

М. А. Ноздрин, А. А. Красковский, Ю. С. Монахов

СИСТЕМНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СКАНИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ КАМЕР

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при конструировании устройств для сканирования подземных скважин, разработке привода, системы герметизации, блока электроники и навигации. Решение этих проблем позволит значительно улучшить характеристики прибора.

Ключевые слова: скважинный прибор, эхолокация, каротаж.

При создании подземных камер очень важно контролировать размеры получаемой полости, использование различного рода радарных приборов позволяет решить эту задачу. Для контроля скважин малой глубины (не более нескольких десятков метров) и протяженности возможно применение георадаров, установленных на поверхности земли. При локации скважин большой глубины и протяженности, а также в случае необходимости более точного определения размеров требуется опустить измерительный блок — скважинный прибор — непосредственно в шахту и проводить акустический каротаж подземной камеры [1].

Скважинная аппаратура для определения размеров подземных камер должна обеспечивать измерение расстояний в диапазоне 0,5—100 м с относительной погрешностью не более 1 % и азимутальную ориентацию направления измерений с погрешностью не более $\pm 3^\circ$ [2]. Скважинный блок должен выдерживать длительную эксплуатацию в специфических условиях подземных резервуаров:

- гидростатическое давление до 30 МПа;
- температура окружающей среды до $+80^\circ\text{C}$;

— агрессивная внешняя среда (солевой раствор).

Вследствие конструктивных особенностей обсадной трубы габариты прибора не должны превышать: диаметр — 80, длина — 1000 мм [3]. Для проведения измерений подземных скважин наиболее часто используются каротажные машины, оснащенные геофизическим кабелем типа КГ 3×1,5 длиной до 2000 метров.

Скважинный прибор (рис. 1) разрабатывался в течение ряда лет на кафедре мехатроники НИУ ИТМО, к настоящему времени создано несколько вариантов прибора. В предлагаемой работе рассматриваются наиболее сложные и актуальные проблемы, возникающие при создании подобных приборов.

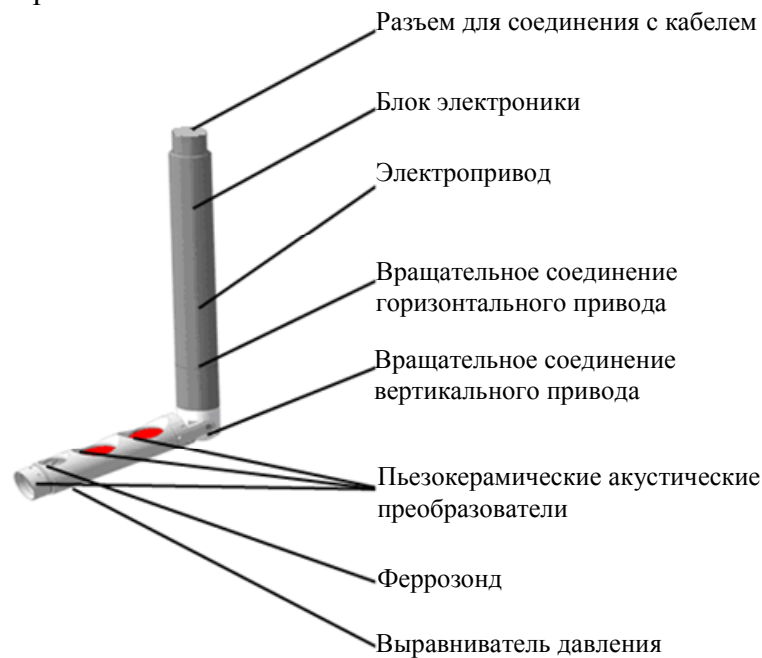


Рис. 1

В соответствии с функциональным назначением можно выделить несколько систем прибора (рис. 2), одной из наиболее сложных является система привода.



Рис. 2

Разрабатываемый прибор имеет две степени свободы. Подвижность обеспечивают два электропривода с высоким крутящим моментом. Оба привода должны обеспечивать преодоление момента трения не менее 2,5 Н·м, момент инерции нагрузки 0,017 кг·м², скорость вращения не ниже 1 об/мин и поворот на 1° не более чем за 0,2 с.

В приводе используются двигатель FL39ST38 и простой многоступенчатый передаточный механизм. Особую сложность представляет создание подвижных сочленений между корпусными деталями (см. рис. 1) [4]. Они должны обеспечивать герметичность, подвижность и выдерживать высокую разность давления между внешней и внутренней средой. Эту проблему удалось частично решить, компенсируя разность давления и применяя резиновые уплотнители, таким образом, все компоненты электропривода оказались под высоким давлением.

