

УДК 528.526.6

## КОМПЛЕКС ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКВАЖИН МАЛОГО ДИАМЕТРА

*аспирант, Стрелков А. Ю.*

*к. т. н., доцент, Кривошеев С. В.*

*Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), г. Казань*

В настоящее время сфера применения приборов для подземной навигации (инклинометров) постоянно расширяется, а требования к точности измерения и производительности возрастают [1]. Все большую востребованность имеют инклинометры для измерения наклоно направленных скважин малого диаметра. Инклинометры по принципу построения можно разделить на точечные, непрерывные и точечно-непрерывные. К инклинометрам, в которых оптимально сочетаются производительность и точность, относятся измерительные (в отличие от забойных) непрерывные гироскопические инклинометры (ГИ).

Существует большой спектр ГИ, основу построения гироинерциальных модулей (ГИМ) которых составляют следующие типы гироскопов: динамически настраиваемый гироскоп (ГВК-16) [2], гироскоп на магнитном подвесе [3], одноканальные датчики угловых скоростей (ДУС) с реверсом кинетических моментов [4], гироскопы в кардановом подвесе [5].

Одним из наиболее точных и востребованных непрерывных ГИ является ИГН73-100/80 [6], скважинный прибор (СП) которого построен на базе индикаторного гиросtabilизатора (ГС), на платформе которого установлены два акселерометра АТ-1104 и гироскоп на сферическом шарикоподшипнике Д-7-03И [7], вектор кинетического момента которого направлен перпендикулярно оси подвеса платформы, совпадающей с продольной осью СП. Оси чувствительности акселерометров взаимно перпендикулярны и перпендикулярны оси подвеса платформы. При этом один из каналов гироскопа используется для построения индикаторного ГС. Второй канал в режиме выставки используется для определения начальной ориентации платформы с акселерометрами, а в режиме измерения (при спуске-подъеме) работает как канал электрического арретирования. По сигналам, снимаемым с акселерометров, на каждом шаге работы

вычислителя определяется матрица ориентации, по которой с учетом приращения длины каротажного кабеля определяют текущие координаты оси симметрии скважины.

Особенностью перечисленных ГИ является автономная азимутальная начальная выставка (АНВ), которая, с одной стороны, является преимуществом, а с другой стороны, ограничивает применение по широте в связи с ограничением точности гироскопов заданных габаритов. Одним из вариантов построения внешней азимутальной выставки является применение спутниковой угломерной аппаратуры [8], которая зависит от наличия информационного сигнала со спутников.

Целью данной работы является формирование нового принципа построения оборудования для измерения скважин, в т.ч. малого диаметра, с внешней азимутальной выставкой на базе прецизионного гироскопического двухканального ДУС.

В комплекс измерительного оборудования входит: СП с ГИМ малого диаметра и внешний азимутальный модуль (АМ). ГИМ ГИ [9] построен, например, на базе силового ГС (СГС), гиروزел которого содержит два (три) гиромотора с параллельными осями вращения, что позволяет обеспечить достаточный суммарный кинетический момент, переводя габариты по диаметру в габариты по длине.

Другим конструктивным решением, позволяющим уменьшить наружный диаметр СП, является использование в качестве стабилизирующего мотора двух двигателей, включенных последовательно.

Система стабилизации СГС выполняется по безредукторной схеме, что усложняет синтез контура стабилизации при высокой статической точности. Для повышения коэффициента демпфирования в контур добавлен тахогенератор, соединенный с валом одного из двигателей, а также введена положительная обратная связь (ПОС) по току одного из двигателей, введение которой повышает коэффициенты статической точности и демпфирования.

Основным достоинством АМ является возможность применения более точных гироскопов, используемых в качестве ДУС, на которые не накладываются ограничения по габаритам и допустимым механическим воздействиям. Кроме того, важным является экономический фактор, поскольку АМ может использоваться для АНВ СП различных диаметров и конструкций.

Один из вариантов построения АМ описан в [10]. Узел измерения АМ включает в себя поворотную платформу с приводом и системным датчик угла, выполненным в виде синусно-косинусного

трансформатора (СКТ), на которой установлены два акселерометра аналогично как в [6] и двухкомпонентный ДУС (ДДУС), оси чувствительности которого параллельны осям чувствительностями акселерометров, необходимых для выставки оси подвеса платформы по вертикали.

Алгоритм АНВ заключается во вращении платформы с ДДУС с постоянной угловой скоростью, сохранением массивов показаний ДДУС и выходных напряжений СКТ с заданной дискретностью в памяти компьютера. Азимут корпуса  $\Psi_0$  АМ определяется по формуле, полученной с помощью метода наименьших квадратов

$$\Psi_0 = \arctg \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{Xj} \sin \gamma_j - \frac{C_1 D_1}{n} + \sum_{j=1}^n \omega_{Zj} \cos \gamma_j - \frac{C_2 D_2}{n}}{-\sum_{j=1}^n \omega_{Xj} \cos \gamma_j + \frac{C_2 D_1}{n} + \sum_{j=1}^n \omega_{Zj} \sin \gamma_j - \frac{C_1 D_2}{n}},$$

где  $\omega_{Xj}, \omega_{Zj}$  - показания ДДУС;  $\gamma_j$  - угол поворота платформы;  $\sin \gamma_j, \cos \gamma_j$  - выходные сигналы СКТ;

$$C_1 = \sum_{j=0}^n \sin \gamma_j; C_2 = \sum_{j=0}^n \cos \gamma_j; D_1 = \sum_{j=0}^n \omega_{Xj}; D_2 = \sum_{j=0}^n \omega_{Zj}.$$

Для определения азимута СП необходимо, что корпуса СП и АМ имели известную ориентацию в азимуте друг относительно друга, что обеспечивается конструкцией корпуса АМ, в которой устанавливается СП для начальной выставки.

