

3. Мищенко В.И., Картунов А.В. Приготовление, очистка и дегазация буровых растворов. Краснодар: Арт Пресс, 2008. – 336 с.
4. Патент РФ № 2356648 С2, u1052 МПК В07В 1/40, В07В1/42, опуб. 27.05.2009.

## ТИПЫ ПРОФИЛЕЙ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН И СПОСОБЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.А. Райхе

Научный руководитель старший преподаватель А.В. Епихин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**Аннотация.** В статье проанализированы основные типы профилей наклонно-направленных скважин и методические основы их проектирования. Показано, что для успешной проводки трассы скважины требуется сочетание графических и аналитических методов. Доказана важность учета опыта строительства скважин в данных горно-геологических условиях, что позволит существенно снизить себестоимость бурения.

**Abstract.** The article analyzes the main types of profiles directional wells and methodological foundations of their design. It is shown that for the successful posting runs well, a combination of graphical and analytical methods. It proved the importance of taking into account the experience of the construction of wells in these geological conditions, which will significantly reduce the cost of drilling.

Сложно переоценить значение наклонно-направленного бурения для современной нефтегазовой промышленности. Вскрытие продуктивной толщи направленными, в том числе горизонтальными и разветвленно-горизонтальными скважинами, позволяет повысить продуктивность скважины за счет увеличения площади фильтрации; продлить период безводной эксплуатации скважин; увеличить степень извлечения углеводородов на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки; повысить эффективность закачки агентов в пласты; вовлечь в разработку пласты с низкими коллекторскими свойствами и с высоковязкой нефтью; освоить труднодоступные нефтегазовые месторождения, в том числе морские; улучшить технологию подземных хранилищ газа.

Направленной следует называть такую скважину, которую пробурили вдоль запроектированной пространственной трассы и попали в заданную цель, а ее забой и фильтровая зона не только располагаются в заданной области горных пород, но и ориентированы в соответствии с проектом относительно простирания пласта.

Кроме совершенствования технологии разработки нефтяных и газовых месторождений, направленные скважины эффективны во многих других случаях: при бурении в обход осложненных зон горных пород; при бурении под недоступные или занятые различными объектами участки земной поверхности; при глушении открытых фонтанов; при вскрытии крутопадающих пластов и т.д.

Частными случаями направленной скважины являются вертикальная и горизонтальная. Горизонтальная скважина – это скважина, которая имеет достаточно протяженную фильтровую зону, соизмеримую по длине с вертикальной частью ствола, пробуренную преимущественно вдоль напластования между кровлей и подошвой нефтяной или газовой залежи в определенном азимутальном направлении. Основное преимущество горизонтальных скважин по сравнению с вертикальными состоит в увеличении дебита в 2-10 раз за счет расширения области дренирования и увеличения фильтрационной поверхности.

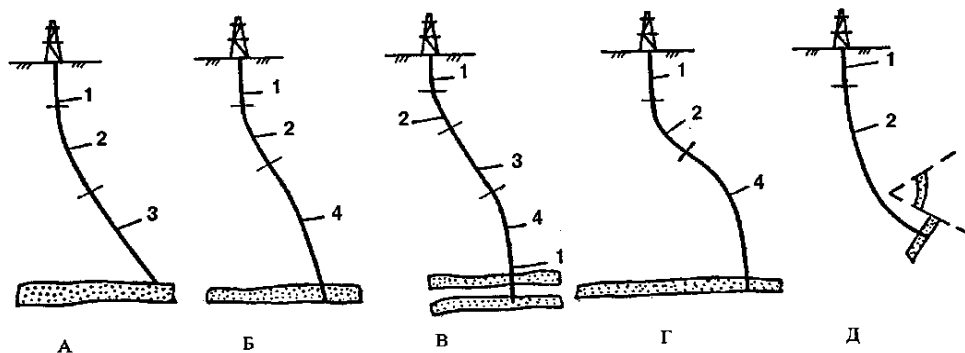
Первоочередными объектами использования направленных скважин являются:

- морские месторождения углеводородов;
- месторождения на территории с ограниченной возможностью ведения буровых работ;
- залежи высоковязких нефтей при естественном режиме фильтрации;
- низкопроницаемые, неоднородные пласты коллекторы малой мощности;
- карбонатные коллекторы с вертикальной трещиноватостью;
- переслаивающиеся залежи нефти и газа;
- залежи на поздней стадии разработки.

