

УДК 531.746:550.8.01

И. В. Гринев, А. Б. Королев, В. Н. Ситников
ООО «Нефтегазгеофизика»

А. О. Романенков
Тверской государственный университет

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНКЛИНОМЕТРАМИ

С помощью формализации показано, что рассматриваемый комплекс должен включать в себя модели инклинометра, глубиномера, среды (гравитационного и геомагнитного полей), оси ствола скважины и режима эксплуатации инклинометра. Приведенная формальная модель может быть использована при построении математической модели для численных расчетов влияния на точность навигации оси ствола скважины многочисленных погрешностей, встречающихся в инклинометрии.

Ключевые слова: инклинометр, глубиномер, модель, метод Монте-Карло.

Введение

Для оценки погрешностей пространственного положения оси скважины было создано несколько моделей. Первой из широко применяемых можно считать модель Вольфа и де Вардта (WdW) [4], опубликованную в 1981 г. Данная модель учитывала только систематические инструментальные погрешности используемых в то время магнитометрических и гироскопических инклинометров. Модель WdW, претерпевая ряд усовершенствований, активно использовалась на протяжении более чем двух десятилетий.

Параллельно с моделью WdW предлагались к использованию и другие модели [2, 3], которые учитывали не только систематические, но и случайные погрешности. Одна из таких моделей – Industry Steering Committee on Well Bore Survey Accuracy (ISCWSA), разработанная в 1999 г. [3], является наиболее актуальной в настоящее время. Эта модель достаточно полно учитывает погрешности первичных преобразователей магнитометрических и гироскопических инклинометров. Кроме того, как уже говорилось, в данной модели учитываются не только систематические, но и случайные погрешности, а также в ней заложена возможность исключения грубых ошибок измерений.

Руководствуясь опытом разработки и совершенствования магнитометрических инклинометров, на базе ООО «Нефтегазгеофизика» было принято решение создать модель ошибок, аналогичную ISCWSA, однако имеющую некоторые существенные отличия. Во-первых, в предлагаемой модели подразумевается возможность имитации режима эксплуатации, что позволит проводить расчеты для непрерывного режима съемки как кабельного, так и автономного исполнения инклинометра. Во-вторых, планируется возможность расчета не только по аналитическому, но и по статистическому методу (Монте-Карло). Данное решение вызвано наличием большого количества случайных погрешностей, распределенных по разным законам; в ряде случаев интерес представляет не только объем эллипса неопределенности, но и характер распределения в его границах. Кроме того, с использованием метода Монте-Карло возможен расчет средних объемов неопределенности для различных классов траекторий, а также подбор с точки зрения точности и минимизации издержек оптимальных траекторий в заданных пространственных рамках.

В связи с изложенным авторы поставили задачу формализовать и построить схему комплексной модели инклинометрических исследований скважин магнитометрическими инклинометрами, которая бы включала в себя основную часть существенных факторов. Математическая модель, построенная на основе формальной модели, может стать большим подспорьем для выбора направлений совершенствования отечественной инклинометрической аппаратуры, а также повышения точности скважинных измерений.

Формализация комплексной модели

Измерения магнитометрическими инклинометрами могут быть представлены в виде схемы, изображенной на рис. 1. Неотъемлемыми аппаратными средствами подобных измерений как в процессе бурения, так и при скважинных исследованиях являются инклинометр и глубиномер. Работа инклинометра проходит в физической среде, представленной температурным полем, а также гравитационным и геомагнитным полями, по которым проводится геонавигация. При этом известно, что параметры полей непостоянны как по поверхности Земли, так и по глубине исследования. Кроме того, геомагнитное поле испытывает существенные суточные, сезонные колебания и колебания более длительного периода.

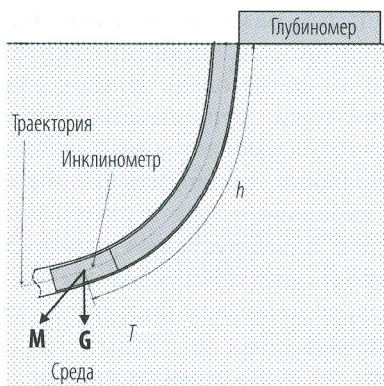


Рис. 1. Схематическое изображение компонент инклинометрических исследований (условные обозначения – в тексте)

Проектные профили оси ствола скважины существенно отличаются в зависимости от поставленных задач, в связи с этим в модель должна быть включена возможность аналитического или численного задания траекторий разных типов.

