АНАТОЛИЙ БОШКЭНЯНУ,
НЕКУЛАЕ МАКОВЕЙ
Университет нефти и газа
Плоешти, Румыния

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОЗИЦИИ СКВАЖИН

Существует множество ситуаций, когда требуется узнать относительное расположение двух или более скважин: в нефтеносных областях с высокой плотностью скважин; при бурении наклонно направленных или горизонтальных скважин неподалеку от вертикальных скважин; если скважина закладывается вблизи от заброшенных территорий, которые могут быть затронуты; в случае повторного входа в скважину или кустового бурения; при бурении спасательных скважин и пр. Решение этой задачи подразумевает методы определения расстояния между двумя скважинами в любой их точке, а также положения скважины относительно другой скважины. Описывается общепринятый способ определения пространственного направления скважины с помощью замера отклонений и способ, которым это направление отображается графически в двух- или трех-мерном режиме. Задачей исследования является реализация алгоритма определения минимальной дистанции между двумя скважинами.

There are many situations when the relative positions in space of two or more wells need to be known: in oil bearing areas with high density of wells, when directional or horizontal wells are drilled near vertical ones, when a well is directed near an abandoned area, which may be damaged, in the case of re-entrances and multiple wells, when drilling salvation wells, etc. This is necessary especially in the design stage and in the stage of making the wells. This problem supposes existence of some procedures, direct or indirect, which are used to establish the distance between two wells at any point of them, as well as the position of a well related to the position of another one. The paper presents a common method of establishing the spatial direction of a well with the help of deviation measurements and the way in which this direction is graphically represented in two or three dimensions. The paper aims at realizing an algorithm used for establishing the minimum distance between two wells, which can easily be used if available on the computer.

При бурении большого числа скважин на одном месторождении существует опасность совпадения зон влияния двух и более скважин, например, пересечение забоя одной скважины со стволом другой, или забой скважины не попадает в намеченную зону. Уровень опасности считается выше в зоне кустового бурения скважин с одной или более платформ, а также в случае сгущения, когда селективно эксплуатируются несколько производственных и наслоенных горизонтов, при бурении направленными скважинами в зонах, где уже осуществлялось вертикальное бурение.

В таких ситуациях для исключения нежелательных последствий необходимо найти возможность определения пространственной позиции любой скважины относительно остальных во время бурения. Такая проблема вызывает интерес, начиная с проектной стадии работ.

Существуют два способа определения пространственного местонахождения скважины, а также относительной позиции по отношению к другим скважинам:

- с помощью замера искривления (отклонения) скважин;
- с использованием магнитных и электромагнитных приборов, передвигаемых по оси скважины.

Отклонение скважины можно определить, если известны пространственные координаты любой точки вдоль скважины в данной системе отсчета.

Берется прямоугольная система координат, связанная с направлением магнитного (или географического) меридиана и с направлением ускорения вертикальной силы

тяготения. Ось N – касательная линия к магнитному (или географическому) меридиану с положительным знаком к северу; ось E – перпендикуляр к первоначальному направлению, обе оси в горизонтальном плане со знаком (+) на восток; ось V – вертикальная со знаком (+) вправо вниз. Начало системы отсчета обычно в устье скважины. В пространстве скважина определяется с помощью оси скважины.

Обычно в скважине измеряются три параметра:

- зенитный угол скважины – между касательной, проведенной к оси скважины, и вертикалью из точки замера;
- азимут скважины – угол между проекцией данной касательной в горизонтальном плане и направлением магнитного (или географического) меридиана в том же плане;
- глубина скважины.

Существуют инерционные приборы, которые определяют направление пространственных координат любой точки, однако данные приборы не распространены в нефтяной промышленности.

Для определения координат любой точки скважины необходимо существенное количество замеров, начиная с устья скважины.

На сегодняшний день известно несколько расчетных методов определения пространственных координат скважины путем использования данных замера их искривления. Различие методов определено допускаемыми гипотезами по отношению к форме кривой, проведенной между точками замеров, а также способом обработки данных, характеризующих искривление скважин.

Искривленная скважина может быть рассмотрена графически в плоскостном или пространственном представлении.

В плоскостном представлении скважина проектируется в горизонтальной плоскости, получая так называемую «инклинограмму» скважины, в одной или нескольких вертикальных плоскостях. Как правило, выбирается та вертикальная плоскость, в которой скважина имеет наименьшую деформацию. Для направленных скважин выбирается вертикальная плоскость, содержащая устья и забой скважины.

При наличии большого количества соседних скважин имеется возможность их представления на общей диаграмме, что позволяет определить примерное расстояние между несколькими скважинами как в горизонтальной, так и в разных вертикальных плоскостях. Одновременно можно определить расстояние между пробуренной и проектируемой скважинами.

