti famenskikh otlozheniy s pomoshchyu postroeniya veroyatnostno-staticheskikh modeley [On the possibility of predicting the petroleum potential of Famennian sediments using the construction of probabilistic-static models]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2007, no.10, pp.22-27.

4. Frik M.G., Batova I.S., Bykova N.V., Khakimova Zh.A. Neftegazovyy potentsial Bereznikovskogo paleoplato (Permskii krai) po geokhimicheskim dannym [Oil and gas potential of the Bereznikovskiy paleoplato (Perm region) according to geochemical data]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2007, no.8, pp.45-58.

5. Frik M.G., Titova G.I., Batuev I.K., Khakimova Zh.A. Nefti i gazy bereznikovskogo paleoplato na severe Permskogo kraia [Oil and gases of the Berezniki paleoplato in the north of the Perm region]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2007, no.11, pp.11-16.

6. Putilov I.S., Vinokurova E.E., Khakimova Zh.A. Izuchenie razmeshcheniya effektivnykh tolshchin vizeyskikh terrigennykh otlozheniy Bashkirskogo svoda

po rezul'tatam interpretatsii seysmorazvedki 3D [Studying of regularities of efficient thicknesses location of Visean terrigenous formations of Bashkir fold on the basis of data interpretation of 3D seismic survey]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2012, no.4, pp.49-53.

7. Piatunina E.V., Khakimova Zh.A., Neganov V.M. Osobennosti razvitiya kollektorov vizeiskoi terrigennoi tolshchi i perspektivy ikh obnaruzheniya na yugo-vostoke Permskogo kraia [Features of development of reservoirs of the Visean terrigenous sequence and prospects for their discovery in the south-east of the Perm region]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2007, no.10, pp.27-32.

8. Ust'kachincev E.N. Increase productivity of construction in sidetrack of Verkhnekamsk potassium-magnesium salts field. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2012, vol.11, no.5, pp.39-46c.

9. Zaboeva M.I., Suerov B.A., Laputina E.S., Zotova O.P. Effektivnost nefteizvlecheniya skvazhin s bokovymi stvolami [Efficiency of oil recovery of wells with side tracks]. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoy Sibiri*, 2014, vol.10, no.1(50), pp.119-120.

10. Filatov M.A., Ryabchevskikh M.Yu. Obosnovanie effektivnosti bokovykh stvolov pri mnogovariantnom geologo-gidrodinamicheskom modelirovanii na osnove geologo-promyslovogo analiza [Justification of the efficiency of side tracks in case of multivariate geological and hydrodynamic modeling based on geological field analysis]. *Problemy razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh*, 2015, no.1, pp.168-172.

11. Bariev O.I. Modelirovaniye bokovykh stvolov [Sidetrack modelling]. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoy Sibiri*, 2015, vol.11, no.2(57), pp.13-14.

12. Raspopov A.V., Kazantsev A.S., Leontev D.V., Letunova S.V. Kompleksnyy podkhod k planirovaniyu bokovykh stvolov [Integrated approach to sidetracking planning]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2015, no.12, pp.52-55.

