

Б. П. ТИМОФЕЕВ, Д. А. СОКОЛОВ, В. Ю. ДАЙНЕКО, Р. А. БАРТОШ

ВАРИАНТЫ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ГИРОИНКЛИНОМЕТРА

Представлены варианты конструктивного исполнения гироинклинометра с расположением вектора кинетического момента гироскопа в диаметральной плоскости скважинного прибора, что позволяет организовать вращение корпуса гироскопа как вокруг поперечной, так и вокруг продольной оси прибора. Предложены технические решения конструктивной реализации гироинклинометра.

Ключевые слова: гироинклинометр, гироскоп, скважинный прибор.

Постановка задачи. В процессе разработки серии универсальных гироскопических инклинометров, предназначенных для работы в скважинах с малым диаметром и произвольной ориентацией ствола, был предложен и проанализирован ряд новых технических решений [1, 2]. В настоящей статье рассматривается конструктивная компоновка гироинклинометра, реализующая „диаметральную“ схему прибора с возможностью дополнительного разворота вокруг его продольной оси и отвечающая требованиям, диктуемым условиями подземной навигации.

Краткий обзор схем построения гироинклинометров. В так называемой „продольной“ схеме гироинклинометра ось кинетического момента двухосного датчика угловой скорости (ДУС) совпадает с продольной осью скважинного прибора (или, что то же самое, оси чувствительности двухосного измерителя, в том числе и при отсутствии механического носителя кинетического момента, находятся в поперечной плоскости). Данная схема позволяет производить промерочные работы как в точечном (во время остановок скважинного прибора), так и в непрерывном режиме.

В первом случае в процессе поиска плоскости меридиана места используется хорошо известная процедура гироскопирования. Исследование продольной схемы подтвердило, что она имеет принципиальное ограничение, затрудняющее (а в ряде случаев делающее невозможным) ее применение в точечном режиме при измерении угловых параметров, расположенных близко к линии „запад — восток“ [1].

В непрерывном режиме на основе уравнений Пуассона, при неких начальных условиях, заданных извне или полученных с помощью того же компасирования, интегрируются показания

двухосного ДУС. Такой режим работы прибора получил также название бесплатформенного гироскопа направления (ГН).

В „поперечной“ схеме построения гироинклинометра главная ось двухосного датчика угловой скорости ориентирована в поперечной плоскости скважинного прибора, что позволяет в рамках схемы с одним ДУС осуществить компасирование при любой ориентации скважины (так называемая адаптивность к траектории) [2]. Однако это техническое решение принципиально не сочетается с режимом бесплатформенного ГН, что резко ограничивает востребованность гироинклинометра, построенного по поперечной схеме. В то же время следует отметить принципиальную возможность развития на базе этой схемы режима физической стабилизации инклинометра относительно оси скважинного прибора, т.е. создания ГН на базе одноосного гиросtabilизатора.

Так называемая „диаметральная“ схема, предложенная несколько лет назад [3], представляется наиболее совершенной в ряду технических решений для бесплатформенных инклинометров. Она предусматривает разворот корпуса гироскопа вокруг поперечной оси скважинного прибора. При этом вектор кинетического момента перпендикулярен оси разворота и находится в диаметральной плоскости скважинного прибора.

Эта схема совмещает в себе достоинства предыдущих, позволяя создать на основе одного двухосного ДУС полностью универсальный гироинклинометр, способный эффективно работать как в точечном, так и в непрерывном режиме. Теоретические вопросы работы диаметральной схемы освещены в соответствующих публикациях [3, 4].

В связи с появлением диаметральной схемы особую актуальность приобрели разработка и исследование возможностей применения инклинометра в непрерывном режиме. Это связано как с желанием заказчиков получать подробные данные о „высокочастотном“ пространственном спектре траектории скважин, так и с общей тенденцией повышения производительности съемки.

Конструктивное исполнение гироинклинометра. Универсальный гироскопический инклинометр, функциональная схема которого представлена на рис. 1, содержит следующие основные узлы:

- скважинный модуль ориентации (СМО);
- телеметрическую линию связи (ТЛС);
- персональный компьютер (ПК).

