

# Параллельные вычисления при проектировании профилей горизонтальных скважин

Ю.Б. Линд<sup>1</sup>, Л.Р. Миникева<sup>2</sup>, Э.И. Зайруллина<sup>2</sup>

ООО «БашНИПИнефть»<sup>1</sup>, Башкирский Государственный Университет<sup>2</sup>

Бурение горизонтальных скважин позволяет увеличить дебит нефти из продуктивного горизонта в условиях истощения месторождений и необходимости освоения трудноизвлекаемых запасов. При этом оптимальное сочетание горизонтальных стволов с различными типами профилей позволяет минимальным количеством скважин и кустовых площадок достичь необходимого охвата месторождения. При составлении проекта на строительство куста многозабойных скважин важной задачей является одновременное проектирование и оптимизация сетки профилей для всего куста, что обуславливает целесообразность использования технологии параллельных вычислений. Оптимизация расположения кустовых площадок на месторождениях ОАО АНК "Башнефть" обеспечивает экономию до 30% стоимости проекта.

## 1. Введение

В настоящее время большинство нефтегазовых месторождений на территории РФ находится на поздних стадиях разработки, в связи с чем возникает проблема интенсификации добычи нефти и освоения трудноизвлекаемых запасов. Однако прирост запасов достигается за счёт освоения сложнопостроенных месторождений. Таким образом, актуальной является работа по поиску технологических решений для максимального использования потенциальных возможностей каждого месторождения. Основным способом решения данной проблемы является бурение горизонтальных и многозабойных скважин, за счёт чего достигается увеличение дебита нефти из продуктивного горизонта и одновременно снижение издержек на обустройство буровых площадок, максимальное сохранение сельскохозяйственных угодий. Оптимальное сочетание горизонтальных стволов с различными типами профилей позволяет минимальным количеством скважин и кустовых площадок достичь необходимого охвата месторождения. При составлении проекта на строительство куста многозабойных скважин важной задачей является также одновременное проектирование и оптимизация сетки профилей как для отдельной многозабойной скважины, так и для всего куста, что накладывает временные ограничения на проведение расчетов. В связи с этим целесообразным является использование для решения поставленной задачи технологии параллельных вычислений.

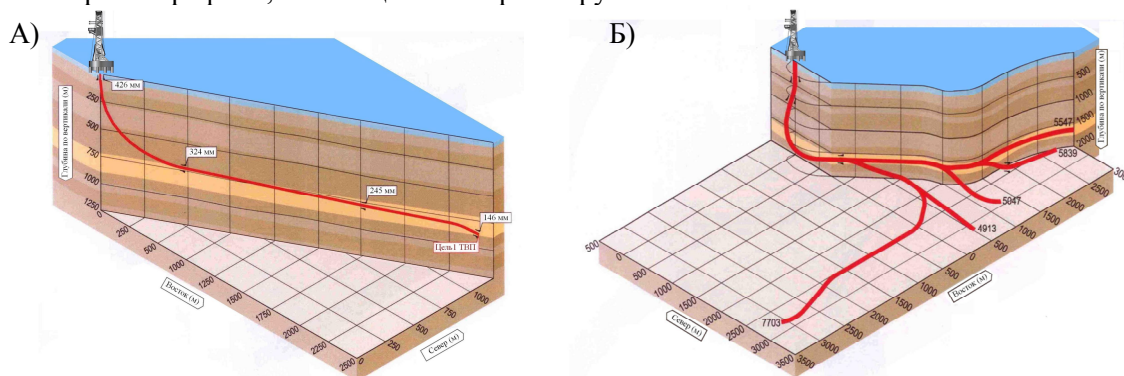
## 2. Теоретическая часть

Одной из составных частей технических проектов на строительство наклонно направленных скважин является проектирование профилей скважин, которое состоит в выборе типа и конфигурации профиля, расчёте и построении траектории оси скважин [1].

