

11.2019



ВНИИОЭНГ

**Строительство
нефтяных
и
газовых
СКВАЖИН**

**на суше
и на море**

**Construction
of oil and gas wells on land
and sea**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0130-3872

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И БУРЕНИЕ СКВАЖИН ОПТИМИЗИРОВАННОГО ДИЗАЙНА

С.А. Ильичев¹, В.В. Кульчицкий², В.П. Спиридонов¹, А.В. Пимонов¹, Д.А. Иванов¹, Д.Н. Чернобай³
 (¹ОАО "Славнефть-Мегионнефтегаз", ²ЗАО "СибНИПИ "Нефтяные горизонты"", ³АО "Научно-исследовательский и проектный центр газонефтяных технологий")

В статье представлен опыт проектирования скважин высокого уровня сложности – оптимизированного дизайна (СОД). По результатам опытно-промышленных испытаний бурения СОД показана эффективность равнопроходного заканчивания скважин. Применение растворов на углеводородной основе позволило решить проблему неустойчивости ствола скважины, что позволило отказаться от крепления зон, ранее несовместимых по условиям бурения. Строительство скважин высокого уровня сложности, к которым относятся и СОД, помимо новых технико-технологических и проектных решений, требует радикального изменения организации управления буровыми работами, направленными на взаимодействие бурового экипажа в составе представителей сервисных подрядчиков в едином пространстве для принятия верных решений.

Ключевые слова: групповой рабочий проект; скважина оптимизированного дизайна; раствор на углеводородной основе; ступенчатая эксплуатационная колонна; буровой экипаж.

DOI: 10.30713/0130-3872-2019-11-8-12

PROJECTING AND DRILLING WELLS OF OPTIMIZED DESIGN

S.A. Ilyichev¹, V.V. Kulchitsky², V.P. Spiridonov¹, A.V. Pimonov¹, D.A. Ivanov¹, D.N. Chernobay³
 (¹JSC "Slavneft-Megionneftegaz", ²JSC SibNIP "Oil Horizons", ³JSC "Scientific Research and Design Center of Gas and Oil Technologies")

The paper presents the experience of designing wells of high complexity – wells of an optimized design (WOD). According to the results of pilot tests of WOD drilling, the effectiveness of an internal-flush well completion is shown. The use of hydrocarbon-based solutions allowed to solve the problem of a wellbore instability, thus providing abandonment of the zones fastening previously incompatible with drilling conditions. The construction of high complexity wells, which include WOD, in addition to new technical, technological and design solutions, requires a radical change of organization of drilling works management aimed at the interaction of the drilling crew consisting of representatives of service contractors in a single space for making the right decisions.

Keywords: group working project; well of optimized design; hydrocarbon-based solution; stepped production casing string; drilling crew.

Практика бурения скважин с протяженным горизонтальным стволом с учетом технико-технологических и горно-геологических условий Западной Сибири основана на классическом критерии перекрытия обсадной колонной $\varnothing 177,8...146$ мм неустойчивых интервалов набухающих глин кошайской свиты и сыпучих аргиллитов баженовской свиты (скважины на пласты ЮВ) с последующим бурением горизонтального ствола долотом меньшего диаметра и спуска хвостовика. В результате эксплуатационная колонна несет функции и промежуточной, а хвостовик – эксплуатационной колонны, обеспечивающей гидравлическую связь продуктивного пласта с устьем скважины.

Сибирский научно-исследовательский и проектный институт "Нефтяные горизонты" 25 лет разрабатывает проектную документацию на строительство горизонтальных скважин высокого уровня сложности в Западной Сибири, в том числе для ОАО "Славнефть-Мегионнефтегаз", отражая научно-технический прогресс разработки нефтяных месторождений в проектные решения [1].