Основной недостаток направленных скважин – их сравнительно высокая стоимость. В начале 1980-х годов стоимость горизонтальной скважины превышала стоимость вертикальной скважины в 6-8 раз. В конце 1980-х годов это соотношение понизилось до 2-3 раз. По мере накопления опыта бурения в конкретном районе стоимость направленных скважин уменьшается и может приблизиться к стоимости вертикальных скважин. С позиций добычи нефти и газа экономически целесообразно, если извлекаемые запасы из направленной скважины во столько раз больше, во сколько раз дороже направленная скважина по сравнению с вертикальной, причем это количество нефти должно быть добыто в более короткие сроки [1, 2].

Разработанные в настоящее время виды профилей для наклонно-направленных скважин делятся на две группы: профили обычного (плоского) типа (представляющие собой кривую линию, лежащую в вертикальной плоскости) и профили пространственного типа (в виде пространственных кривых).

Типы профилей наклонно-направленных скважин обычного типа приведены на рисунке 1. Профиль типа А состоит из трех участков: вертикального 1, участка набора угла наклона ствола 2 и прямолинейного наклонного участка 3. Его рекомендуется применять при бурении неглубоких скважин в однопластовых месторождениях, если предполагается большое смещение забоя.



**Рис. 1. Типы профилей наклонно-направленных скважин: 1 - наклонный участок; 2 - участок набора угла наклона ствола; 3 - прямолинейный наклонный участок; 4 - участок снижения угла наклона ствол [4]**

Профиль типа Б отличается от предыдущего тем, что вместо прямолинейного наклонного участка имеет участок 4 естественного снижения угла наклона. Данный профиль рекомендуется применять при больших глубинах скважин.

Профиль типа В состоит из пяти участков: вертикального 1, участка набора угла наклона ствола 2, прямолинейного наклонного участка 3, участка снижения угла наклона 4 и снова - вертикального 1. Его рекомендуется применять при проводке глубоких скважин, пересекающих несколько продуктивных пластов.

Профиль типа Г отличается от предыдущего тем, что в нем участки 3 и 4 заменены участком самопроизвольного снижения угла наклона 4. Данный профиль рекомендуется применять при бурении глубоких скважин, в которых возможны отклонения в нижней части ствола скважины.

Профиль типа Д состоит из вертикального участка 1 и участка набора угла наклона ствола 2. Для него характерна большая длина второго участка. Профиль рекомендуется при необходимости выдержать заданный угол входа в пласт и вскрыть его на наибольшую мощность.

Как видно из рисунка 1, все типы профилей вначале имеют вертикальный участок. Его глубина должна быть не менее 40...50 м. Окончание вертикального участка приурочивают к устойчивым породам, где можно за один рейс набрать зенитный угол 5...6 градусов. Для отклонения скважины от вертикали применяют специальные отклоняющие приспособления: кривую бурильную трубу, кривой переводник, эксцентричный ниппель и отклонители различных типов.

Проект на каждую наклонно-направленную скважину составляют индивидуально. Расположение глубинной цели (например, коллектора), поверхностный ландшафт, экологические условия, геологические и технические препятствия, характеристика проходимых пород, потенциальные возможности оборудования – все это играет роль при создании проекта на сооружение направленной скважины.

Направленная скважина представляет собой сложное подземное сооружение, включающее вертикальную или наклонную выработку в глубь земной коры, переходящую в горную выработку любой направленности в продуктивной зоне, крепь в виде обсадных колонн и цементных оболочек, фильтр в зоне разрабатываемого нефтяного или газового пласта.

Сконструировать направленную скважину значит выбрать элементы ее конструкции такими, чтобы достичь глубинной цели и при этом обеспечить безаварийную проходку ствола, его крепление обсадными колоннами и тампонажным материалом, надежную гидродинамическую связь с продуктивным горизонтом, длительную безаварийную эксплуатацию.

Проект на сооружение направленной скважины включает все разделы стандартного проекта: геологическое и технико-технологическое обоснование координат места заложения и глубинной цели, конструкцию скважины и фильтра, поверхностное оборудование и бурильный инструмент, режимы бурения различных интервалов, технологию вскрытия продуктивных горизонтов и заканчивания скважины [3, 5]. Одним из самых ответственных этапов при проектировании скважины является правильный расчет и обоснование профиля проектируемой скважины, поэтому анализ способов расчета и построения элементов профиля наклонной скважины является актуальным.

Методика расчёта элементов траектории наклонно-направленных скважин

Профиль направленной скважины должен удовлетворять скоростному и качественному сооружению скважины при обязательном достижении поставленной цели. При этом следует иметь в виду применение трех основных типов профилей, описанных выше:

- тангенциальный, состоящий из трех участков – вертикального, набора зенитного угла и наклонного прямолинейного;
- S-образный, состоящий из пяти участков – вертикального, набора зенитного угла, наклонного прямолинейного, уменьшения зенитного угла и вертикального;

- J-образный, состоящий из двух участков – вертикального и набора зенитного угла.

