



УДК 550.8.05

## ТЕЛЕСИСТЕМА ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОВОДКИ НАКЛОННЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН С БЕСКАБЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ КАНАЛОМ СВЯЗИ

### TELEMETRY SYSTEM FOR NAVIGATIONAL SUPPORT OF DRILLING OF DIRECTIONAL AND HORIZONTAL WELLS WITH WIRELESS ELECTROMAGNETIC COMMUNICATION CHANNEL

**Иванова Татьяна Николаевна**

доктор технических наук, профессор,  
Удмуртский государственный университет  
rsg078829@mail.ru

**Урбанович Валерий Станиславович**

кандидат технических наук, доцент,  
Удмуртский государственный университет

**Глазырин Даниил Дмитриевич**

магистр,  
Удмуртский государственный университет

**Аннотация.** Аппаратура бескабельная телеметрическая скважинная BTS-172, предназначена для измерений зенитных углов, азимутов скважин и углов установки отклонителя бура в процессе оперативного управления траекторией бурения скважин. Область применения – бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Принцип действия аппаратуры BTS-172 основан на передаче по бескабельному электромагнитному каналу связи измерительной информации от скважинного прибора на поверхность в наземное приемное устройство УПМ. В качестве чувствительных элементов преобразователя для измерения азимута применяются магнитометры, а для измерения зенитного угла и угла установки отклонителя – акселерометры. Скважинный прибор в составе компоновки бурильной колонны спускается на забой и имеет два режима измерения: «в динамике» и «в статике».

**Ключевые слова:** бескабельная, телеметрическая скважинная аппаратура, бурение, наклонно-направленные, горизонтальные, скважины.

**Ivanova Tatyana Nikolaevna**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Udmurt state university  
rsg078829@mail.ru

**Urbanovich Valery Stanislavovich**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Udmurt state university

**Glazyrin Daniil Dmitrievich**

Master,  
Udmurt state university

**Annotation.** Wireless telemetry well equipment BTS-172 is designed for measurements of zenith angles, well azimuths and whipstock setting angles in the process of operational management of the trajectory of well drilling. Application area includes drilling of directional and horizontal wells. Operating principle of equipment BTS-172 is based on transmission of measurement information from downhole tool to the ground-based receiver through wireless electromagnetic communication channel. Magnetometers are used as sensing elements of converter for azimuth measurements, while accelerometers are employed to measure zenith angle and whipstock setting angle. The downhole tool is lowered to the bottom of the well as a component of the drilling string assembly. It has two measurement modes: «in dynamics» and «in static».

**Keywords:** wireless, telemetry well equipment, drilling, directional, horizontal, wells.

Аппаратура бескабельная телеметрическая скважинная предназначена для оперативного управления траекторией ствола наклонно-направленных и горизонтальных скважин в процессе роторного бурения и бурения гидравлическими забойными двигателями с использованием для передачи информации электромагнитного беспроводного канала связи.

При работе следует руководствоваться следующими определениями и обозначениями (рис. 1), принятыми в геофизике [1–3]:

- Меридианальная плоскость – вертикальная плоскость, проходящая через магнитный меридиан.
- Апсидальная плоскость – плоскость, проходящая через вертикаль и касательную к оси скважины в точке проведения измерений.
- Плоскость действия отклонителя – плоскость, проходящая через ось бурильной колонны до отклонителя и ось бурильной колонны после отклонителя.
- Реперная ось отклонителя – перпендикуляр к его оси, проходящий через метку, нанесенную на корпус отклонителя.
- Метка «0» инклинометра – метка, нанесенная на верхней образующей горизонтально расположенного инклинометра при нулевом показании «ОТКЛОНИТЕЛЬ» на дисплее компьютера.