Проектирование конструкции скважины с позиции сокращения цикла бурения ставит задачу минимизации числа обсадных колонн, необходимых для данных геологических условий. Вместе с тем конструкция скважины должна обеспечивать:

– максимальное использование пластовой энергии продуктивных горизонтов в процессе эксплуатации за счет выбора оптимального диаметра эксплуатационной колонны и возможности достижения проектного уровня гидродинамической связи пласта со стволом скважины;

– применение эффективного оборудования, оптимальных способов и режимов эксплуатации, поддержания пластового давления и других методов повышения нефтеотдачи пластов;

– условия безопасного ведения работ без аварий и осложнений на всех этапах строительства и эксплуатации скважины;

– условия охраны недр и окружающей среды: в первую очередь за счет прочности крепи скважины, герметичности обсадных колонн и кольцевых пространств, а также изоляции флюидосодержащих горизонтов друг от друга, от проницаемых пород и дневной поверхности;

– оптимальную унификацию по типоразмерам обсадных труб и ствола скважины.

Для бурения скважин оптимизированного дизайна (СОД) совмещением эксплуатационной колонны с хвостовиком СибНИПИ "Нефтяные горизонты" запроектировал раствор на углеводородной основе (РУО) системы UNIDRIL на основе низкотоксичного

минерального масла, обладающего ингибирующими и смазывающими характеристиками, недостижимыми при использовании растворов на водной основе [2].

Основные требования к РУО для бурения под эксплуатационную колонну:

- обеспечение полного выноса шлама и сохранение устойчивости стенок скважины;
- минимизация наработки раствора;
- предупреждение прихватов, затяжек и посадок бурильного инструмента;
- недопущение гидроразрыва пласта при СПО;
- не вызывать коррозии и преждевременного износа бурового оборудования и т. п.

При бурении под эксплуатационную колонну особое внимание следует уделять плотности раствора, уровню водоотдачи, вязкости раствора и состоянию ствола скважины. Если позволяет устойчивость стенок скважины, плотность раствора следует поддерживать на минимальном уровне с целью снижения содержания твердой фазы в растворе, увеличения скорости проходки. Пластическую вязкость раствора следует поддерживать как можно ниже для снижения потерь давления, динамическое напряжение сдвига следует поддерживать на уровне не менее 72...96 дПа (15...20 фунт/100 фут²) для обеспечения качественной очистки ствола скважины. При проявлении признаков обвала стенок скважины рекомендуется увеличить плотность и вязкость раствора и снизить водоотдачу.

Для бурения ствола под эксплуатационную колонну проектом предусматривается применение РУО, имеющего следующие преимущества перед растворами на водной основе:

- широкий диапазон рабочих плотностей (от 920 до 2300 кг/м³) для работы как в нормальных условиях, так и в условиях АВПД;
- высокая стабильность и устойчивость к загрязнениям позволяют многократно повторно использовать раствор и, как следствие, снижать затраты на его приготовление;
- высокие смазывающие способности смягчают ограничения для бурения скважин со сложным профилем и/или с большим отходом от вертикали;
- тонкая корка и низкая фильтрация раствора в пласт вместе с непревзойденными ингибирующими способностями гарантируют минимальное загрязнение продуктивного пласта, высокую стабильность ствола скважины в пропластках неустойчивых глинистых отложений при больших зенитных углах и в интервалах активных глин;
- отсутствие воды в фильтрате;
- практически полное устранение дифференциальных прихватов;
- низкие требования к оборудованию очистки раствора;
- отсутствие коррозии инструмента.

РУО является практически единственным вариантом бурового раствора при бурении скважин с большим отходом и протяженным горизонтальным стволом, поскольку обеспечивает максимально возмож-

ную стабильность ствола, сложенного склонными к разупрочнению породами, также позволяет управлять инструментом в процессе бурения за счет низкого коэффициента трения. Система UNIDRIL устойчива к загрязнению водой и выбуренной породой. Существующие схемы переработки растворов позволяют практически полностью возвращать самый дорогой компонент таких систем – минеральное масло. Наличие нескольких кустов и достаточного числа скважин значительно экономит средства и снижает отходы бурения при использовании всех преимуществ, свойственных инвертным эмульсиям. В табл. 1 приведены проектные параметры РУО для СОД на пласты группы АВ.