В случае кустовых скважин широко используется трехмерное изображение. С помощью вычислительной техники можно изменять угол проекции, тем самым обеспечивая возможность рассмотрения диаграммы с разных углов. Из общего количества представленных скважин можно остановиться на двух, это позволяет определить относительное расстояние между трактами данных скважин.

Для просмотра относительной позиции пробуренных скважин по отношению к одной или к нескольким соседним точкам (или платформам) используется диаграмма подвижного цилиндра. Представляя собой полярное изображение, диаграмма подвижного цилиндра является полезным инструментом для избежания нежелательных столкновений, особенно в случаях высокой плотности скважин.

Диаграмма подвижного цилиндра состоит из набора концентрических кругов и радиальных линий. Считаем одну из скважин опорной, расположенной в центре диаграммы, это позволяет вычислить в полярных координатах позицию соседних скважин по отношению к опорной на разных глубинах. Опорная скважина остается постоянно в центре диаграммы, независимо от ее пространственного профиля.

Если на диаграмме подвижного цилиндра точки замера вдоль скважины совпадают, это означает, что наблюдаемая скважина почти параллельна опорной скважине. Если же расстояние между точками замера увеличивается, наблюдаемая скважина отдаляется от опорной.

Если две пространственные кривые определены разными уравнениями, то существуют аналитические методы расчета минимального расстояния между любыми точка-

ми этих двух кривых. Данное расстояние находится в плоскости, содержащей точку первой кривой и являющейся перпендикулярной ко второй кривой.

К сожалению, кривые, которые отображают оси обеих скважин, знакомы нам по определенным точкам. Эти точки могут быть точками замеров или точками интерполированного расчета. Поэтому расстояние между двумя скважинами может быть определено лишь приблизительно. При помощи вычислительной техники и программного обеспечения работа значительно облегчается.

Пусть P – точка опорной скважины. Нам необходимо определить минимальное расстояние до точки Q, принадлежащей наблюдаемой скважине. Прямоугольные координаты точки P – N_p, E_p, V_p – могут быть вычислены одним из знакомых методов замера искривления скважины.

Подобным образом вычисляются прямоугольные координаты точек замера, принадлежащих наблюдаемой скважине: N_1, E_1, V_1; N_2, E_2, V_2, ..., N_i, E_i, V_i, ..., N_n, E_n, V_n (n – последняя точка замера).

Вычисляются расстояние между точкой P и каждой из точек наблюдаемой скважины и минимальное расстояние:

$$d_i = \sqrt{(N_p - N_i)^2 + (E_p - E_i)^2 + (V_p - V_i)^2}; \quad (1)$$

$$d_{\min} = \min\{d_1, d_2, ..., d_n\}. \quad (2)$$

Допустим, что соответствующая точка минимального расстояния Q_k вдоль наблюдаемой скважины. Учитываем две точки замера искривления, прилагаемые к точке P_k: P_{k-1} и P_{k+1}. Длина скважины делится между двумя данными точками на несколько интервалов так, чтобы длина интервала не превышала 1 м. Далее вычисляются интерполированием прямоугольные координаты промежуточных точек, после чего повторяется расчет расстояния с помощью формулы (1). Выбирается минимальное расстояние.

В конце вычисляются координаты точки Q: N_Q, E_Q, V_Q. Вычисляется азимут отрезка прямой PQ:

$$\operatorname{tg} \omega_{PQ} = \frac{E_Q - E_P}{N_Q - N_P} \quad (3)$$

и разница глубины $V_Q - V_P$.

Для разных измеряемых глубин опорной скважины, по которой производился расчет минимального расстояния, определяются координаты точек P и Q, расстояние PQ, зенитный угол ω_{PQ} и разница $V_Q - V_P$.

Используя имеющиеся данные, можно составить диаграмму подвижного цилиндра по наблюдаемой скважине. Проектируемую скважину можно считать опорной, а пробуренную – наблюдаемой.

Выводы

1. При проектировании направленных и горизонтальных скважин, особенно при кустовом бурении, существует риск интерференции, и даже столкновения. Для устранения риска должны использоваться расчетные методы, которые допускают определение относительной позиции. Такая проблема может возникать и при бурении спасательных скважин, при разбуривании скважин, при повторном входе в пласт, при эксплуатации месторождений с повышенной вязкостью нефти с помощью гравитационного вызова притока нефти, где используется дублет нагнетательно-приемных скважин.

2. Для визуализации относительного положения пробуренных скважин рекомендуется, помимо обычного представления в плоскости, использовать пространственное отображение и диаграммы подвижного цилиндра. Для их разработки может быть использована вычислительная техника.

3. Разработан алгоритм определения минимального расстояния двух скважин, который может быть легко применен при помощи компьютера. Для этой цели используются имеющиеся замеры отклонений скважин, также алгоритм применяется для сравнения тракта пробуренной с проектной скважиной.