Система датчиков положения необходима для обеспечения обратной связи по положению электропривода с целью исключения ошибок позиционирования. Так как все движущиеся части приводов находятся в масле с высоким давлением, то и датчик должен выдерживать высокое давление. Однако выпускаемые серийно датчики не могут работать при таком давлении.

Проблемы, возникающие при разработке блока питания, обусловлены низкой мощностью электропитания, получаемого по кабелю, ограниченной сопротивлением питающей линии и питающим напряжением (не более 50 В), подаваемым на кабель. Максимальная мощность, получаемая с кабеля, составляет 6 Вт (рис. 3), в то же время потребляемая мощность — 20 Вт, что значительно превышает максимально возможную мощность электропитания (потребители электрической энергии: привод горизонтальной оси — 5 Вт; привод вертикальной оси — 5 Вт; импульсное до 17 Вт; приемопередатчик — 1,5 Вт; эхолотатор — 1 Вт; блок электроники — 1 Вт). Поэтому необходимо регулировать потребление мощности и создавать дополнительный источник питания (аккумулятор) для накопления электроэнергии и компенсации пиков потребления.

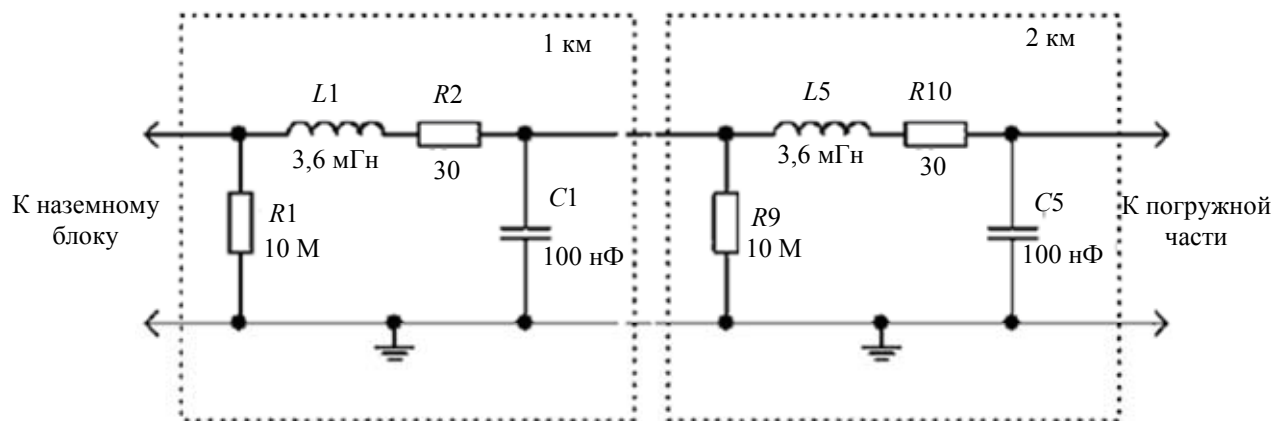


Рис. 3

Другим важным компонентом прибора является электроакустический преобразователь для измерения расстояния (эхолот), выполненный на основе пьезокерамического преобразователя. Генератор возбуждающего сигнала выполнен на основе микроконтроллера и усилителя мощности и имеет частоту 100—1000 кГц и амплитуду до 50 В. Существует несколько основных задач при разработке блока эхолота: повышение мощности ультразвукового передатчика (приведет к повышению радиуса работы прибора или к снижению уровня помех при измерении расстояния); выбор наиболее подходящих частот звукового сигнала (сигналы различных частот имеют разную степень затухания, которая обычно возрастает с увеличением частоты сигнала, погрешность, наоборот, уменьшается); возможность применения многочастотных систем (несколько частот звукового сигнала позволяют компенсировать недостатки, которые возникают при использовании одночастотной системы, однако недостатком многочастотной системы является значительное повышение габаритов прибора).

Одной из задач является обработка сигнала, полученного с усилителя, и управление его коэффициентом усиления. В настоящее время в приборе используются схема повышения коэффициента усиления с момента подачи сигнала в соответствии с общей моделью затухания ультразвукового импульса и пороговое детектирование усиленного сигнала, таким образом теряется значительная часть информации о принимаемом сигнале (например, амплитуде и форме импульса). Разрешение измерения по периоду для существующей системы составляет 16 бит и фиксирует до 256 пиков на измерение (обычное разрешение 10—20 бит, это соответствует 160—512 байт на каждое измерение и до 184 кбит — на измерения полости в одной плоскости). Применение аналого-цифровых преобразователей обеспечивает возможность дополнительного снижения помех за счет дополнительной математической обработки сигналов,

полученных с преобразователей. Эта обработка позволяет также получить дополнительную информацию о состоянии внешней среды (например, о состоянии поверхности). Применение таких фильтров требует дополнительных исследований.