Предлагаемый алгоритм имеет ряд преимуществ:

1. В формуле определения азимута АМ отсутствует горизонтальная составляющая угловой скорости Земли, а, следовательно, нет необходимости задания широты места измерения. Хотя широта места измерения, конечно, влияет на точность измерений, поскольку горизонтальная составляющая угловой скорости вращения Земли уменьшается при приближении к полюсам, но диапазон измерения по широте можно расширить за счет использования более точных гироскопов.

2. Нет необходимости определять угол поворота платформы, поскольку можно использовать непосредственно сигналы  $\sin \gamma_i$  и  $\cos \gamma_i$ , снимаемые с СКТ.

3. Алгоритм построен таким образом, что азимут может быть определен при повороте платформы как на целое число оборотов, так и нет.

4. Нестабильность угловой скорости вращения платформы оказывает на точность измерения несущественное влияние.

5. Формула определения азимута построена таким образом, что в предварительной процедуре определения систематической составляющей дрейфа гироскопа нет необходимости.

Таким образом, в данной работе рассматривается комплекс оборудования для измерения скважин малого диаметра, состоящий из СП и АМ. Рассмотрен ГИМ СП на базе СГС, на платформе которого установлены два акселерометра, используемые в режиме измерения. Алгоритмы для определения параметров скважины совпадают с алгоритмами инклинометра ИГН73-100/80. Конструкция ГИМ разработана так, чтобы обеспечить возможность изготовления СП малого диаметра. АНВ осуществляется с помощью внешнего АМ на основе измерения горизонтальной составляющей угловой скорости вращения Земли относительно двух осей при различных положениях в горизонтальной плоскости, что обеспечивает повышенную точность определения начального азимута корпуса АМ, который алгоритмически переносится в СП для формирования начального положения платформы с акселерометрами СГС.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. **Исаченко, В.Х.** Инклинометрия скважин [Текст]/В.Х. Исаченко.-М.: Недра, 1987.- 236 с.: ил.
2. **Биндер, Я.И.** Актуальные вопросы построения и использования непрерывных гироинклинометров [Текст]/ Я.И. Биндер// НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС.- 2011.- Вып.12 (210).- с. 97–119.
3. **Галкин, В.И.** Гироскопический инклинометр «ГИД» [Текст]/Галкин В.И., Измайлов Е.А., Жилин В.Б., Суминов В.М., Галкин Д.В. // Гироскопия и навигация. – 1997.-№4.-С.26-33
4. **Пат. 60288А Украина, МПК G01P9/00.** Способ измерения топогеодезических показателей и гироскопический инклинометр для его реализации [Текст]/ Шервашидзе В.В., Мурзаханов О.В., Леоненко К.М.: заявитель Шервашидзе В.В. и др., патентообладатель Шервашидзе В.В. и др.– 2003076694; заявл. 16.07.2003; опубл.15.09.2003, Бюл.№9.- 5 с.: ил.
5. **Пат. 2004786 Российская Федерация, МПК E21B 47/02.** Инклинометр [Текст]/ Белянин Л.Н., Белов М.Е.: заявитель Томский политехнический институт им. С.М.Кирова, патентообладатель Белянин Л.Н. – 4850035/03; заявл. 10.07.90; опубл.15.12.1993, Бюл.№45-46.- 6 с.: ил.
6. **Гуськов, А.А.** Непрерывные гироскопические инклинометры – особенности построения и результаты эксплуатации [Текст]/ А.А.

- Гуськов, В.В. Кожин, С.В. Кривошеев, Э.В. Фрейман// НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС.- 2009.- Вып.4 (181).- с. 12–30.
7. Пат. 2460040 Российская Федерация, МПК G01C 47/022. Гироскопы [Текст]/ Макаров А.М., Кожин В.В., Грязнов Е.А., Уракова Л.Е., Горбачев В.М.: патентообладатель ОАО Арзамасское научно-производственное предприятие «Темп-Авиа» – 2011109981/28; заявл. 16.03.2011; опубл.27.08.2012, Бюл.№24.- 11 с.: ил.
  8. Цыбряева, И.В. Методы повышения точности инклинометрии скважин гироскопическим непрерывным инклинометром ИГН73-100/80 [Текст]/ И. В. Цыбряева, А. А. Гуськов, С. В. Кривошеев, А. Ю. Стрелков// НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС.- 2013.- Вып.4 (226).- с. 81–89.
  9. Пат. 2499224 Российская Федерация, МПК G01C 19/44, E21B 47/02. Гиринерциальный модуль гироскопического инклинометра [Текст]/ Кривошеев С.В., Стрелков А.Ю.: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ». – №2012112096/28; заявл. 28.03.2012; опубл.20.11.2013, Бюл.№32.- 14 с.: ил.
  10. Пат. 2501946 Российская Федерация, МПК E21B 47/02. Способ начальной азимутальной выставки скважинного прибора гироскопического инклинометра и азимутальный модуль [Текст]/ Кривошеев С.В., Стрелков А.Ю.: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ». –№2012112097/03; заявл. 28.03.2012; опубл.20.12.2013, Бюл.№35.- 22 с.: ил.