

УДК 622.24: 621.398

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА БУРОВОЙ ТЕЛЕСИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ КАНАЛОМ СВЯЗИ

Ягубов З.Х., Старцев А.Э.¹

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

¹*e-mail: andstar_aes@mail.ru*

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы повышения энергетического потенциала забойной телесистемы с электромагнитным каналом связи. Предложен алгоритм и устройство, реализующее алгоритм регулирования мощности забойного излучателя, предложена методика оценки энергетической эффективности предложенного способа регулирования.*

Ключевые слова: *буровая телесистема, электромагнитный канал связи, забойный излучатель, широтно-импульсная модуляция, ШИМ, антенна*

Современные бескабельные буровые телеметрические системы, имеют общее слабое место, которым является необходимость использования автономного забойного источника энергии. Используемый во многих случаях забойный электрический генератор, из-за наличия в нём вращающихся частей (статора и ротора), в условиях высоких давлений, вибраций и температур, в агрессивной и абразивной среде бурового раствора, наиболее ненадежен и недостаточно технологичен. Одним из наиболее перспективных решений на сегодняшний день является замена генератора на аккумуляторное электропитание, которая должна привести к качественному росту эффективности телесистемы за счет повышения надёжности, снижения эксплуатационных расходов и трудозатрат. Успешный переход на аккумуляторные батареи подразумевает кардинальные изменения в конструкции телесистемы и должен базироваться на новых принципах, технологиях и материалах.

Существующие забойные телесистемы с электромагнитным каналом связи по колонне бурильных труб и буровому раствору в затрубном пространстве [1] обеспечивают время автономной работы от аккумуляторных батарей до 250 часов. При этом современные буровые долота способны работать до 600 часов, с постоянной тенденцией увеличения этого времени, что делает актуальной задачу разработки технических средств, повышающих энергетический потенциал забойных телесистем, использующих электромагнитный канал.

Основным потребителем мощности аккумуляторных батарей в погружном забойном модуле является забойная антенна, передающая сигнал телеметрии на поверхность по каналу связи.

Поэтому одним из вариантов решения проблемы повышения энергетического потенциала забойных телесистем является увеличение времени автономной работы аккумуляторных батарей путем регулирования мощности излучения

забойной антенны по каналу двусторонней передачи информации в функции глубины скважины, т. е. по мере ее увеличения.

Применительно к каналу передачи информации [1], можно отметить следующее: поскольку и приемник и излучатель представляют собой абсолютно аналогичные конструкции в виде тороидальных трансформаторов, то передача информации возможна в обоих направлениях, с одинаковой эффективностью (рис. 2). Поскольку мощность наземной антенны ограничивается только предельными значениями индукции в магнитопроводе тороидального излучателя, а забойный блок может быть оборудован устройством обработки информации, получаемой с поверхности, то управление мощностью излучения забойной антенны можно осуществлять с поверхности. Процесс увеличения мощности излучения забойной антенны дискретный, т.е. мощность может принимать только рассчитанные заранее дискретные значения.

Алгоритм регулирования мощности излучения забойной антенны, входящей в состав устройства, структурная схема которого представлена на рис. 1, можно описать следующим образом.

Бурение начинается при минимально возможной излучаемой мощности. Полученный с забоя сигнал анализируется с точки зрения требуемого соотношения сигнал/шум. Если соотношение сигнал/шум меньше заданного, то с поверхности на забойный блок передается кодовое слово, требующее увеличить мощность излучения забойной антенны.

Такой алгоритм может быть реализован в предложенном устройстве передачи информации с забоя скважины на поверхность [2], позволяющем использовать канал двусторонней передачи информации для регулирования мощности антенны, передающей сигналы забойной телеметрии на поверхность (рис. 2).