Любые другие профили скважин являются либо промежуточными, либо комбинацией упомянутых трех типов.

Расчет профиля указанных типов сводится к определению зенитного угла ствола скважины, длин вертикальных и горизонтальных проекций профиля, радиуса кривизны участков набора и уменьшения зенитного угла.

При проектировании любого профиля направленной скважины необходимо располагать следующими исходными данными: глубина проектного забоя; отклонение проектного забоя от вертикали, проходящей через устье скважины; азимут цели по отношению к устью; конструкция скважины с поинтервальным указанием диаметров ствола и глубин спуска обсадных колонн.

Первый (вертикальный) интервал для 1-го и 2-го типов профилей должен быть по возможности коротким, что позволяет свести к минимуму затраты времени на ориентированный спуск бурильной колонны; для 3-го типа профиля длина вертикального участка должна быть максимальной, что позволяет минимизировать длину второго участка и тем самым сократить время работы в скважине с отклоняющимися устройствами.

Наиболее целесообразно начинать искривление скважины (КОР) и заканчивать его в устойчивых сравнительно твердых породах, причем траектория набора и уменьшения кривизны должна соответствовать окружности определенного радиуса. Это позволит свести к минимуму опасность образования желобов и силы трения при спускоподъемных операциях.

Интервалы набора и уменьшения кривизны ствола скважины должны быть по возможности минимальными, чтобы обеспечить минимальные затраты времени на их проходку. С этих позиций радиус искривления ствола должен быть как можно меньше, однако его значение часто ограничено снизу следующими требованиями:

- при спуске и подъеме бурильного инструмента в нем не должны возникать предельные напряжения;
- обсадные колонны должны быть спущены в скважину и зацементированы без осложнений;
- должны быть обеспечены спуск и нормальная работа как в открытом стволе, так и в обсадной колонне глубинных приборов и погружного оборудования [3, 4, 5, 6].

#### **Методика построения профилей наклонных скважин**

Приняв во внимание информацию о типе скважины, ее назначении, глубине вертикальной части ствола, горизонтальном расстоянии до цели, специалист по направленному бурению использует программное обеспечение для построения горизонтальных и вертикальных проекций, демонстрируя, как можно пробурить скважину с наименьшими затратами при соблюдении правил безопасности и сохранении окружающей среды. Среди других факторов, которые учитываются при окончательном выборе конфигурации скважины, основными являются: состав проходимых пород; подъемные, вращательные и гидравлические мощности буровой установки; тип бурового раствора и конструкция скважины; размеры ствола; потенциальные возможности оборудования.

На рисунке 2 показан план ствола скважины по 1-му типу. На плане изображены две проекции ствола: вертикальная и горизонтальная. Вертикальную проекцию вычерчивают на плоскости, проходящей через устье и точку, обозначающую

глубинную цель. Отклонение забоя – это горизонтальное расстояние от ротора до глубинной цели. Его вычерчивают в масштабе глубины. На рис. 2 отклонение составляет 900 м, а истинная вертикальная глубина (TVD) – 3000 м; измеренная глубина (MD) – длина ствола скважины – 3100 м. Значение MD всегда больше значения TVD, причем разность между ними зависит от угла наклона, скорости набора кривизны и выполаживания, незапланированных отклонений.

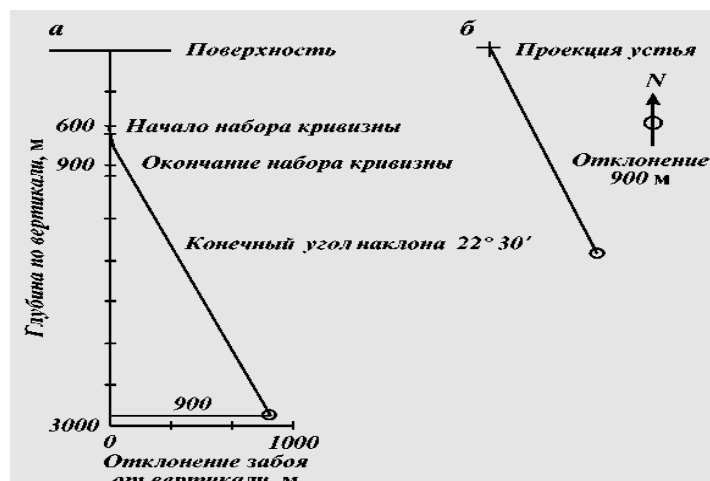


Рис. 2. Плановые проекции наклонно-направленной скважины: а – вертикальная; б – горизонтальная [6]