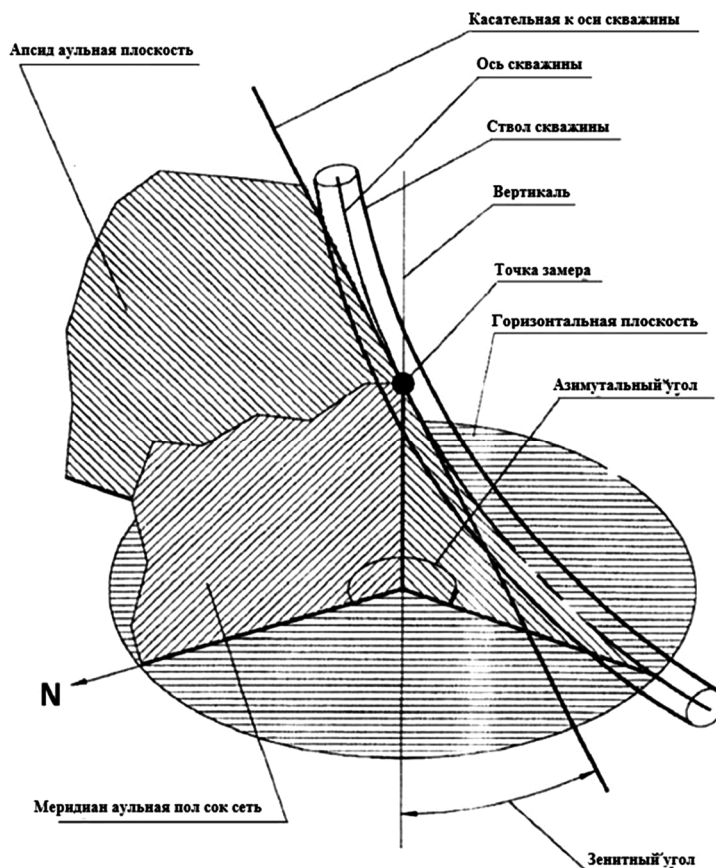


Рисунок 1 – Типовые обозначения

- Реперная ось инклинометра – перпендикуляр к оси инклинометра, проходящий через метку «0».
- Z – зенитный угол в градусах, определяемый как угол между касательной к оси скважины в точке проведения измерений и вертикалью (зенитный угол равен нулю при вертикальной касательной и 90о при горизонтальной касательной).
- y – географическая широта точки измерения.

Аппаратура бескабельная телеметрическая скважинная БТС-172, предназначена для измерений зенитных углов, азимутов скважин и углов установки отклонителя бура в процессе оперативного управления траекторией бурения скважин. Область применения – бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Принцип действия аппаратуры БТС-172 основан на передаче по бескабельному электромагнитному каналу связи измерительной информации от скважинного прибора на поверхность в наземное приемное устройство УПМ (рис. 2).

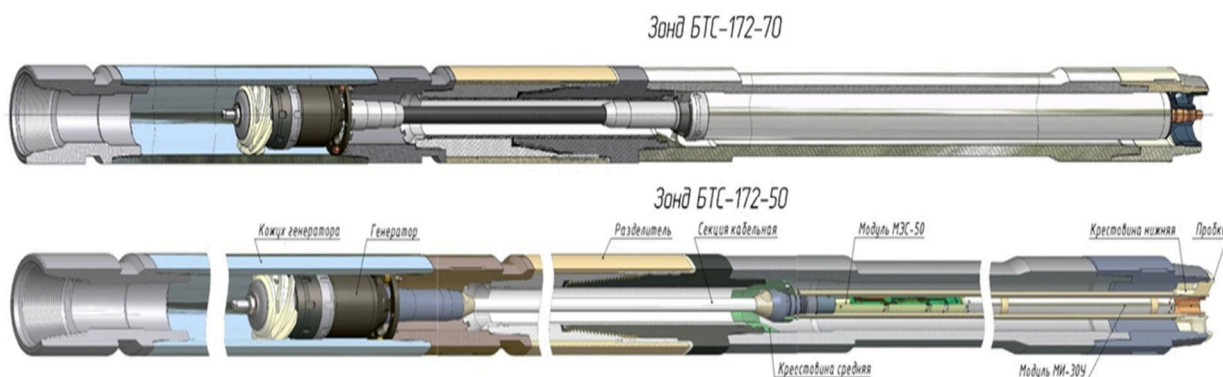


Рисунок 2 – Телесистема БТС-172

Скважинный прибор включает в себя электрический разделитель, генератор, немагнитный удлинитель и модуль электронный скважинный, содержащий электронный измерительный блок с первичными преобразователями – магнитный инклинометр и электронный передающий блок. Для измерения азимута, зенитного угла скважины и углов установки отклонителя инклинометр использует магнитное и гравитаци-