При проектировании профиля исходят из конкретных горно-технологических условий бурения и целевого назначения скважины. При этом расчёт должен обеспечивать выполнение следующих технических условий:

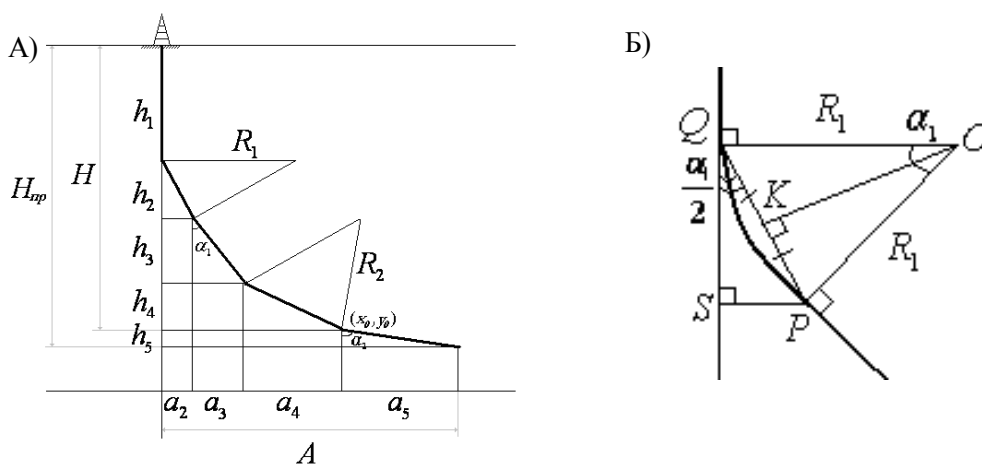
- 1) входение скважины в продуктивный пласт в конкретной заданной точке;
- 2) наличие минимального количества участков с разными радиусами искривления, величина которых не превышает допустимые значения;
- 3) возможность выбора любого типа профиля (плоскостной или пространственный, J- или S-образный, 3- или 5-интервальный, одно- или многосекционный);
- 4) качественное строительство скважины при минимальных затратах времени и средств;
- 5) выбор подходящего бурового оборудования на основе расчета осевого нагружения бурильной колонны.

Существуют две группы типов профилей наклонно направленных скважин (рис. 1). Первые называются профилями плоскостного типа и представляют собой кривую линию, расположенную в одной вертикальной плоскости, вторые – пространственную кривую. В данной работе рассмотрены профили, относящиеся к первой группе.



**Рис. 1.** Графическое представление профиля горизонтальной скважины  
А) плоскостного типа; Б) пространственного типа

Проектирование профилей горизонтальных скважин производится на основе расчета геометрических параметров (рис. 2), определяющих пространственное положение элементов профиля (вертикальных, наклонно-стабилизированных и искривленных участков) и графическое построение профиля ствола [2].



**Рис. 2.** Геометрическое представление:  
А) J-образного 5-ти интервального типа профиля; Б) участка набора угла наклона ствола.

Разработанные алгоритмы обеспечивают при построении профиля отдельной скважины выполнение условий оптимальной проводки трассы в процессе строительства, оптимизации компоновки буровой колонны и выбора бурового оборудования (на основе расчета осевого нагружения спроектированной колонны [3]), а также других технологических и экономических требований.

### 3. Программная реализация

#### 3.1 Основные положения

На основе описанных выше алгоритмов был разработан программный комплекс Plane Profile проектирования оптимального профиля горизонтальной скважины плоскостного типа и определения осевого нагружения колонны.