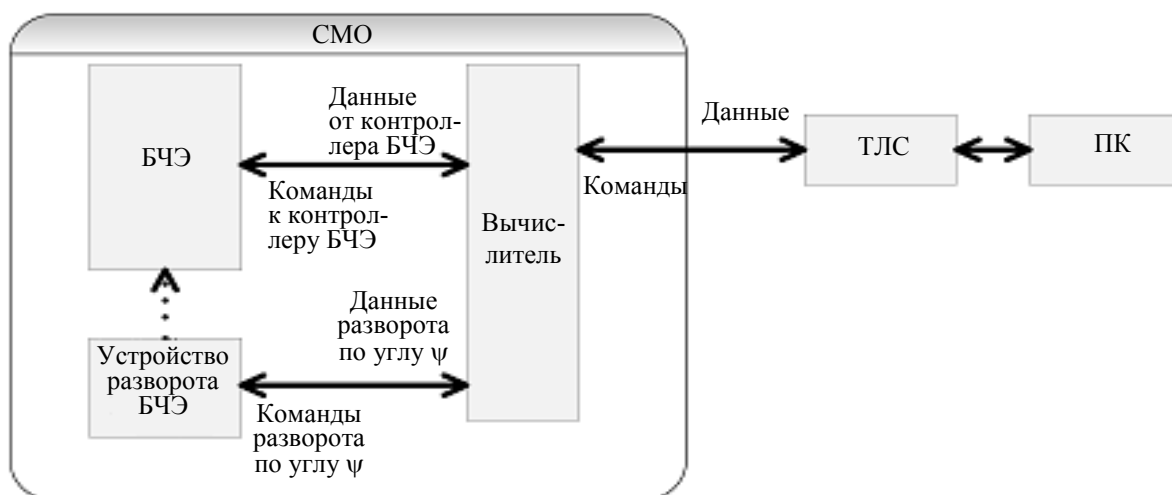


Рис. 1

Линию связи образует аппаратура скважинного модуля связи (СМС) и наземного прибора. Скважинные модули ориентации и связи конструктивно объединены в единый скважинный прибор, который представляет собой цилиндр с наружным диаметром 42 мм и длиной 1800 мм и связан с наземным прибором геофизическим кабелем.

СМО предназначен для определения проекций кажущегося ускорения и угловой скорости на ортогональные оси системы координат, связанной с корпусом скважинного прибора, формирования навигационных параметров и трансляции этой информации в персональный компьютер через линию связи.

Скважинный модуль ориентации включает в себя следующие функциональные узлы (см. рис. 1):

- блок чувствительных элементов (БЧЭ);
- устройство продольного разворота БЧЭ (по углу ψ);
- вычислитель;
- источник вторичного питания.

Конструкция СМО должна обеспечивать:

- установку гироскопа внутри корпуса скважинного прибора;
- развороты ДУС вокруг поперечной оси скважинного прибора;
- измерение угла разворота корпуса ДУС;
- развороты БЧЭ вокруг продольной оси скважинного прибора;
- соединения электрических цепей гироскопа и скважинного прибора.

Блок чувствительных элементов, функциональная схема которого представлена на рис. 2, содержит:

- трехосный блок акселерометров (БА), построенный на четырех микромеханических акселерометрах, ориентированных по ребрам правильного тетраэдра, предназначенный для преобразования проекций кажущегося ускорения корпуса СМО на измерительные оси блока в сигналы напряжения постоянного тока на выходах его измерительных каналов (a_x, a_y, a_z);
- двухосный гироскопический датчик угловой скорости, предназначенный для преобразования проекций угловой скорости корпуса СМО на измерительные оси датчика в сигналы напряжения постоянного тока на выходах его измерительных каналов (ω_x, ω_y);
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) сигналов первичных датчиков;
- узел крепления гироскопа;
- устройство разворота корпуса ДУС (на угол χ в диаметральной плоскости), состоящее из привода разворота корпуса ДУС и датчика угла χ ;
- источник питания гиromотора ДУС (ИПГМ);
- контроллер БЧЭ, осуществляющий управление работой элементов блока.