13. Raspopov A.V., Shiryayev Yu.Kh., Danilenko G.G., Galitsina N.S., Mikheeva T.P. Povyshenie effektivnosti razrabotki mestorozhdeniy na zavershayushchey stadii bureniem dopolnitelnykh stvolov [Improving the efficiency of field development at the final stage by drilling additional tracks]. *Oil industry*, 2001, no.7, pp.51-53.
14. Kulikov S.V. Kapitalnyy remont skvazhin zarezkoj bokovykh stvolov [Well workover with sidetracking]. *Neft. Gaz. Novatsii*, 2011, no.12, pp.71-75.
15. Gilyazov R.M. Burenie neftyanykh skvazhin s bokovymi stvolami [Drilling of oil wells with sidetracks]. Moscow, Nedra-Biznestsentr, 2002, 255 p.
16. Kolba P., Klimov M. Sidetrack and well deepening operations in the Jurassic Formation of Vyngapur oil field. *SPE*, 2010, Oct, pp.26-28. DOI: 10.2118/138061-RU
17. Varushkin S.V. Proekt dorazvedki famenskikh otlozheniy putem bureniya bokovykh stvolov i uglubleniya skvazhin proektnogo ekspluatatsionnogo fonda OOO "LUKOYL-PERM" [The supplementary exploration project for the Famennian deposits by drilling lateral shafts and deepening wells of the design operational fund of LUKOIL-PERM LLC]. *Geologiya v razvivayushchemsya mire*. Ed. R.R. Gilmutdinov. Perm, Permskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatel'skiy universitet, 2017, vol.1, pp.196-197.
18. Pravila bezopasnosti v neftyanoy i gazovoy promyshlennosti [Safety rules in oil and gas industry], available at: <https://tk-servis.ru/uploads/files/ntd-20150306-203247.pdf> (accessed 12 Februar 2018).
19. Buslaev V.F. Tekhniko-tehnologicheskie resheniya po stroitelstvu gorizontalnykh i razvetvlennykh skvazhin [Technical and technological solutions for construction of horizontal and multilateral wells]. *Burenie skvazhin*, 1992, no.10, pp.8-12.
20. Clements W.R., Jelsma H.H. Horizontal wells pose special hydraulic design considerations. *Petroleum Engineer International*. 1989, 61(11), pp.45-51.
21. Crouse P.C. Horizontal drilling spurs optimism. *World Oil*, 1991, vol.212, no.2, pp.35-37.
22. Skelton J.H. Louisiana horisontal well taps oil in area of salt related fracturing. *Oil and Gas J*, 1992, vol.90, no.27, pp.88-90.
23. Akhtyamov R.A., Safiullin I.R., Khakimov R.V., Khakimov V.S. Osobennosti zarezki dopolnitelnogo stvola v ekspluatatsionnoy kolonne skvazhiny [Features of additional borehole drilling in a production string]. *Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2014, no.3, pp.15-18.
24. Tipovye tekhniko-tehnologicheskie resheniya na burenie bokovykh stvolov iz ekspluatatsionnykh skvazhin na osnove ispolzovaniya sovremennykh tekhnicheskikh sredstv i tekhnologiy [Typical technical and technological solutions for drilling sidetracks from production wells based on use of modern technical means and technologies]. Moscow, OAO NK "LUKOYL", 2005.
25. Shenberger V.M., Zozulya G.P., Geykhman M.G., Matieshin I.S., Kustyshev A.V. Tekhnika i tekhnologiya stroitelstva bokovykh stvolov v neftyanykh i gazovykh skvazhinakh [Technique and technology of the construction of sidetracks in oil and gas wells]. *Tyumen, Izdatel'stvo tyumenskogo gosudarstvennogo neftegazovogo universiteta*, 2006, 573 p.
26. Aadnoy B.S., Chenevert M.E. Stability of highly inclined bore-holes. *SPE Drilling Engineering*, 1987, vol.2, iss.04, pp.364-374. DOI: 10.2118/16052-PA
27. Gray G.R., Darly H.C., Rogers W.F. Composition and properties of oil well drilling fluids. Houston, Gulf Publishing Co., 1980, 630 p.
28. Al-Ajmi A.M., Zimmerman R.W. A new well path optimization model for increased mechanical borehole stability. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2009, vol.69, iss.1-2, pp.53-62, DOI: 10.1016/j.petrol.2009.05.018
29. Chen X., Tan, C.P., Detournay C. A study on wellbore stability in fractured rock masses with impact of mud infiltration. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2003, vol.38, iss.3-4, pp.145-154. DOI: 10.1016/S0920-4105(03)00028-7
30. Friedel T., Trebelle R.L., Flew S., Belfield W., Syaifullah N., Curteis C., Meyer J., Caretta F. An integrated computer based method to maximize infill drilling, sidetracking and workover potential in multiple stacked hydrocarbon reservoirs. *Asia Pacific Oil and Gas Conference & Exhibition*, 4-6 August, Jakarta, Indonesia, 2009, p.18. DOI: 10.2118/123711-MS
31. Zeynali M.E. Mechanical and physico-chemical aspects of wellbore stability during drilling operations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2012, vol.82-83, pp.120-124. DOI: 10.1016/j.petrol.2012.01.006
32. Kleverlaan M., Lawless A. Through tubing rotary drilling: a cost-effective method for sidetracking wells in mature assets. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 26-29 September, Houston, Texas, 2004. DOI: 10.2118/91005-MS
33. Palomino D., Pinar C., Steinke S., Moss B. Milling reliability curves as decision-making tools in cased hole sidetracking applications. *IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference*, Society of Petroleum Engineers, 22-24 August 2016, Singapore. DOI: 10.2118/180525-MS
34. Garfield G.L., Mackenzie G. Latest developments and new technologies for coiled-tubing sidetracking

applications. *IADC/SPE Drilling Conference, Society of Petroleum Engineers*, 4-6 March 2008, Orlando, Florida, USA. DOI: 10.2118/112587-MS

35. Smalley M.T., Teale D.W., Haq M.A. Workover well operations to restore full reservoir access in an underground natural-gas-storage cavern: a case study for developing new technology in dual-string section milling methods. *SPE Western Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers*, 23-27 April 2017, Bakersfield, California. DOI: 10.2118/185702-MS

36. Povalikhin A.S., Kovalenko V.V., Solodkiy K.M. Voprosy proektirovaniya prostranstvennogo profilya gorizontalnykh skvazhin i bokovykh stvolov [Questions on design of the spatial profile of horizontal wells and sidetracks]. *Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2012, no.1, pp.8-11.

37. Legaev Ya.V., Khalimov M.A. Profili bokovykh stvolov s gorizontalnym okonchaniem i vybor traektorii

bureniya dlya snizheniya zatrat pri stroitelstve bokovykh stvolov [Profiles of side tracks with a horizontal end and way to select drilling path in order to reduce costs of sidetracking]. *Oilfield engineering*, 2008, no.3, pp.35-40.

38. Akhtyamov R.A., Safiullin I.R., Khakimov R.V., Khakimov V.S. Osobennosti interpretatsii rezultatov issledovaniya bokovykh stvolov ispytatelnyimi plastov na trubakh [Some peculiarities of data interpretation received during lateral holes studying by means of layer pipe testers]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2011, no.5, pp.35-39.

39. Volkova O.A., Lobanov D.S., Poplauhina T.B. The reserves increase account due to well side tracking in petroleum geological and economic evaluation according to international standards. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2012, vol.11, no.3, pp.94-103.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Варушкин С.В., Хакимова Ж.А. Проектирование геолого-разведочных работ методом строительства боковых стволов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т.18, №1. – С.16–27. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.2

Please cite this article in English as:

Varushkin S.V., Khakimova Zh.A. The design of geological exploration with side track drilling. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2018, vol.18, no.1, pp.16-27. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.2