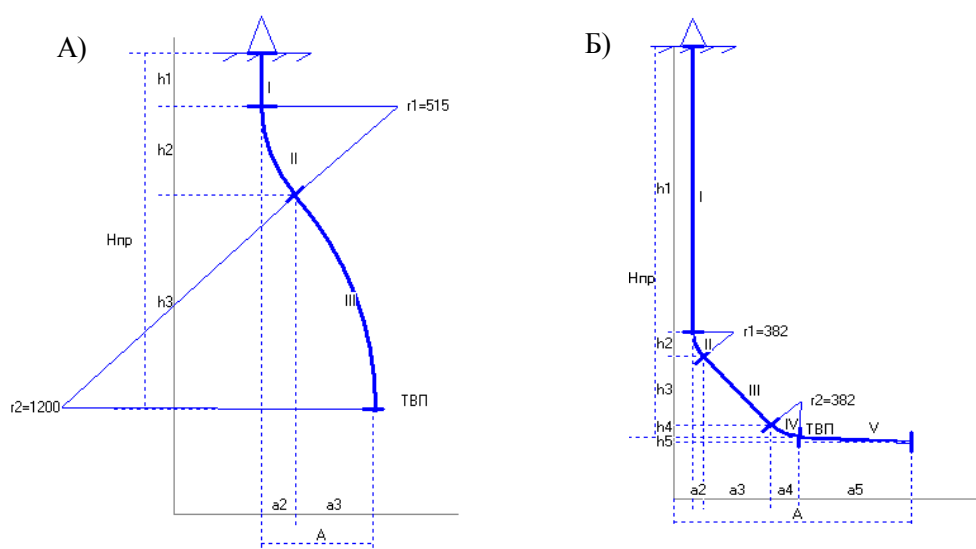
Используются следующие входные данные, формирующиеся непосредственно пользователем в ходе интерактивной работы программы:

- плотность бурового раствора;

- приведенная плотность трубы;
- коэффициент трения о стенки скважины;
- диаметр долота;
- диаметр забойного двигателя;
- тип профиля (S- или J- образный);
- количество интервалов;
- вид используемых труб;
- параметры для расчёта траектории (зависят от типа профиля).

На основе этих данных производится расчёт траектории ствола, который включает в себя определение глубины по стволу, вертикальной и горизонтальной проекций для каждого участка и скважины в целом.

В качестве выходных данных пользователь получает графическое и аналитическое представление рассчитанной траектории ствола скважины (рис.3), значение осевых нагрузок буровой колонны, а также рекомендации по выбору бурового оборудования.



**Рис. 3.** Примеры графического представления рассчитанных траекторий ствола скважины:  
 А) S-образный 3-х интервальный профиль; Б) J-образный 5-ти интервальный профиль

### 3.2 Распараллеливание

Распараллеливание вычислительного процесса осуществляется с использованием интерфейса MPI и основано на том, что расчет для кустовых площадок месторождения, для скважин куста, а также для горизонтальных отходов одной многозабойной скважины можно вести независимо друг от друга (рис .4), контролируя выполнение технологических требований по геометрии их расположения (условие непересечения стволов и т.д.). Т.о., время выполнения задачи проектирования одним процессом значительно превышает время межпроцессорного взаимодействия на стадии проверки выполнения этих условий, что обеспечивает эффективность распараллеливания при количестве процессов по числу проектируемых стволов.



Рис. 4. Уровни и количество расчетных задач для месторождения

### 3.3 Вычислительный эксперимент

С использованием разработанных параллельных алгоритмов проведена оптимизация расположения кустовых площадок на месторождениях ОАО АНК «Башнефть». На рис.5 показано проектное (А) и оптимизированное (Б) расположение кустовых площадок для Воядинского месторождения. В качестве технологического критерия оптимизации выбрана суммарная стоимость строительства площадок при фиксированном охвате месторождения.

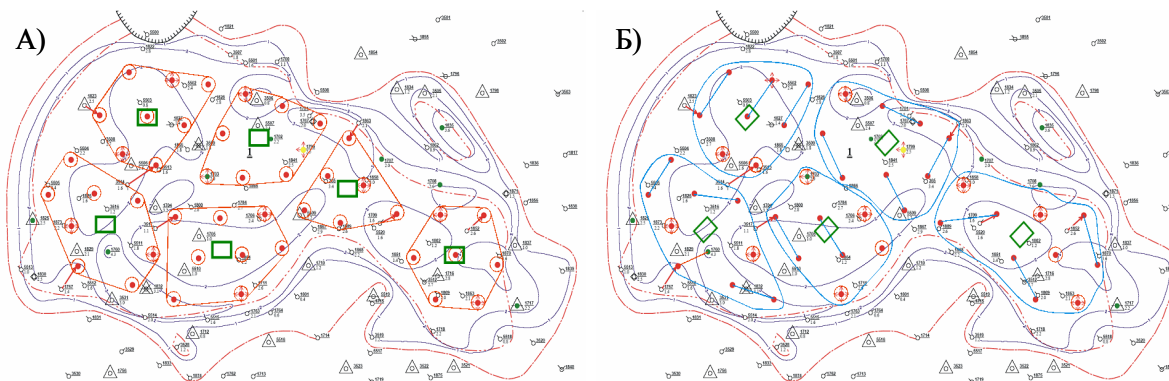


Рис. 5. Расположение кустовых площадок на Воядинском месторождении:  
А) проектное (45 скв., 6 площадок); Б) оптимизированное (28 скв., 5 площадок)