Таблица 1

Проектные параметры РУО	
Плотность, г/см ³	1,14...1,16
Температура замера реологии, °С	65
Пластическая вязкость, мПа·с	<25
ДНС, фунт/100 фут ²	8...18
СНС 10 с/10 мин, фунт/100 фут ²	5...10/10...15
Фильтрация НГНР при температуре 85 °С, мл/30 мин	3...4
Электростабильность, В	400...600
Водонефтяное отношение, %	75/25...80/20
Содержание СаСО ₃ , кг/м ³	>100
Содержание песка, %	0,5
Корка	0,5

РУО обладает улучшенным реологическим профилем с низкими значениями фильтрации при высоких температуре и давлении, а также высокой устойчивостью к выбуренной породе и термостабильностью. Еще одним достоинством РУО является то, что попадание воды практически не оказывает влияния на свойства раствора и механическую скорость бурения. Применение РУО позволило решить проблемы, связанные с неустойчивостью ствола скважины, отказаться от крепления зон, ранее несовместимых по условиям бурения, проводить горизонтальные стволы по сложной траектории со значительным увеличением продуктивности скважин, особенно из низкопроницаемых коллекторов.

Основные компоненты РУО: эмульгатор, гидрофобизатор, понизитель фильтрации, неорганический ингибитор СаСl₂, известь, органобентонит, регулятор вязкости, мраморная крошка (карбонат кальция). В качестве дополнительных реагентов применяется барит (при необходимости утяжеления). Основа РУО – минеральное масло для понижения фильтрации применяется как в условиях невысоких забойных температур, так и при высоких давлении и температуре, способствует общему повышению устойчивости эмульсии, термостабильности и несущей способности. СаСl₂ применяется в качестве ингибитора глинистых отложений и утяжелителя. Известь – источник ионов Са⁺ и регулятор щелочности. Органобентонит добавляется для увеличения СНС и вязкости. Мраморная крошка (карбонат кальция) предназначена для достижения эффективной кольматации пор вблизи стенок ствола, образования тонкой кислотораствори-

мой корки, регулирования плотности бурового раствора. Регулятор вязкости снижает вязкость и статическое напряжение сдвига во всех инвертно-эмульсионных жидкостях РУО без необходимости разбавления или изменения отношения масло/вода. Гидрофобизатор улучшает температурную и реологическую стабильность эмульсии и обеспечивает контроль фильтрации и устойчивость к загрязнениям. Для получения стабильной эмульсии РУО необходимо использовать гидравлический диспергатор типа ДГ-40.

Для создания гидродинамической связи с продуктивным пластом и проведения многостадийного ГРП в составе 140-мм секции ступенчатой колонны проектом предусматриваются муфты BPS (Burst Port System). Для открытия муфт BPS используется пакерная компоновка селективного действия С2С, исключая воздействие высокого давления при ГРП на обсадную колонну. Беспрепятственный спуск ступенчатой эксплуатационной колонны (СЭК) переменного условного диаметра 146-140 мм с муфтами Ø 166 и 159 мм, соответственно, обеспечивается применением для бурения интервала из-под башмака кондуктора долота Ø 220,7 мм, формирующего кольцевой зазор, гарантирующий качественное цементирование согласно п. 2.5.1 РД 39-00147001-767-2000 (рис. 1).

Ресурс непрерывной работы долота режущестирающего действия, телеметрической системы и забойного двигателя-отклонителя составляет сотни часов [3]. Объединение этих возможностей с РУО позволило решить поставленную задачу сокращения цикла бурения скважин за счет исключения хвостовика из состава обсадных колонн. Бурение из-под башмака кондуктора ствола одним диаметром долота до проектной глубины, включая протяженный горизонтальный ствол с последующим спуском СЭК, позволило сократить цикл бурения СОД по сравнению со стандартными скважинами до 59 %.

В табл. 2 представлена компоновка ступенчатой эксплуатационной колонны при заканчивании скважины оптимизированного дизайна № 2288 Ватинского месторождения.