Кроме того, существенное влияние на инклинометрические измерения оказывают факторы режима эксплуатации инклинометра. К таким факторам относятся: ошибки позиционирования, ударные воздействия, вращения, вибрации, поле остаточной намагниченности (ПОН) буровой колонны и/или сборки геофизических приборов.

При исключении хотя бы одного компонента из перечисленных выше модель не может считаться полной и, соответственно, не получится рассчитать влияние суперпозиции разных факторов на конечную точность прокладки или измерения оси ствола скважины.

Построение комплексной модели

Взаимодействие отдельных компонент общей модели показано на рис. 2.

Начальными параметрами комплексной модели являются:

- время начала исследований (t_0), отложенное на годовой шкале, для учета суточных, сезонных и иных вариаций геомагнитного поля;
- широта (B_0), долгота (L_0) и высота (H_0) устья скважины, принятые за начало координат при задании оси ствола скважины (X, Y, Z).

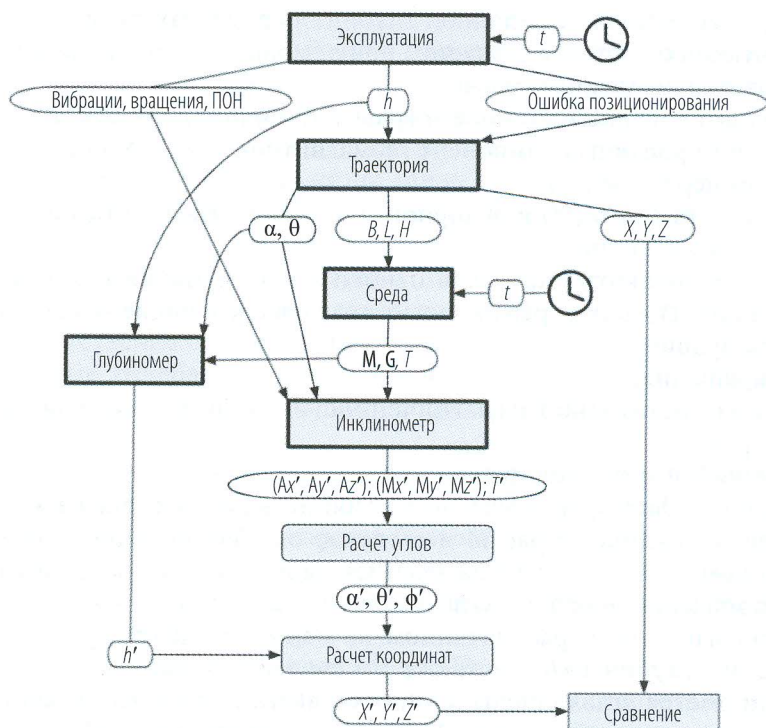


Рис. 2. Схема взаимодействия компонент комплексной модели

Для задания траектории необходимо ввести:

- скорость движения инклинометра ($V(t)$), позволяющая вычислить глубину по стволу (h);
- модельную траекторию оси ствола скважины ($X(h)$, $Y(h)$, $Z(h)$), дающую при заданной глубине зенитный угол (θ) и азимут (α), а также координаты точки траектории в геодезической (B , L , H) и декартовой (X , Y , Z) системах координат.

При известных времени, геодезических координатах и точке на траектории движения инклинометра становится возможным вычислить параметры геофизических полей:

- вектора гравитационного поля ($\mathbf{G}$);
- вектора геомагнитного поля ($\mathbf{M}$);
- значения температурного поля (T).

При известных на заданной глубине параметрах полей, а также ориентации оси ствола скважины при помощи модели инклинометра становится возможным расчет:

- нормированных компонент гравитационного поля (Ax' , Ay' , Az');
- нормированных компонент геомагнитного поля (Mx' , My' , Mz');
- температуры (T');

а также зенитного (θ') и визирного (ϕ') углов, азимута (α') и дополнительных величин.

Стоит добавить пару слов относительно влияния режима эксплуатации. В данный режим могут входить следующие компоненты:

- вибрации;
- вращения;
- поле остаточной намагниченности и сборки геофизических приборов;
- ошибки позиционирования и др.