Забойная антенна 1 выполнена в виде тороидального сердечника 2, который "насажен" на бурильную трубу 3 и расположен вблизи забоя скважины. Обмотка 4 на тороидальном сердечнике 2 подсоединена к блоку коммутации забойной антенны 22. Электронные блоки – усилитель 5, формирователь сигнала 6, блок коммутации забойной антенны 22, блок приема и обработки сигнала управления мощностью 23, преобразователь аналог - код 7 и измерительный блок 8 размещены в специальном герметичном контейнере, находящемся вблизи забоя скважины внутри бурильной трубы. Забойная антенна 1 закрыта прочным герметичным кожухом 9, защищающим ее от механических воздействий и от бурового раствора. На устье скважины расположена приемо-передающая антенна 10, которая также выполнена в виде тороидального сердечника 11 с обмоткой 12 и защищена от механических воздействий и бурового раствора кожухом 13. Концы обмотки 12 выведены на поверхность и подключены к блоку коммутации поверхностной антенны 21, который в режиме приема информации подключается ко входу усилителя - фильтра 14, где выделяется сигнал, принятый с забоя антенной 10, с выхода которого поступает на блок вычисления соотношения сигнал/шум 17.

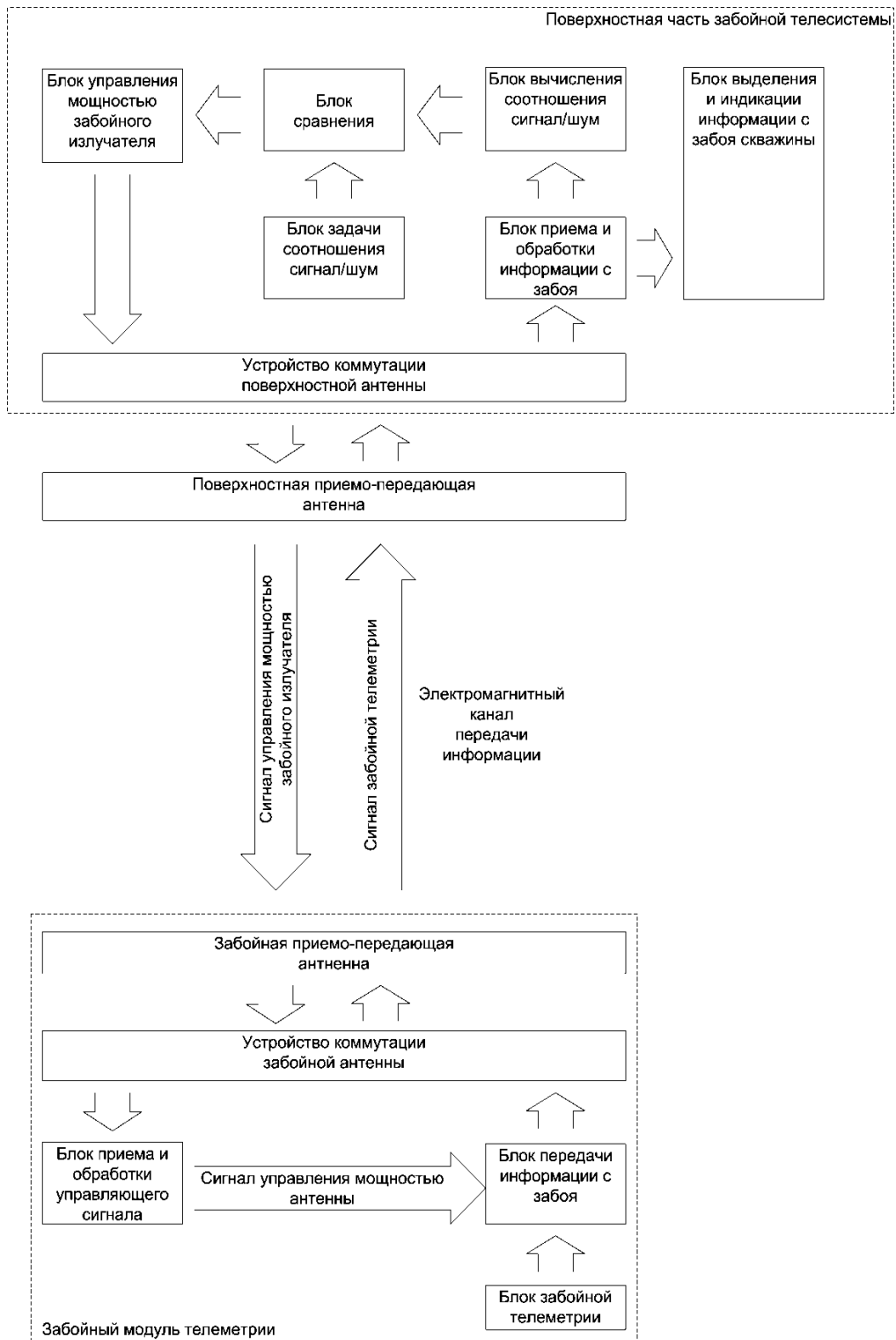


Рис. 1. Структурная схема устройства, реализующего управление мощностью забойной антенны в функции глубины скважины