№	Элемент СЭК	Диаметр, мм		Длина, м
		D _{вн}	D _{нар}	
A	Верхняя ступень СЭК	132,00	146,00	2162,31
B	Открытый ствол	220,70		986,00...3183,00
C	Нижняя ступень СЭК	121,60	140,00	1017,09
	Обсадная труба 146 мм	132,00	146,00	2162,31
13	Переводник 146-140	121,60	140,00	0,40
	Обсадная труба	121,60	140,00	35,76
12	Муфта BPS 10	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,60	140,00	103,57
11	Муфта BPS 9	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,60	140,00	113,65
10	Муфта BPS 8	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,60	140,00	116,37
9	Муфта BPS 7	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,60	140,00	105,77
8	Муфта BPS 6	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,60	140,00	104,32
7	Муфта BPS 5	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,60	140,00	104,98
6	Муфта BPS 4	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,60	140,00	135,59
5	Муфта BPS 3	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,60	140,00	81,30
4	Муфта BPS 2	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба	121,6	140,00	81,16
3	Муфта BPS 1	120,95	177,40	0,50
	Обсадная труба			11,12
2	Обратный клапан	63,50	153,70	0,30
	Обсадная труба			11,72
1	Башмак СЭК с обратным клапаном	63,50	153,70	0,50

Применение двух систем бурового раствора полимерного для бурения под кондуктор и дорогостоящего РУО, требующего особых условий использования при бурении под СЭК, потребовало изменения принятой тактики строительства скважин. На первом этапе бурение всех кондукторов проводят по направлению движения станка (НДС) буровой установки (БУ), на втором этапе бурение под эксплуатационные колонны – при движении БУ против НДС. При большом числе скважин на кусту возможно одновременное бурение двумя станками: мобильным – под кондуктор и эшелонного типа, оснащенного оборудованием для работы с РУО – под эксплуатационную колонну.

На рис. 2 представлено сравнение технологии бурения СОД и стандартной скважины на кусту № 214-бис Ватинского месторождения.

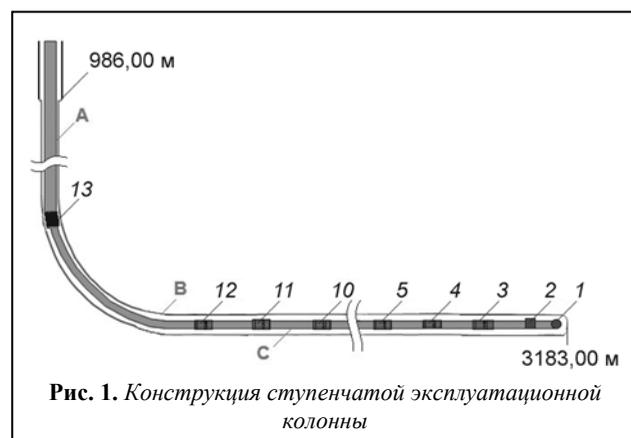


Рис. 1. Конструкция ступенчатой эксплуатационной колонны

Скважина № 2226 (стандартная)	СОД № 2228
Рейс № 1 (бурение под направление)	Рейс № 1 (бурение 0...986 м)
Рейс № 2 (спуск направления)	Рейс № 2 (спуск кондуктора)
Рейс № 3 (бурение под кондуктор)	Рейс № 3 (бурение 986...2172 м)
Рейс № 4 (спуск роторной КНБК)	Рейс № 4 (бурение 2172...3183 м)
Рейс № 5 (спуск кондуктора)	Рейс № 5 (спуск СЭК)
Рейс № 6 (бурение под ЭК)	
Рейс № 7 (спуск ЭК)	
Рейс № 8 (спуск роторной КНБК)	
Рейс № 9 (ГИС)	
Рейс № 10 (бурение под хвостовик)	
Рейс № 11 (ГИС)	
Рейс № 12 (шаблонировка)	
Рейс № 13 (спуск хвостовика)	

Рис. 2. Сравнение технологий бурения стандартной скважины и СОД

Новые проектные решения, техника и технология бурения СОД внедрены на Северо-Покурском, Ватинском и Мегионском месторождениях. Технико-экономические показатели по Ватинскому месторождению представлены в табл. 3, из которой следует системное ускорение строительства даже относительно плановых показателей, а сокращение цикла бурения СОД по сравнению со стандартными скважинами составляет до 59 %.