Данные факторы оказывают влияние не только на расчетные значения инклинометра, но и в случае ошибок позиционирования инклинометра в скважине на задаваемые при помощи модели траектории значения зенитного угла (θ) и азимута (α) оси ствола скважины.

При известном, рассчитанном на основе модели глубиномера, значении глубины (h'), а также рассчитанных на основе модели инклинометра углах ориентации, становится возможным расчет оси ствола скважины (X' , Y' , Z'). Сравнение заданных (X , Y , Z) и рассчитанных (X' , Y' , Z') координат оси ствола скважины является целью построения данной комплексной модели.

Сфера применения полученной модели

По комплексной модели видно, что на расчетное значение координат оси скважины (X' , Y' , Z') влияет большое количество факторов и настраиваемых параметров, которые могут принимать значения в определенных диапазонах по определенным, заранее известным законам распределения. Так, на формирование остаточной погрешности инклинометра влияют сдвиги нулей, неортогональности осей, ошибки коэффициентов пересчета, нелинейности и шумы первичных преобразователей. Инклинометры со сравнимыми диапазонами остаточных погрешностей могут быть смоделированы большим количеством способов путем задания описанных выше составляющих. Кроме

того, существенно отличаться могут режимы эксплуатации: спектр вибраций, скорость и локализация вращений, распределение неточностей позиционирования.

На траекторию влияют тип скважины, глубина, ориентация оси ствола скважины относительно сторон света. Очевидно, что даже в рамках одного типа скважины могут отличаться по профилю в значительной степени, так как тип скважины задает диапазон, а не строгую траекторию.

Параметры среды отличаются в широких диапазонах в зависимости от места проведения исследований. В случае геомагнитного поля существенно отличаются не только компоненты, но и суточные и сезонные колебания этих компонент. Значительно отличаются также и зависимости компонент геофизических полей от глубины исследования.

В связи со всем вышеперечисленным необходимо использование математических методов, позволяющих не только аналитически, но и статистически оценить влияние большого числа факторов, заданных в некоторых диапазонах, на точность построения оси ствола скважины. Подходящим методом является широко применяемый в геофизике метод Монте-Карло [1].

Стоит заметить, что метод Монте-Карло применительно к исследуемой задаче позволяет не только найти соответствие между погрешностями и точностью прокладки скважин, но и может дать ответ на вопрос: какие формулы при какой суперпозиции внешних и внутренних факторов лучше применять для расчета базовых углов и профиля оси ствола скважины. Таким образом, в рамках используемого метода становится возможной минимизация методических погрешностей. На рис. 2 указанным операциям соответствуют блоки расчета углов и расчета координат.

Выводы

Выделены необходимые компоненты скважинных инклинометрических исследований. Формализована и построена комплексная модель исследований скважин магнитометрическими инклинометрами.

Дальнейшим развитием является формализация и проработка каждой из компонент модели по отдельности (рис. 2) с последующим сведением в рамках одной программы.

Итоговая программа, основанная на полученной в данной статье комплексной модели, может быть использована в численных расчетах, в том числе методом Монте-Карло, для поиска взаимосвязи многочисленных входных параметров, составляющих систему моделей, и конечной точности расчета положения в пространстве оси ствола скважины. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы для разработки общего подхода для подбора формул и алгоритмов корректировки в зависимости от суперпозиции влияющих на измерения факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы Монте-Карло в физике и геофизике: сборник статей под ред. И. Г. Дядькина. Уфа: Издательство Башкирского госуниверситета, 1973. 321 с.
2. *Bang J., Torkildsen T., Haarstad I.* A General Error Model for Borehole Positioning Analysis // IKU report 32.0871.00/01/96. 1996. P. 1–33.
3. *Williamson H. S.* Accuracy Prediction for Directional Measurement while Drilling // SPE Drilling & Completion. 2000. V. 15. No. 4. P. 221–233.
4. *Wolff C. J. M., de Wardt J. P.* Borehole Position Uncertainty – Analysis of Measuring Methods and Derivation of Systematic Error Model // SPE Journal of Petroleum Technology. 1981. V. 33 (12). P. 2339–2350.

Рецензент доктор техн. наук, проф. В. М. Лобанков