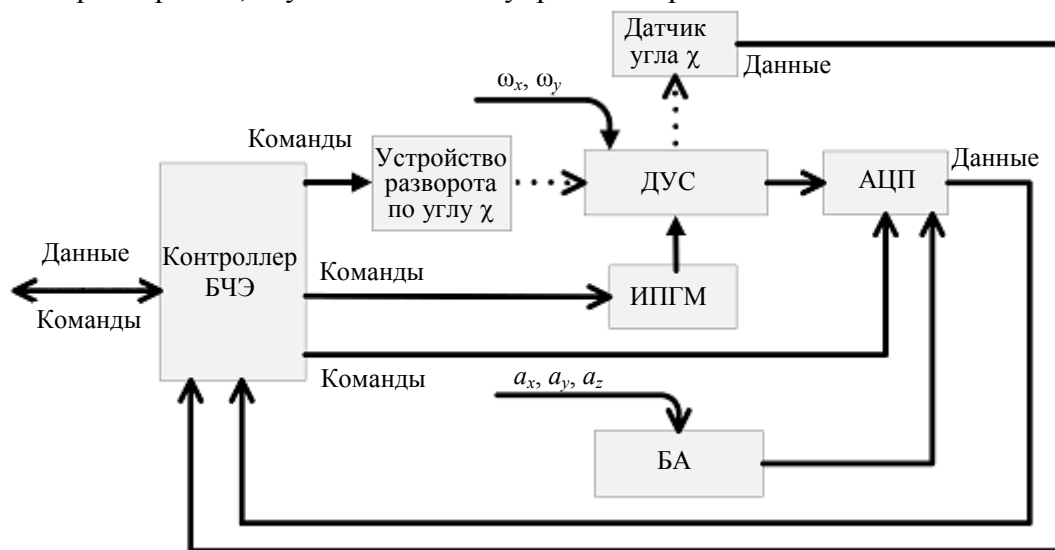


Рис. 2

Для обеспечения вращения гироскопа применяется малогабаритный электромотор с редуктором. Для передачи вращающего момента на корпус гироскопа используются коническая

и цилиндрическая пары зубчатых колес. Непосредственно на корпусе гироскопа установлено колесо специальной формы, что позволяет разместить гироскоп в цилиндрическом корпусе ограниченного диаметра. В качестве датчика углового положения гироскопа предусмотрена установка на его корпусе двухосного микромеханического акселерометра. Такое решение позволяет получать информацию об угле χ , используя непосредственно ось вращения гироскопа в диаметральной плоскости.

Данная конструкция должна обеспечивать также вращение БЧЭ вокруг продольной оси. Чтобы совместить это требование с требованиями по наружному диаметру СМО, авторами настоящей статьи было предложено выполнить БЧЭ в отдельном корпусе, соединенном с основной частью скважинного прибора с помощью вращающегося полого вала, по которому проложены линии для подачи питания и осуществления информационного обмена между блоками прибора посредством цифрового интерфейса. При такой реализации возникает проблема уплотнения вращающегося вала, так как скважинный прибор во время эксплуатации может находиться в жидкости под давлением до 30 МПа. Решение этой проблемы было найдено благодаря использованию специальных узлов уплотнения вращающегося в жидкости вала. Такие уплотнители, выпускаемые компаниями “Busak” и “Shamban” (США) удовлетворяют требованиям по давлению и ограничениям по условиям эксплуатации, в том числе и по возможности использования узла уплотнения в агрессивной среде.

Приведение в движение установленного на подшипниках качения вращающегося вала с БЧЭ осуществляется с помощью электромотора с редуктором и зубчатого колеса внутреннего зацепления, установленного непосредственно на вращающемся валу. Фиксация блока осуществляется арретирующим устройством на основе электромагнита. Угол продольного разворота БЧЭ считывается с кодового диска с помощью блока фототранзисторов датчика углового положения.

Кинематическая схема скважинного модуля ориентации с отдельным корпусом БЧЭ приведена на рис. 3, где 1 — плата электроники СМО; 2 — привод разворота БЧЭ вокруг продольной оси; 3 — датчик угла разворота БЧЭ; 4 — арретир БЧЭ; 5 — узел уплотнения вращающегося вала; 6 — плата электроники БЧЭ; 7 — привод разворота корпуса ДУС на угол χ ; 8 — ДУС.