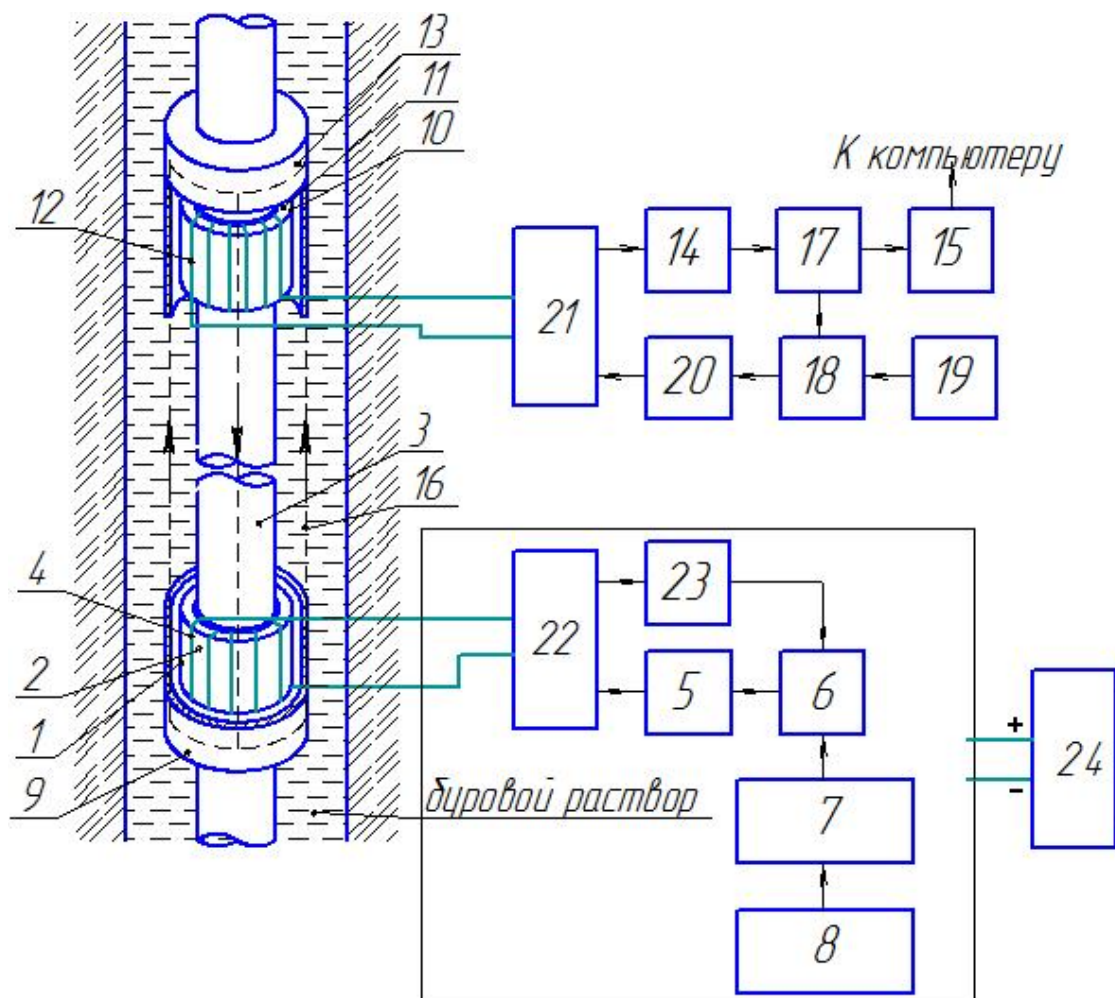


Рис. 2. Устройство для передачи информации с забоя скважины на поверхность позволяющее использовать канал двусторонней передачи информации для регулирования мощности антенны, передающей сигналы забойной телеметрии на поверхность

Выделенный сигнал проходит формирователь 15, который обеспечивает согласование параметров сигнала с компьютером, куда сигнал с забоя поступает для обработки и вычислений. Также в состав поверхностной части телесистемы входят блок задачи соотношения сигнал/шум 19, блок сравнения 18, блок управления мощностью забойной антенны 20. Забойный блок содержит автономный источник энергии – аккумуляторную батарею 24.

Устройство, реализующее способ, работает следующим образом. Передача информации происходит в обоих направлениях. С забоя на поверхность передаются данные забойной телеметрии. С поверхности на забой передается сигнал управления мощностью излучения забойной антенны. В режиме передачи сигнала с забоя в измерительном блоке 8 измеряются необходимые забойные параметры.

Сигналы с измерительного блока 8 после преобразователя аналог - код 7 преобразуются в двоичный код. Формирователь сигнала 6 обеспечивает заполнение импульсов несущей частотой, а усилитель 5 формирует необходимый уровень тока в обмотку 4 антенны 1.

Передача сигнала с начальной глубины осуществляется при минимально необходимом уровне тока, который обеспечивает на поверхности сигнал с требуемым соотношением сигнал/шум. Принятая с забоя информация на поверхности анализируется на соотношение сигнал/шум в блоке 17, величина которого сравнивается в блоке сравнения 18 с оптимальной величиной, задаваемой блоком 19. В случае если вычисленное соотношение сигнал/шум окажется меньше оптимального, то блок управления мощностью забойной антенной 20 формирует