Для получения данных о форме огибающей отраженных импульсов необходимо обеспечить частоту измерения не менее удвоенной частоты ультразвукового сигнала и разрешение 6—8 бит, столько же — для управления коэффициентом усиления. Длительность периода измерения 0,15 с, за это время накапливается порядка 266 кбайт, что составляет 100 Мбайт на срез. Таким образом, необходимо создавать систему предварительной обработки данных для их сжатия с минимальными потерями и увеличением пропускной способности линии связи.

Серьезной проблемой является ограничение скорости передачи данных линией связи. Так как прибор используется в основном с геофизическим кабелем типа КГ 3×1,5, для обеспечения двунаправленной связи может использоваться только одна проводящая жила емкостью порядка 100 пФ/м и сопротивлением 30 Ом на 1000 м [5] (рис. 3). Кроме того, ограничивается мощность передатчика, расположенного в скважинном приборе.

В настоящее время в приборе для передачи данных используется токовая петля с рабочими токами ±5 мА, применяется встроенный в микроконтроллер универсальный приемопередатчик последовательной шины с приемопередающим усилителем и приемником на микросхеме lm2904 с компенсацией емкостной составляющей токовых утечек. Микроконтроллер обеспечивает автоматическое определение максимально возможной скорости передачи данных через кабель (9600—11 5200 бит/с).

Система навигации необходима для определения направления полученной годограммы расстояний относительно земли. Основными характеристиками системы навигации являются точность, потребляемая мощность, габаритные размеры, также важный параметр — стоимость системы. В систему навигации входят феррозонд (1—3°) и гироскоп (механический, микромеханический либо оптоволоконный).

Создание системы навигации осложняет то, что используемые обычно системы на основе магнитных датчиков (например, феррозондов) не могут работать в условиях внешних магнитных помех. Однако часто возникает необходимость исследования состояния внешней среды как внутри обсадных труб и обшитых металлом подземных хранилищ, так и вблизи естественных магнитных аномалий. Механические гироскопы для данных целей малопригодны, так как требуют большого количества энергии и обладают большими габаритами и весом.

Высокоточный оптоволоконный гироскоп может применяться для навигации даже при полной невозможности использования феррозонда. Оптоволоконный гироскоп типа ОИУС-200 имеет погрешность 0,6 °/ч, однако его стоимость достаточно высока.

Микромеханические гироскопы также могут найти применение в системе навигации, к их недостаткам можно отнести высокий дрейф нуля (от нескольких градусов в час и выше). Сильная тепловая зависимость микромеханического гироскопа компенсируется стабильной температурой внешней среды. Для систем навигации подходят, например, гироскопы серии ADXRS от Analog Devices или L3G4200 — от STMicroelectronics [6, 7]. Их можно эффективно использовать при совмещении с феррозондом, тем самым существенно расширяя диапазон применения прибора.

Также в скважинном приборе возможно применять различные математические фильтры для уменьшения погрешности измерения, вызванной специфическим характером движения, однако для создания подобных фильтров нужны дополнительные исследования.

Для разработки нового скважинного прибора необходимо решить целый ряд проблем, в основном связанных со специфическими условиями эксплуатации. Решение данных проблем приведет к улучшению его характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ноздрин М. А., Дивлет-Кильдеев М. Ф., Бурак А. Ю., Ларин М. С., Нурждин К. А., Родин Н. В. Перспективы разработки скважинных приборов „Сканер“ // Девятая сессия междунар. науч. школы „Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов“. СПб: ИПМАШ РАН, 2009.
2. Ноздрин М. А., Мусалимов В. М., Родин Н. В. Динамический анализ уплотнительного элемента скважинного прибора // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 2. С. 16—19.
3. Ивакин Б. Н., Карус Е. В. Акустический метод исследования скважин. М.: Недра, 1978.
4. [Электронный ресурс]: <<http://www.geolib.ru>>.
5. [Электронный ресурс]: <<http://www.analog.com>>.
6. [Электронный ресурс]: <<http://www.st.com>>.
7. [Электронный ресурс]: <<http://www.rashid-cable.ru>>.

Сведения об авторах

- Михаил Александрович Ноздрин** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники
- Андрей Александрович Красковский** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; E-mail: 684@bk.ru
- Юрий Сергеевич Монахов** — Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; старший преподаватель; E-mail: monahovv@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
мехатроники

Поступила в редакцию
29.02.12 г.