Вид в плане показывает расположение проекции скважины на горизонтальной плоскости с истинным направлением севера (географического) вверх листа. В прямоугольной системе координат горизонтальное направление ствола скважины указывают числом градусов на восток или запад по отношению к северу или к югу. Рассматриваемая скважина имеет ствол, направленный к юго-востоку под углом 20°45'. Это обозначается следующим образом: S20°45'E. Направление скважины можно также обозначить азимутом – числом градусов по часовой стрелке от севера (север – 0, юг – 180, восток – 90, запад – 270). Азимут скважины 159°15'. На горизонтальном плане также показывают в масштабе величину отклонения, при этом горизонтальный масштаб может отличаться от вертикального (в данном случае горизонтальный масштаб больше вертикального в 2 раза).

Скважина, изображенная на рисунке 2, бурится вертикально до глубины 600 м, после чего ее забой отклоняют до конечного угла 20°45' на юго-восток (точка начала отклонения обозначается аббревиатурой КОР – kick-off point). Этот угол отклонения набирают на длине 300 м в интервале 600-900 м и достигают его конечного значения 22°30' на глубине 900 м. Среднюю скорость набора кривизны можно определить по формуле 10 (конечный угол – начальный угол)/(конечная MD – начальная MD). Для данной скважины  $10(22,5-0,0)/(900-600) = 0,8^{\circ}/10$  м.

Дуга окружности, по сравнению с другими формами профиля, позволяет достичь минимального сопротивления участка скважины движению труб при одинаковом изменении ее зенитного угла на данном участке, поэтому целесообразно все искривленные участки профиля направленной скважины проектировать в виде дуги окружности. При этом длину каждого участка профиля, а также вертикальную и горизонтальную проекции, можно подсчитать по формулам, приведенным в таблице 1.

Дополнительные расчеты показывают, что нагрузка при подъеме колонны бурильных труб из скважины в случае бурения по 2-му типу скважин на 35 % выше,

чем при бурении по 3-му типу, и на 20 % выше, чем при бурении по 1-му типу скважин. Применение 1-го и 3-го типов направленных скважин взамен 2-го позволяет на практике: уменьшить суммарный угол охвата и связанные с ним нагрузки на буровое оборудование; минимизировать длину участка начального искривления [6].

**Таблица 1**  
**Формулы для расчета проекций и длин участков профиля скважины [5]**

Вид участка профиля	Проекция участка		Длина участка
	горизонтальная	вертикальная	
Вертикальный	0	$H_B$	$H_B$
Начального искривления	$R(1 - \cos Z)$	$R \sin Z$	$ZR/57,296$
Увеличения зенитного угла	$R(\cos Z_2 - \cos Z_1)$	$R(\sin Z_2 - \sin Z_1)$	$(Z_2 - Z_1)R/57,296$
Уменьшения зенитного угла	$R(\cos Z_1 - \cos Z_2)$	$R(\sin Z_1 - \sin Z_2)$	$(Z_1 - Z_2)R/57,296$
Тангенциальный длиной $L$	$L \sin Z_L$	$L \cos Z_L$	$L$

Примечание. Обозначения:  $Z, Z_1, Z_2$  – зенитные углы соответственно в конце участка начального искривления, в начале и конце искривленного участка;  $Z_L$  – зенитный угол тангенциального участка;  $R$  – радиус кривизны участка профиля.

В рамках работы были проанализированы основные типы профилей наклонно-направленных скважин и методические основы их проектирования. Показано, что для успешной проводки трассы скважины требуется сочетание графических и аналитических методов. Необходимо также учитывать опыт строительства скважин в данных горно-геологических условиях, что позволит существенно снизить себестоимость бурения.

### Литература

1. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра 2000. – 448 с.
2. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М., Технология бурения нефтяных и газовых скважин., 2001 г.
3. Григорян Н.А. Бурение наклонных скважин уменьшенных и малых диаметров. - М.: Недра, 1974.- 240 с.
4. Калинин А.Г. Профили направленных скважин и компоновки низа бурильных колонн. – М.: Недра, 1995. – 305 с.
5. Калинин А.Г. Бурение наклонных и горизонтальных скважин. – М.: Недра, 1997. – 648 с.
6. Инструкция по бурению наклонно направленных скважин. - ВНИИБТ.М.: 1966.- 115с.