

3. Годунов. Е.Б., Чубик П.С. Применение твердых горючих ископаемых для регулирования свойств промысловых жидкостей. Техн. технол. и орг. геол.-развед. работ. Обзор / ЗАО "Геон-форммарк". - М., 1997. -36 с.

## DEVELOPMENT APPLICATION AND KVALIMETRIA OF DRILLING FLUID

In clause the description of scientific development is given in the field of drilling fluid received for last years in Tomsk polytechnical university at faculty of geology and oil-gas exploitation

УДК 622.276.5

### МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СТВОЛА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКВАЖИНЫ (обзор научных исследований)

Дмитриев А.Ю., к.т.н.

Основной задачей при проектировании дополнительных стволов является выбор оптимального направления его бурения из условия максимального извлечения остаточных запасов нефти, границ зарезки дополнительного ствола в эксплуатационной колонне основного, верхней - экономически целесообразной, нижней - технически возможной и расчет точки вскрытия пласта данным стволом с учетом радиуса выработки (питания) основного бездействующего ствола скважины. Немаловажной проблемой является также расчет экономически оптимального профиля дополнительного ствола для конкретных геолого-технических условий бурения. Комплексному решению вышперечисленных задач и посвящена данная работа.

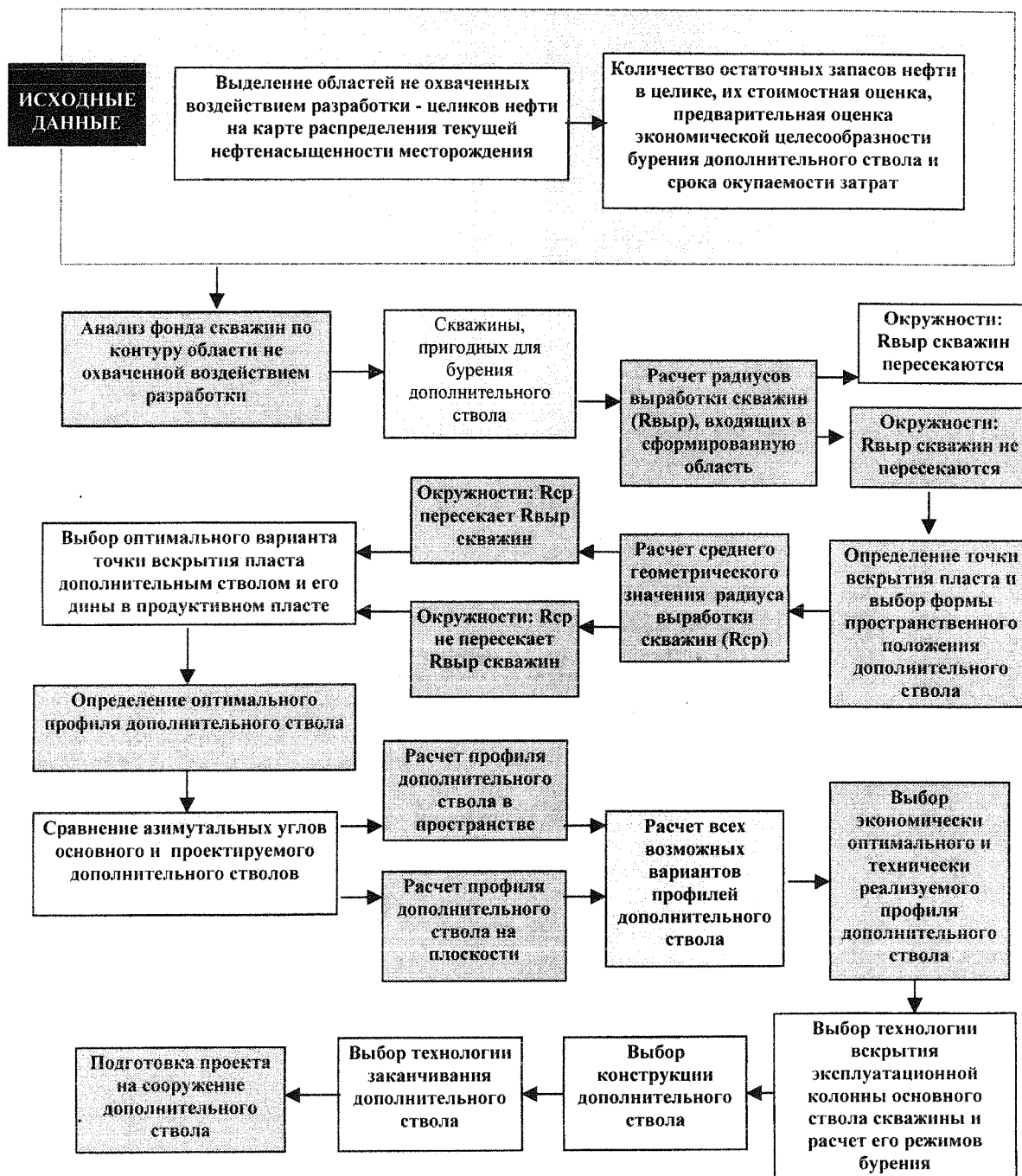
Существующие в наши дни технические средства и технологии позволяют вполне успешно осуществлять ввод в эксплуатацию простаивающих или не полностью использованных объектов бурением дополнительных стволов. Однако при этом задачи, связанные с обоснованным выбором наиболее предпочтительных из числа бездействующих скважин для проведения в них данного вида капитального ремонта, расчетом оптимального пространственного положения дополнительного ствола с учетом факторов естественного и искусственного искривления до настоящего времени практически не решены.