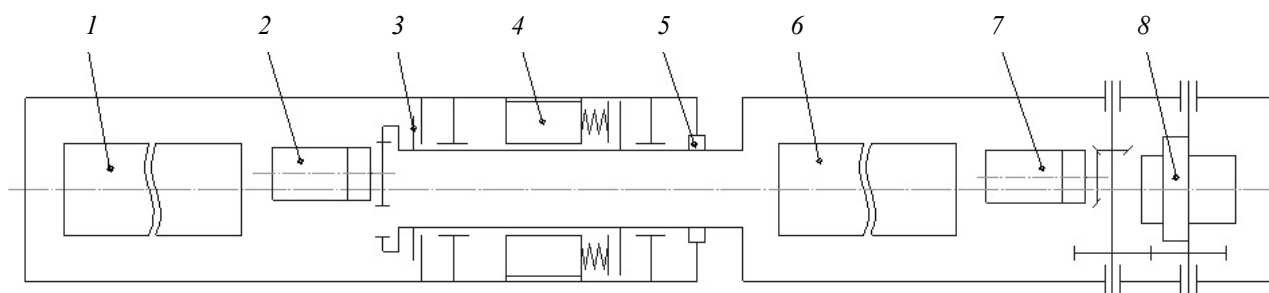


Рис. 3

Моделирование конструкции СМО было осуществлено в системе автоматизированного проектирования. Результат моделирования представлен на рис. 4: здесь 1 — привод разворота БЧЭ вокруг продольной оси; 2 — датчик угла разворота БЧЭ; 3 — арретир БЧЭ; 4 — узел уплотнения вращающегося вала; 5 — привод разворота корпуса ДУС на угол χ ; 6 — ДУС; 7 — арретир ДУС.

Предложенный вариант исполнения позволяет существенно упростить конструкцию СМО благодаря размещению БЧЭ внутри прочного корпуса скважинного прибора. Эта компоновка, однако, имеет один недостаток: с учетом габаритных размеров используемого гироскопического датчика прибор в прочном корпусе невозможно выполнить в диаметре 42 мм. Необходимо увеличение диаметра как минимум до 44,5 мм. Этот диаметр, впрочем, соответ-

ствуется принятому за рубежом стандартному диаметру для скважинных геофизических приборов. В связи с этим можно сделать вывод, что данный вариант компоновки может быть использован на практике.

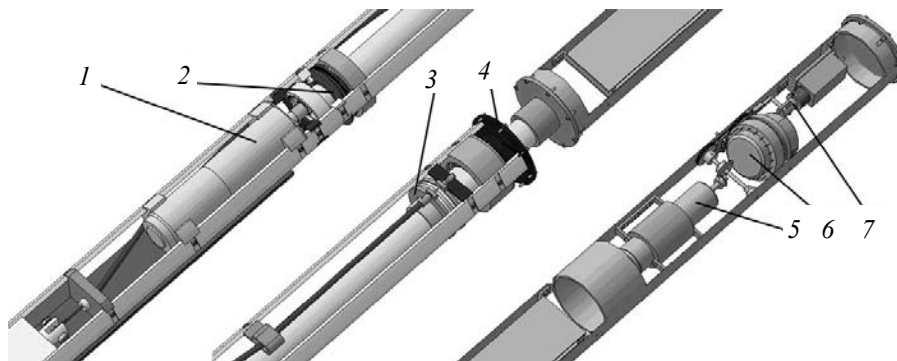


Рис. 4

Заключение. В результате исследований был предложен вариант конструктивного исполнения малогабаритного универсального гироскопического инклинометра, который позволяет реализовать размещение необходимых чувствительных элементов и электромеханических частей приводов разворотов в цилиндрическом корпусе с внешним диаметром, не превышающим стандартных диаметров малогабаритных геофизических приборов. Представленные в статье решения позволяют создать гироскопический инклинометр со значительно более привлекательными, в сравнении с существующими на данный момент аналогами, эксплуатационными характеристиками и возможностью применения в скважинах любых типов и траекторий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биндер Я. И. Аналитическое компасирование в инклинометрии скважин малого диаметра // Гироскопия и навигация. 2003. № 2(41). С. 38—46.
2. Биндер Я. И., Падерина Т. В. Бесплатформенный гироскопический инклинометр с ориентацией главной оси двумерного датчика угловой скорости в плоскости поперечного сечения скважины // Там же. 2004. № 1(44). С. 5—16.
3. Биндер Я. И. Универсальный гироскопический инклинометр с ориентацией главной оси двухосного датчика угловой скорости в диаметральной плоскости скважины // Там же. 2005. № 4(51). С. 23—32.
4. Биндер Я. И., Соколов Д. А. Управление разворотом корпуса скважинного прибора в инклинометрах с ориентацией главной оси гироскопа в диаметральной плоскости скважины // Там же. 2008. № 2(61). С. 65—71.

Сведения об авторах

- Борис Павлович Тимофеев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; E-mail: timborp@rambler.ru
- Дмитрий Александрович Соколов** — ОАО „Электромеханика“, Санкт-Петербург; науч. сотрудник; E-mail: d.a.sokolov@mail.ru
- Вячеслав Юрьевич Дайнеко** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики, кафедра мехатроники; E-mail: zaza.seva@rambler.ru
- Роман Александрович Бартош** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики, кафедра мехатроники; E-mail: bartosh.r.a@mail.ru

Рекомендована кафедрой
мехатроники СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию
15.06.09 г.