сигнал, передаваемый через поверхностную антенну 10, который принимается забойной антенной 4, работающей в режиме приема. Сигнал декодируется в блоке приема и обработки сигнала управления мощностью 23, на выходе которого в этом случае формируется воздействие на блок формирователя сигнала 6, увеличивающее дискретно величину излучаемой забойной антенной мощности.

Блок коммутации поверхностной антенны 21 осуществляет коммутацию выводов антенны с блоком усилителя - фильтра 14 в режиме приема забойной информации, либо – с блоком управления мощностью забойной антенны 20, в режиме передачи сигнала увеличения мощности забойной антенны.

Блок коммутации забойной антенны 22 осуществляет коммутацию выводов антенны с блоком приема и обработки сигнала управления мощностью 23 в режиме управления мощностью забойной антенной, либо – с блоком усилителя - фильтра 23 в режиме передачи сигнала забойной телеметрии.

В результате достигается более рациональное использование емкости забойных аккумуляторов 24, т.к. на малых глубинах бурения забойная антенна передает на поверхность сигнал избыточной мощности.

Процесс регулирования мощности излучения забойной антенны, заключается в управлении амплитудой напряжения на выходе усилителя 5 (рис. 2). При этом уменьшение амплитуды не должно сопровождаться значительным снижением КПД усилителя, так как это может свести к минимуму эффект от регулирования уровня передаваемого сигнала из-за большой величины потерь в усилителе. Подобным требованиям отвечают дискретные усилители аналоговых сигналов, в частности усилители с широтно-импульсной модуляцией. Одной из важнейших энергетических характеристик которых является зависимость КПД от относительной амплитуды $\eta(\xi)$, где ξ – отношение текущего значения амплитуды сигнала усилителя к его максимально возможной амплитуде.