Вследствие чего, исследование и разработка комплексной методики выбора оптимального варианта пространственного положения дополнительного ствола, сооружаемого из ранее пробуренной не работающей скважины, обеспечивающей минимальную стоимость его бурения, максимально возможный дебит и срок эксплуатации скважины являлась весьма актуальной.

Суть данной методики следующая. Исходными данными выбора оптимального варианта пространственного положения дополнительного ствола или стволов служат рекомендации проектного института, либо нефтедобывающей организацией: выдается информация по распределению текущей нефтенасыщенности на месторождении; выделяются участки месторождения, не охваченные воздействием разработки (целики нефти); определяется количество остаточных запасов нефти в целиках; производится стоимостная оценка этих запасов; производится экономическая оценка целесообразности проводки дополнительного ствола, срок окупаемости затрат, минимальный рентабельный дебит.

Дальнейшая работа ведется уже по разработанной методике (рис.1), согласно которой, следующим этапом проектирования дополнительного ствола является оценка скважин окружающих область месторождения с целиком нефти на предмет выявления неработающих аварийных, преждевременно обводненных и нерентабельных, пригодных на сооружение дополнительного ствола. Основными критериями выбора скважин являются: срок эксплуатации скважины; техническая исправность эксплуатационной колонны основного ствола скважины до предполагаемого места зарезки дополнительного; целостность крепи эксплуатационной колонны основного ствола в предполагаемом месте зарезки дополнительного; возможность ус-

**Блок-схема выбора оптимального варианта пространственного положения дополнительного ствола**



тановки всего поверхностного оборудования, необходимого для проведения данного вида капитального ремонта.

По результатам анализа выясняется местоположение забоев этих скважин относительно друг друга, при этом возможны два варианта. В окружении работающих скважин находится одна бездействующая скважина, из которой возможно осуществить бурение дополнительного ствола и в окружении работающих скважин находится несколько бездействующих скважин. В том и другом случаях формируются области, состоящие из бездействующих и окружающих их действующих скважин. Далее производится расчет радиусов питания скважин, вхо-

дящих в данную область и путем построения данных радиусов на карте местоположения забоев скважин выясняется пересекают ли окружности данных радиусов друг друга. Если окружности радиусов питания скважин пересекают друг-друга, то бурение дополнительного ствола экономически не целесообразно, поскольку извлечение остаточных запасов нефти в этой области - целика нефти маловероятно в следствие максимального динамического объема залежи подвергшегося наибольшему охвату воздействием существующей системой разработки. Возможность быстрого обводнения и выхода из строя дополнительного стола при этом очень велика. Если окружности радиусов питания скважин не пересекают друг-друга и остается участок, который не был вовлечен в разработку, то бурение дополнительного ствола на этот участок целесообразно.

Далее производится расчет точка вскрытия пласта дополнительным стволом и его длина в продуктивном пласте. Для чего находится среднегеометрическое значение радиусов питания скважин ( $R_{ср}$ ), окружающих целик нефти и оценивается возможность вписываемости окружности данного радиуса в этот участок. Если окружность с радиусом  $R_{ср}$  пересекает окружности радиусов питания скважин, то рекомендуется наклонно-направленное бурение, а цент окружности принимается за точку вскрытия пласта дополнительным стволом. Если окружность  $R_{ср}$  не пересекает окружности радиусов питания скважин, то рекомендуется наклонно-направленное бурение дополнительного ствола с горизонтальным участком в продуктивном пласте, при этом длина этого участка равна расстоянию между центрами вписанных окружностей с радиусом  $R_{ср}$ .