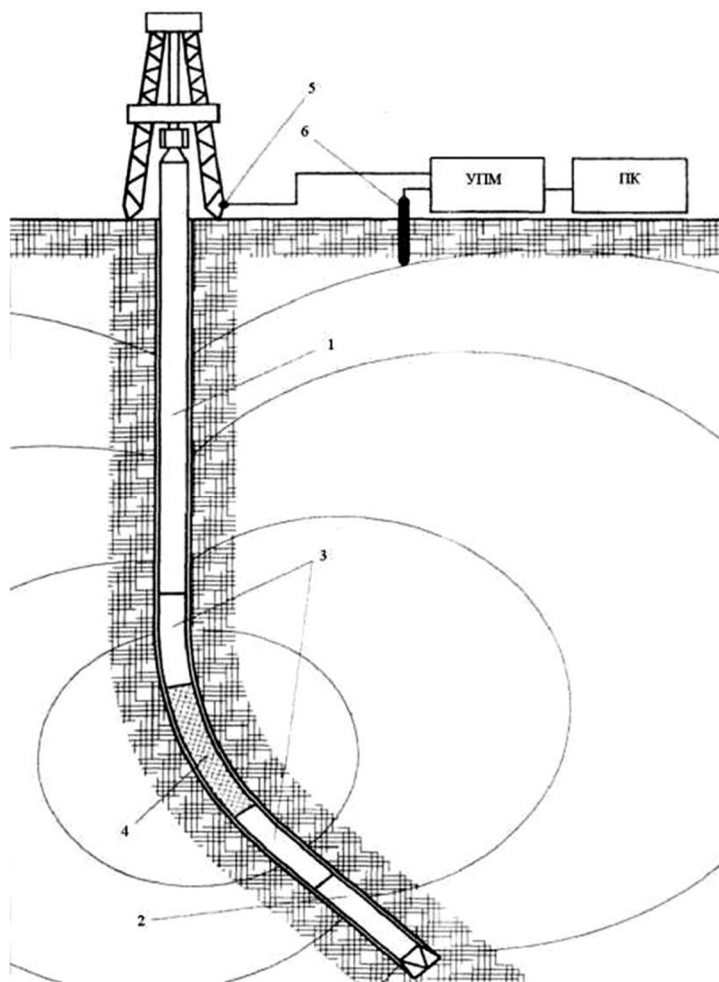


онное поле Земли. В качестве чувствительных элементов преобразователя для измерения азимута применяются магнитометры (измерительные интегральные микросхемы с магниточувствительными элементами, сопротивление которых меняется под воздействием магнитного поля), а для измерения зенитного угла и угла установки отклонителя – акселерометры (измерительные интегральные микросхемы с поликремниевой пластиной, механически соединенной с подложкой при помощи упругих элементов подвеса и способной перемещаться под действием ускорения).

Скважинный прибор в составе компоновки бурильной колонны спускается на забой. При включении циркуляции прибор непрерывно проводит измерение инклинометрических параметров: зенитного угла, азимута и отклонителя. Результаты вычислений передаются на поверхность по электромагнитному каналу связи. Принцип действия канала связи поясняется на рисунке 3. При подаче напряжения между верхней (1) и нижней (2) частями буровой колонны, разделенных диэлектрической вставкой (4), возникают токи рассеяния, текущие по породе и замыкающиеся на верхнюю часть колонны. Часть тока течет по поверхности, что можно обнаружить, подключив вход приемника к буровой (5) и к приемной антенне (6), расположенной на расстоянии 40–160 м от буровой. Сигнал поступает на вход приемного устройства, дешифрируется, оцифровывается и передается в персональный компьютер. Оператор на основании полученных инклинометрических данных управляет работой буровой бригады, обеспечивая проводку скважины в соответствии с проектом.

*Прибор скважинный* представляет собой сборку трубных элементов: нижний немагнитный удлинитель; зонд; верхний немагнитный удлинитель; переходной переводник. В свою очередь зонд скважинного прибора также является сборкой трубных элементов, разделителя и корпуса зонда или кожуха генератора (типоразмер 172), свинченных между собой с помощью резьбы, внутри которых размещены фильтр, генератор и электронный скважинный модуль – МЭС-50 ЭМ, установленный в защитном кожухе и закрытый пробкой МЭС. Для примера изображен зонд АБТС-ЭМ-172-3-Т (рис. 4).