Таблица 3

№ п/п	№ кустовой площадки	№ скважины	Глубина, м	Длина горизонтального ствола, м	Время, сут		
					План	Факт	Ускорение
1	297	2972	2643	605	14,58	11,34	3,51
2	Ватинская	2970	2640	611	13,63	7,94	5,69
3		2976	2792	599	13,8	8,94	4,86
4		2974	2810	598	13,63	11,31	2,32
Среднее значение по кустовой площадке			2721	603	13,69	9,40	4,29
1	259/2	2275	2676	702	13,93	11,24	2,69
2	Ватинская	2286	2717	694	12,40	8,34	4,06
3		2288	2674	599	12,05	8,82	3,23
Среднее значение по кустовой площадке			2689	665	12,79	9,47	3,33
1	214-бис	2228	3183	1000	12,78	10,71	2,07
2	Ватинская	2220	3707	810	14,39	13,38	1,01
3		2222	3604	800	14,09	12,58	1,51
Среднее значение по кустовой площадке			3495	870	13,75	12,22	1,53
Среднее значение по проекту			2968	713	13,41	10,36	3,05

Эффективность техники и технологии бурения СОД:

1. Совмещение процессов цементирования направления Ø 324 мм и кондуктора Ø 245 мм.
2. Снижение потерь бурового раствора при бурении под направление до 50 м³.
3. Оптимизация временных и финансовых затрат при 5-метровых передвижках БУ.
4. Применение буровых растворов на углеводородной основе.
5. Возвращение отходов бурового раствора в круговорот потребления (рециклинг) со снижением потерь до 30 м³.
6. Снижение отходов бурения до 65 %.
7. Снижение металлоемкости конструкции за счет применения ступенчатой ЭК 146-140 мм.
8. Исключение высокорисковой операции подвески хвостовика и негерметичности.

Строительство скважин высокого уровня сложности, к которым относятся и СОД, показало, что помимо новых технико-технологических и проектных решений требуются радикальные изменения организации управления буровыми работами и сервисными предприятиями. Опытно-промышленные испытания геосупервайзинга, интеграции супервайзинга с партией цифровой станции геолого-технологических исследований (ГТИ) в офисе с открытой планировкой

(штаб-вагон) продиктованы целесообразностью взаимодействия и работы бурового экипажа, представителей сервисных подрядчиков в едином пространстве и первостепенного влияния компетенции специалистов и качества оборудования цифровой станции на принятие верных решений [3, 4]. Геосупервайзинг впервые введен в подраздел "Контроль за состоянием скважины с использованием станции (ГТИ)" раздела "Механизация и автоматизация технологических процессов. Средства контроля и диспетчеризации" группового рабочего проекта 337НГ-2018 на строительство эксплуатационных наклонно направленных скважин малого диаметра на Ватинском месторождении, пласт АВ_{1/3}.

Выводы

1. Раствор на углеводородной основе, обладающий высокими ингибирующими способностями, стабилизирующими активные глины, обеспечивает устойчивость пологой и горизонтальной частей ствола с геологическими условиями в интервалах кошайской и баженовской свит.

2. Применение технологий равнопроходного заканчивания скважин позволяет проводить многостадийный ГРП по технологии BPS.

3. Разделение бурения скважины на два этапа позволяет использовать более экономичную мобильную буровую установку полужелонного типа при бурении под направление-кондуктор.