Следует отметить, что возможен вариант, когда для бурение дополнительного ствола пригодна ни одна, а несколько скважин-кандидатов. В этом случае основными критериями выбора оптимальной скважины-кандидата являются следующие: разница между азимутальными углами основного и дополнительного ствола минимальна; расстояние между точкой вскрытия пласта основным и дополнительным стволами минимально ( $R_{охв} + R_{ср}$  - минимально); затраты на предварительные организационные работы, предшествующие бурению дополнительного ствола - минимальны (удаленность куста месторождения от центральных дорог, время на переезд и прочие работы).

После выбора оптимальной скважины-кандидата, с учетом закономерностей естественного искривления, рассчитываются с помощью оригинальных формул возможные варианты профиля дополнительного ствола. Причем если азимутальные углы основного и дополнительного ствола совпадают, то расчеты профиля ведутся на плоскости, в ситуации, когда азимутальные углы основного и дополнительного ствола не совпадают, то расчеты профиля ведутся в пространстве.

Например, порядок расчета стоимости бурения дополнительного ствола с постоянными набором зенитного угла и радиусом искривления (рис. 2) следующий.

Определяется угол входа дополнительного ствола из уравнения

$$\theta_k = \arcsin \left( \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \theta_n \cdot (\cos \theta_n + \operatorname{tg} \theta_n \cdot \sin \theta_n - S_1 / R_d)}{2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \theta_n)} \pm \frac{\sqrt{4 \cdot \operatorname{tg}^2 \theta_n \cdot (\cos \theta_n + \operatorname{tg} \theta_n \cdot \sin \theta_n - S_1 / R_d)^2 - 4 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \theta_n) \cdot ((\cos \theta_n + \operatorname{tg} \theta_n \cdot \sin \theta_n - S_1 / R_d)^2 - 1)}}{2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \theta_n)} \right), \quad (1),$$

где  $S_1$  - расстояние по горизонтали между точками вскрытия пласта основным и дополнительным стволами, м;  $R_d$  - радиус искривления дополнительного ствола, м;  $\theta_n$  - начальный зенитный угол дополнительного ствола, град.

Для расчетов принимается  $\theta_k > 0$ , уравнение (1) справедливо при  $R_d > S_1$ , при этом минимальный радиус искривления дополнительного ствола ( $R_d$ ), находится из выражения:

$$R_d = S_1 / (\cos \theta_n - \cos \theta_k - \operatorname{tg} \theta_n (\sin \theta_k - \sin \theta_n)) \quad (2),$$

при  $\theta_k = 85$  градусов

Стоимость бурения определяется из выражения

$$C_b = C_{мкр} \cdot L_{кр} \quad (3),$$

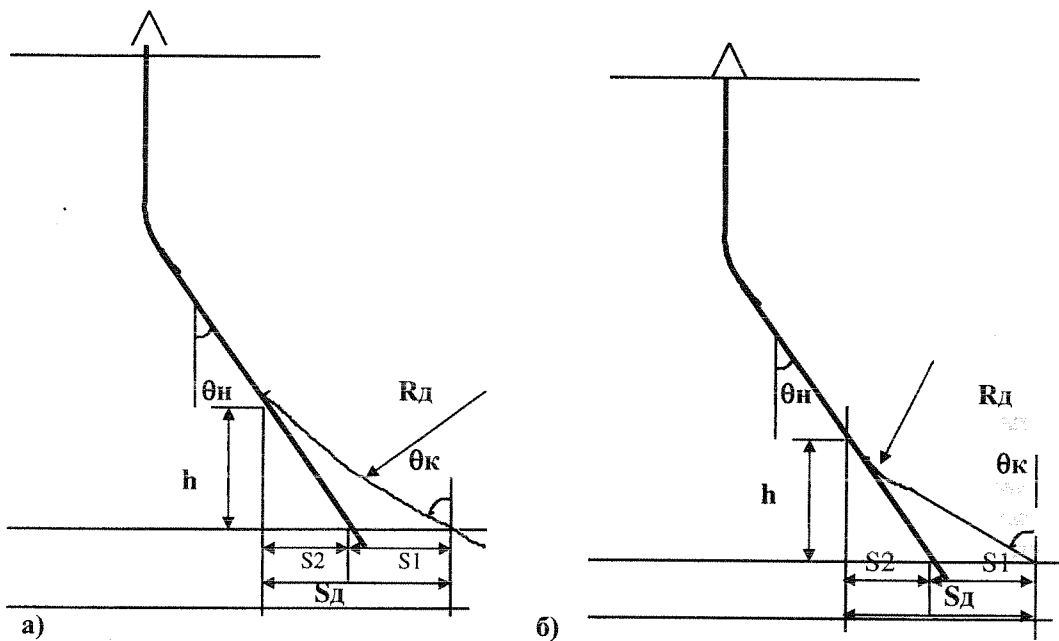
где  $C_{мкр}$  - стоимость бурения одного метра дополнительного ствола, тыс. руб;  $L_{кр}$  - длина криволинейного участка, м.