*Немагнитные удлинители* представляют собой трубы из немагнитного сплава (вариант исполнения «Т» – с переводниками по концам) и предназначены для удаления МЭС от бурильных труб. Это позволяет существенно уменьшить ошибку определения магнитного азимута, вызванную влиянием буровой колонны.



**Рисунок 3** – Принцип передачи сигнала телесистемой БТС-172: 1 – верх буровой колонны; 2 – низ буровой колонны; 3 – прибор скважинный; 4 – диэлектрическая вставка; 5, 6 – точки подключения антенн



*Разделитель* предназначен для электрического разобщения верхней и нижней частей бурильной колонны. Разделитель представляет собой сборку труб из немагнитного сплава, собранных с применением резьбы. Одно из резьбовых соединений выполнено с применением диэлектрической прокладки.

*Фильтр* предназначен для очистки бурового раствора от мусора, наличие которого в промывочной жидкости может привести к повреждению телесистемы.

*Генератор* предназначен для выработки электроэнергии для питания модуля электронного скважинного. Представляет собой трехфазный источник питания переменного тока, маслонаполненного типа. Выработка электроэнергии происходит за счет преобразования энергии потока промывочной жидкости. Генератор ГМ-70-2 представляет собой электрическую машину обращенной конструкции закрытого типа на подшипниках качения с торцевыми уплотнениями (рис. 5). Маркировка генераторов: ГМ-70-2 – где ГМ – генератор маслонаполненный; 70 – номинальный диаметр, мм; 2 – номер варианта конструктивного исполнения.

*Модуль электронный скважинный (МЭС)* предназначен для определения инклинометрических параметров бурения (зенитного угла, магнитного азимута, угла отклонителя – магнитного и гравитационного), уровня естественного гамма излучения, технологических параметров (вибрация, обороты генератора, температура) и передачи информации о выбранных параметрах на поверхность. Внутри кожуха МЭС модуль электронный скважинный МЭС-50ЭМ фиксируется и герметизируется пробкой МЭС.

*Наземное оборудование* состоит из приемного устройства УПМ, переговорного устройства ПУ, персонального компьютера с установленным программным обеспечением и др.

Сигнал от скважинного прибора улавливается на поверхности антенной и подается на вход УПМ. Уровень сигнала на входе может изменяться от единиц вольт (на малых глубинах) до десятков микровольт (на максимальных глубинах бурения). Оцифрованный сигнал передается по цифровому интерфейсу в ПК.

Переговорное устройство ПУ обеспечивает двустороннюю громкую связь между оператором телеметрической системы и технологом на буровой.

Телесистема имеет два основных режима измерения, которые условно называются «в динамике» и «в статике». Замеры «в динамике» производятся непрерывно во время работы генератора телесистемы, т.е. во время работы буровых насосов. Данные о замерах непрерывно передаются на поверхность, что позволяет проводить направленное бурение. Во время бурения телесистема подвергается значительной вибрации и вращению вокруг своей оси, что приводит к большим колебаниям значений измеряемых инклинометрических параметров – зенита, азимута и отклонителя. Для уменьшения воздействия вибрации данные измерений осредняются. Времена осреднений подобраны так, чтобы от одной передачи на поверхность значений измеряемого параметра до другой происходило не менее одного цикла осреднений. Таким образом, чем меньше частота передачи, тем больше время осреднения и тем меньше может быть разброс параметров.