4. Для массового перехода на строительство СОД требуется новая система управления буровым производством и работой бурового экипажа в штаб-вагоне с открытой планировкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульчицкий В.В. Пионер проектирования строительства горизонтальных скважин в Западной Сибири. 25 лет Сибирскому научно-исследовательскому проектному институту "Нефтяные горизонты" // Бурение и нефть. – 2019. – № 3. – С. 12–16.
2. Групповой рабочий проект на строительство эксплуатационных горизонтальных скважин по оптимизированному дизайну на Ватинском месторождении, пласт ЮВ1: 334НГ-2017 // Труды СибНИПИ "Нефтяные горизонты". – 2017.
3. Цифровой геосупервайзинг бурения оптимизированного дизайна скважин / С.А. Ильичев, В.В. Кульчицкий, В.П. Спиридонов [и др.] // Нефть. хоз-во. – 2019. – № 3. – С. 50–52. – DOI: 10.24887/0028-2448-2019-3-50-52
4. Кульчицкий В.В., Щебетов А.В., Пархоменко А.К. Стратегия цифровизации супервайзинга бурения и внутрискважинных работ. 10 лет Полигону ДИПО Губкинского университета // Бурение и нефть. – 2019. – № 5. – С. 34–37.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kul'chitskiy V.V. Pioner proyektirovaniya stroitel'stva gorizontol'nykh skvazhin v Zapadnoy Sibiri. 25 let Sibirskomu nauchno-issledovatel'skomu proyektnomu institutu "Neftyanyye gorizonty" // Burenije i nef't'. – 2019. – № 3. – S. 12–16.

2. *Gruppovoy rabochiy proyekt na stroitel'stvo ekspluatatsionnykh gorizonta'nykh skvazhin po optimizirovannomu dizaynu na Vatinskom mestorozhdenii, plast YuV1: 334NG-2017 // Trudy SibNIPi "Neftyanyye gorizonty". – 2017.*
 3. *Tsifrovoy geosupervayzing bureniya optimizirovannogo dizayna skvazhin / S.A. Il'ichev, V.V. Kul'chitskiy, V.P. Spiri-*

donov [i dr.] // Neft. khoz-vo. – 2019. – № 3. – S. 50–52. – DOI: 10.24887/0028-2448-2019-3-50-52
 4. *Kul'chitskiy V.V., Shchebetov A.V., Parkhomenko A.K. Strategiya tsifrovizatsii supervayzinga bureniya i vnutriskvazhinnykh robot. 10 let Poligonu DIPO Gubkinskogo universiteta // Bureniye i neft'. – 2019. – № 5. – S. 34–37.*

Станислав Алексеевич Ильичев¹,
 Валерий Владимирович Кульчицкий²,
 Василий Петрович Спиридонов¹,
 Алексей Валерьевич Пимонов¹,
 Дмитрий Алексеевич Иванов¹,
 Дмитрий Николаевич Чернобай³

Stanislav Alexeevich Ilyichev¹,
 Valery Vladimirovich Kulchitskiy²,
 Vasily Petrovich Spiridonov¹,
 Alexey Valerievich Pimonov¹,
 Dmitry Alexeevich Ivanov¹,
 Dmitry Nikolaevich Chernobay³

¹ОАО "Славнефть-Мегионнефтегаз"
 628680, Россия, ХМАО – Югра, г. Мегион, ул. А.М. Кузьмина, 51;

¹JSC "Slavneft-Megionneftegaz"
 51, A.M. Kuzmin str., Megion, 628680, Khanty-Mansi autonomous territory – Yugra, Russian Federation;

²ЗАО "СибНИПИ "Нефтяные горизонты"
 628616, Россия, ХМАО – Югра, г. Нижневартовск, ул. Нефтяников, 15, офис 1003;

²JSC SibNIPi "Oil Horizons"
 15, office 1003, Neftyanikov str., Nizhnevartovsk, 628616, Khanty-Mansi autonomous territory – Yugra, Russian Federation;

³АО "Научно-исследовательский и проектный центр газонефтяных технологий"
 115162, Россия, г. Москва, Конный пер., 12, помещение 3.12

³JSC "Scientific Research and Design Center of Gas and Oil Technologies"
 12, room 3.12, Konny pereulok, Moscow, 115162, Russian Federation

КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ: в центре внимания, в центре Москвы

20-я международная выставка
НЕФТЕГАЗ-2020
 13-16 апреля 2020 г.
 Москва, ЦВК «Экспоцентр»
www.neftegaz-expo.ru

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
 НЕФТЕГАЗОВЫЙ
 ФОРУМ
 14-15 апреля 2020 г.
 Москва, ЦВК «Экспоцентр»
www.oilandgasforum.ru



МИНПРОМТОРГ
 РОССИИ



ЭКСПОЦЕНТР
 МОСКВА