Порядок расчета дополнительного ствола комбинированного типа с одним криволинейным и прямолинейным участками (рис. 2, б) следующий.

Рассчитывается угол входа дополнительного ствола в продуктивный пласт по формуле

$$\theta_{к} = \arcsin \frac{2 \cdot x \cdot \sin \theta_{н} \pm \sqrt{4 \cdot x^2 \cdot \sin^2 \theta_{н} - 4 \cdot (x^2 - \cos^2 \theta_{н})}}{2}, \quad (4),$$

где  $x$  определяется из выражения



а) криволинейный дополнительный ствол; б) комбинированный, криволинейный и прямолинейный;

Рис. 2. Возможные варианты профиля дополнительного ствола, проектируемого из интервала стабилизации зенитного угла основного, где

—— основной ствол;  
 ————— дополнительный ствол.

$$x_{1,2} = \frac{(R_d \cdot \cos \theta_n + R_d \cdot \operatorname{tg} \theta_n \cdot \sin \theta_n - S_1) \cdot \cos \theta_n}{2 \cdot C_{мкр} \cdot 0.01745 \cdot R_d / C_{мпр}} \pm \sqrt{\frac{(-R_d \cdot \cos \theta_n - R_d \cdot \operatorname{tg} \theta_n \cdot \sin \theta_n + S_1)^2 \cdot \cos^2 \theta_n - 4(C_{мкр} \cdot 0.01745 \cdot R_d) \cdot (R_d \cdot \sin^2 \theta_n - C_{мкр} \cdot 0.01745 \cdot R_d)}{2 \cdot C_{мкр} \cdot 0.01745 \cdot R_d / C_{мпр}}}$$

где  $C_{мкр}$  и  $C_{мпр}$  - соответственно стоимость одного метра бурения криволинейного и прямолинейного участков дополнительного ствола, тыс. руб.;  $S_1$ ,  $R_d$ ,  $\Theta_n$  - тоже, что и в выражении (1).

Для расчета конечного зенитного угла ( $\Theta_k$ ) принимается  $-1 < x < 1$ .

Вертикальная проекция дополнительного ствола, находится по формуле

$$h_d = (R_d \cos \Theta_n - R_d \cos \Theta_k - R_d \operatorname{tg} \Theta_k \sin \Theta_k + R_d \operatorname{tg} \Theta_k \sin \Theta_n - S_1) / (\operatorname{tg} \Theta_n \operatorname{tg} \Theta_k) \quad (5)$$

Горизонтальная проекция находится из выражения

$$S_d = R_d (\cos \Theta_n - \cos \Theta_k) + (h_d - R_d (\sin \Theta_k - \sin \Theta_n)) \operatorname{tg} \Theta_k, \quad (6)$$

Длина дополнительного ствола (1) определяется из выражения

$$l = 0.01745 R_d (\Theta_k - \Theta_n) + (h_d - R_d (\sin \Theta_k - \sin \Theta_n)) / \cos \Theta_k = l_{кр} + l_{пр} \quad (7)$$

Общая стоимость бурения дополнительного ствола по данной траектории ( $C_{дс}$ ) будет равна

$$C_{др} = l_{кр} \cdot C_{мкр} + l_{пр} \cdot C_{мпр} \quad (8)$$

Минимальный радиус искривления дополнительного ствола при  $\Theta_k = 85$  градусов находится из выражения

$$R_d = ((\operatorname{tg} \Theta_n \operatorname{tg} \Theta_k) h_d + S_1) / (\cos \Theta_n - \cos \Theta_k - \operatorname{tg} \Theta_k \cdot \sin \Theta_k + \operatorname{tg} \Theta_k \cdot \sin \Theta_n) \quad (9)$$

Далее проверяется наличие технического средства с рассчитанным радиусом искривления, определяется длина дополнительного ствола и стоимость бурения по каждой технологии.

После проведения расчетов по всем технологически возможным вариантам бурения дополнительного ствола, к реализации принимается тот вариант, стоимость которого будет минимальной с учетом экономико-организационных и геолого-технических условий бурения.

Далее, по разработанной схеме (рис. 1) вычисляется радиус круга допуска дополнительного ствола.