Рисунок 4 – Зонд АБТС-ЭМ-172-3-Т

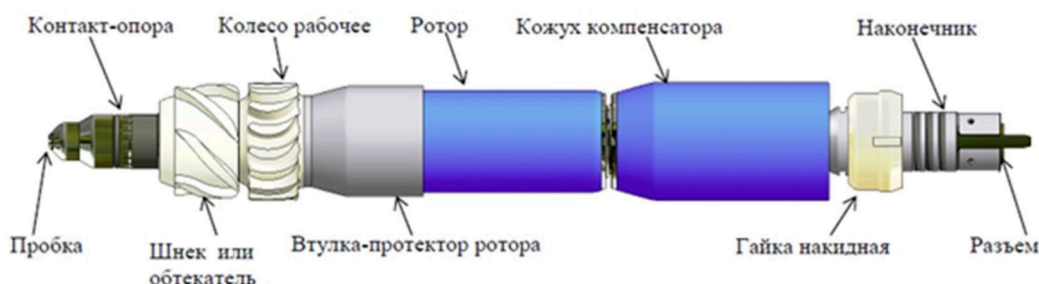


Рисунок 5 – Генератор ГМ-70-2

**Достоверные значения зенитного угла и азимута будут только в том случае, если положение отклонителя во время замера не изменялось, и это справедливо даже для малых уровней вибрации. При бурении ротором инклинометрические измерения будут некорректны.** Замер «в статике» выполняется при остановке насосов не менее чем на 45 секунд. Инклиномет-



рические параметры замеряются три раза в конце этого интервала. Необходимо обеспечить неподвижность компоновки на время проведения «статических замеров», так как время осреднения при их проведении мало. Через 35 секунд после останова насосов на протяжении десяти секунд движение колонны недопустимо. Здесь следует учитывать, во-первых, время выбега насосов при их останове, а также время выбега генератора. Эти временные интервалы зависят от типа и предыдущего режима работы буровых насосов, от применяемого в телесистеме генератора и других параметров и определяются опытным путём. Электроника прибора начинает отсчитывать время статического замера после значительного падения оборотов генератора телесистемы (ниже рабочего диапазона). Как правило, после отрыва от забоя и выключения насосов, при обычной операции наращивания, времени достаточно. На практике пауза в работе насосов составляет 60 секунд. Так же иногда может потребоваться сделать паузу между отрывом от забоя (движением колонны) и до выключения насосов, с тем, чтобы затухли колебания колонны. Во-вторых, необходимо помнить, что при отрыве от забоя, колонна обычно раскручивается в сторону вращения долота (колонна закручивается во время бурения под действием реактивного момента). При этом отклонитель может совершить несколько оборотов, и никогда не будет совпадать с последним отклонителем динамического замера. Кроме того, при подъёме колонны даже на метр от забоя может измениться положение телесистемы относительно центра скважины (в случае «кривой компоновки» с использованием кривого переводника), что приведёт к некоторому небольшому изменению значения зенитного угла. **В любом случае, при «кривой компоновке» наблюдается зависимость зенитного угла и азимута от положения отклонителя. Это не погрешность самой телесистемы. Влияние возникает из-за разницы в направлении оси скважины и оси телесистемы.**

Выходные сигналы с первичных преобразователей подвергаются оцифровке и производится расчет значений зенитного угла, азимута и углового положения отклонителя. Полученные данные преобразуются в последовательный помехоустойчивый код, управляющий передающим блоком скважинного модуля. Сигнал, принятый на поверхности наземным приемным устройством УПМ, усиливается и передается на персональный компьютер для дальнейшей обработки специально разработанной программой.

#### Литератур:

1. Климов В.В. Геофизические исследования скважин : учебное пособие / В.В. Климов, А.В. Шостак; ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014. – 220 с.
2. Булатов А.И. Бурение нефтяных и газовых скважин: учебно-методическое пособие / А.И. Булатов, С.В. Долгов. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – 674 с.
3. Булатов А.И. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин : монография / А.И. Булатов, О.В. Савенок, Р.С. Яремийчук. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.

#### References:

1. Klimov V.V. Geophysical surveys of wells: manual / V.V. Klimov, A.V. Shostak; FGBOU VPO «KUBGTU». – Krasnodar : Publishing house – South, 2014. – 220 p.
2. Bulatov A.I. Drilling of oil and gas wells: educational and methodical grant / A.I. Bulatov, S.V. Dolgov. – Krasnodar : Publishing house – South, 2015. – 674 p.
3. Bulatov A.I. Scientific bases and practice of development of oil and gas wells : monograph / A.I. Bulatov, O.V. Savenok, R.S. Yaremychuk. – Krasnodar : Publishing house – South, 2016. – 576 p.