Проведен вычислительный эксперимент по расчету расположения кустовых площадок с использованием 1, 2, 4, 8 и 16 процессорных ядер вычислительного кластера Башкирского государственного университета (18 процессорных ядер AMD Opteron, пиковая производительность 144 GFlops, объем оперативной памяти 20 Gb, объем дискового пространства 4,2 Tb) (рис. 6). Анализ полученных результатов показал, что наибольшая эффективность на данном этапе достигается при использовании 8-10 процессорных ядер.

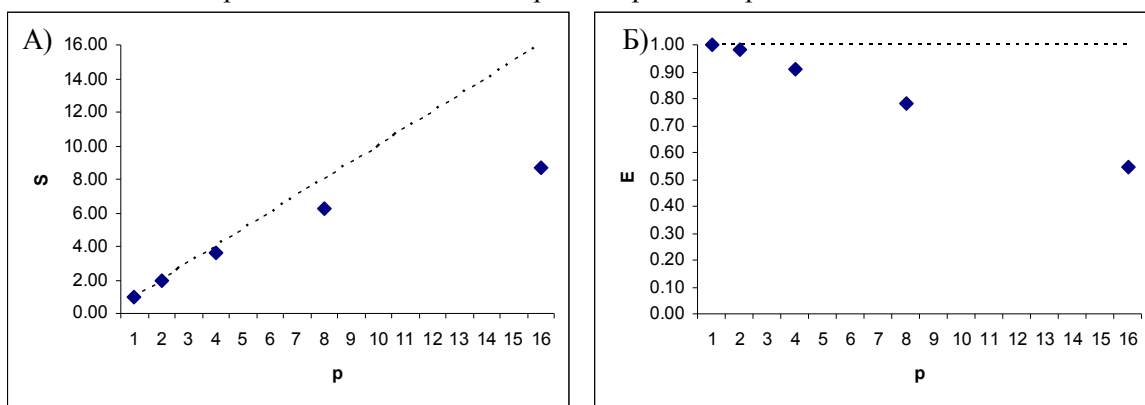


Рис. 6. Анализ эффективности работы параллельной программы:  
А) ускорение; Б) эффективность

Результаты вычислительного эксперимента показали, что оптимизированное расположение кустовых площадок позволяет обеспечить охват месторождения меньшим количеством скважин (на 37%) и меньшим числом площадок (на 17%), что дает экономию до 28% от стоимости проекта на строительство скважины в целом.

#### **4. Заключение**

В данной работе рассмотрено применение параллельных технологий в задачах проектирования строительства нефтегазовых скважин плоскостного типа. В дальнейшем предполагается разработка соответствующих алгоритмов для скважин пространственного типа. Спецификой строительства этих скважин является постоянное отслеживание условий непересечения стволов и оптимальной траектории скважины, что позволит эффективно использовать распараллеливание на большем числе процессоров МВС.

#### **Литература**

1. Овчинников В.П., Двойников М.В., Герасимов Г.Т., Иванцов А.Ю. // Технологии и технологические средства бурения искривленных скважин: Учебное пособие для вузов. /Тюмень: изд-во ТюмГНГУ, 2008 – 152 с.
2. М.Т. Абдурахманов, Н.Ф. Кагарманов. Проектирование профилей горизонтальных скважин// Технология строительства и эксплуатации скважин в осложненных условиях. Сборник научных трудов. – Уфа: Башнипинефть, 1991. – С. 98-102.
3. В.М. Валов, О.Д. Даниленко и др. Инструкция по расчету бурильных колонн для нефтяных и газовых скважин. – М.: ВНИИТнефть, 1997. – 156 с.