После проведения всех расчетов, осуществляется выбор технологии вскрытия эксплуатационной колонны основного ствола скважины, конструкции дополнительного ствола и технологии заканчивания, после чего производится расчет режимов бурения дополнительного ствола и формируется проект на сооружение скважины.

Таким образом, разработанная методика определяет оптимальный порядок работы который позволяет более оперативно и экономически целесообразно подходить к вопросу применения бурения дополнительных стволов из неработающих скважин в конкретных геолого-технических условиях.

На базе данной методики разработан «Регламент по строительству дополнительных стволов» для ОАО «Томскнефть» ВНК, а предлагаемый алгоритм служит основой для создания соответствующей компьютерной программы по формированию базы данных по техническим характеристикам применяемого оборудования, закономерностям естественного искривления скважины со вторым стволом, расчету экономически обоснованного его профиля.

### **The optimal variant methods in choicing the dimensional position of additional borehole in operating well. (summary research)**

While designing the additional borehole the main task is a choice of optimal direction of boring by maximum remaining oil extraction and by limits of dents on operating column of additional borehole, and calculation of layer uncovering, taking info consideration a prospecting radius of

basic inactive borehole. Not unimportant problem is also economically reasonable profile calculation of additional borehole for concrete geological boring condition. This work is devoted to the composite decision of the tasks mentioned above.

УДК 622. 243

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ АЛМАЗНОМ БУРЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ

Кривошеев В.В., **Нейштетер И.А.**, Ларин А.А.

Работа посвящена исследованиям процесса разрушения анизотропных горных пород при алмазном бурении с целью совершенствования теории естественного искривления скважин. При проведении исследований использован новый для бурения метод регистрации характеристик импульсного электромагнитного поля, генерируемого из приповерхностного слоя горной породы при ее разрушении. Доказана информативность этого метода, преимущества по сравнению с методом регистрации акустической эмиссии, а также его применимость для изучения процессов разрушения горных пород при бурении. В результате работы экспериментально доказан и теоретически обоснован эффект искривления скважин в направлении линии наибольшего сопротивления анизотропных пород при малых углах встречи главной плоскости скалывания. Определены закономерности изменения величины отклоняющей силы при различных параметрах режима бурения.

В современных условиях особенно актуален вопрос снижения стоимости работ, что вызывает повышенные требования к качеству проведения скважин по проектным траекториям. Особенно остро стоят вопросы направленного бурения скважин в анизотропных породах, в которых скважины искривляются наиболее интенсивно.

Исследованиями проблемы направленного бурения скважин в анизотропных породах занимались многие отечественные и зарубежные ученые: С.С. Сулакшин, В.В. Кривошеев, Ю.Л. Боярко, Калинин, Е.Л. Лиманов, И.П. Мельничук, Ю.Л. Михалкевич, Ю.Т. Морозов, В.В. Нескоромных, В.М. Питерский, В. П. Рожков, Е.Т. Браун, В.Б. Бредли, Р.Т. Макламор, С.Е. Мэрфи и др.

Несомненна ценность полученной информации о процессах разрушения анизотропных горных пород, однако для решения практических задач в бурении вопрос недостаточно изучен. Это связано, с одной стороны, с существенными различиями в процессах деформации и разрушения при испытаниях с применением традиционных схем нагружения пород различными инденторами и при разрушении породы непосредственно в процессе бурения и, с другой стороны, с трудностью исследования процессов разрушения пород, происходящих на забое скважин. Бурение, вообще, и естественное искривление скважин, в частности, являются крайне многофакторными процессами. Это приводит к тому, что на сегодняшний день наиболее приемлемой методикой прогнозирования естественного искривления скважин является статистический анализ результатов искривления скважин в сходных геолого-технических условиях. Это требует наличия представительной выборки данных для анализа и может быть осуществлено не всегда.

Существующие разночтения в представлениях о формировании отклоняющих сил при взаимодействии породоразрушающего инструмента с анизотропной породой связаны с неопределенностью, возникающей на стадии трансляции результатов статических экспериментов на динамические процессы разрушения породы при бурении. Это обусловлено тем, что прочностные свойства горных пород зависят от вида и характеристик силового воздействия, поэтому исследования процессов разрушения горных пород, выполняемые применительно к бурению, наиболее целесообразно производить непосредственно при бурении.

Возможности традиционных методов экспериментальных исследований в значительной мере исчерпаны. Для изучения разрушения горных пород непосредственно в процессе бурения удобны и перспективны современные эмиссионные методы, потому что они позволяют оценивать фактическое сопротивление, проявляемое породой при разрушении, а также получать представление о частоте элементарных актов разрушения.