Для оценки энергетической эффективности процесса регулирования мощности излучения забойной антенны введем функцию эффективности регулирования мощности забойного излучателя, представляющую собой отношение энергии,

необходимой для передачи сигнала с забоя на поверхность при постоянной мощности излучающей антенны W_{CONST} к энергии, затраченной на передачу сигнала при регулировании его мощности в функции глубины скважины W_{VAR} .

Данное отношение энергий будет представлять собой отношение времени автономной работы аккумуляторных батарей при использовании предложенного метода регулирования амплитуды сигнала к аналогичному времени при передаче сигнала с постоянной амплитудой.

Эффективность регулирования мощности излучения забойной антенны может быть оценена при наличии зависимости, связывающей КПД дискретного усилителя сигнала с относительной величиной выходного сигнала ξ .

Оценку произведем исходя из следующих предпосылок:

1. мощность забойного излучателя регулируется непрерывно, т.е. число дискретных уровней мощности стремится к бесконечности;
2. регулирование мощности в функции глубины скважины происходит при неизменном (номинальном) значении мощности сигнала на поверхности, определяемым требуемым соотношением сигнал/шум;
3. относительная амплитуда выходного сигнала ξ , изменяется в пределах от 0 до 1. Регулирование мощности осуществляется по всей глубине скважины.

Для получения оценки энергетической эффективности процесса регулирования мощности забойного генератора определим затраты энергии на передачу информации с забоя на поверхность при бурении с постоянной мощностью излучающей антенны за все время бурения:

$$W_{CONST} = \int_0^T \frac{P_{2MAX}}{\eta(1)} dt, \quad (1)$$

где T – интервал времени от начала проходки до завершения скважины.

P_{2MAX} – максимальная мощность излучения забойной антенны.

Мощность, расходуемая на передачу информации с забоя на поверхность при бурении с переменной мощностью излучения забойной антенны:

$$\begin{cases} P_1(\xi) = \frac{P_{2MAX}}{\eta(\xi)} e^{2\alpha(x(t)-l)}; \\ \xi(t) = e^{\alpha(x(t)-l)}, \end{cases} \quad (2)$$

где $x(t)$ – расстояние между забоем и скважины и поверхностью;

l – расчетная глубина скважины,

α – коэффициент затухания сигнала на единицу длины канала передачи информации.

В выражении (2) функция $\eta(\xi)$ является неявной функцией времени. Для получения явной зависимости запишем

$$x(t) = \bar{v} \cdot t, \quad (3)$$

где \bar{v} – средняя рейсовая скорость бурения скважины.

Тогда

$$\xi(t) = e^{\alpha \bar{v}(t-T)}. \quad (4)$$

Затраты энергии на передачу информации с забоя на поверхность при бурении с переменной мощностью излучения забойной антенны за все время бурения:

$$W_{VAR} = \frac{P_{2MAX}}{\eta(\xi)} e^{2\alpha \bar{v}(t-T)} dt. \quad (5)$$

На основании (1), (5) запишем выражения для расчета увеличения времени автономной работы аккумуляторов забойного блока, при использовании метода регулирования мощности излучения забойной антенны в функции глубины скважины:

$$\begin{cases} \frac{W_{CONST}}{W_{VAR}} = \frac{T/\eta(1)}{\int_0^T \frac{e^{2\alpha \bar{v}(t-T)}}{\eta(\xi)} dt}; \\ \xi(t) = e^{\alpha(\bar{v}-l)}. \end{cases} \quad (6)$$

Пример расчета зависимостей увеличения времени автономной работы аккумуляторов забойного модуля телесистемы при бурении скважины глубиной 5 км со средней рейсовой скоростью 10 м/час при использовании забойного усилителя с широтно-импульсной модуляцией мощностью 2 Вт для различных значений коэффициента затухания сигнала в канале передачи информации приведен на рис. 3.

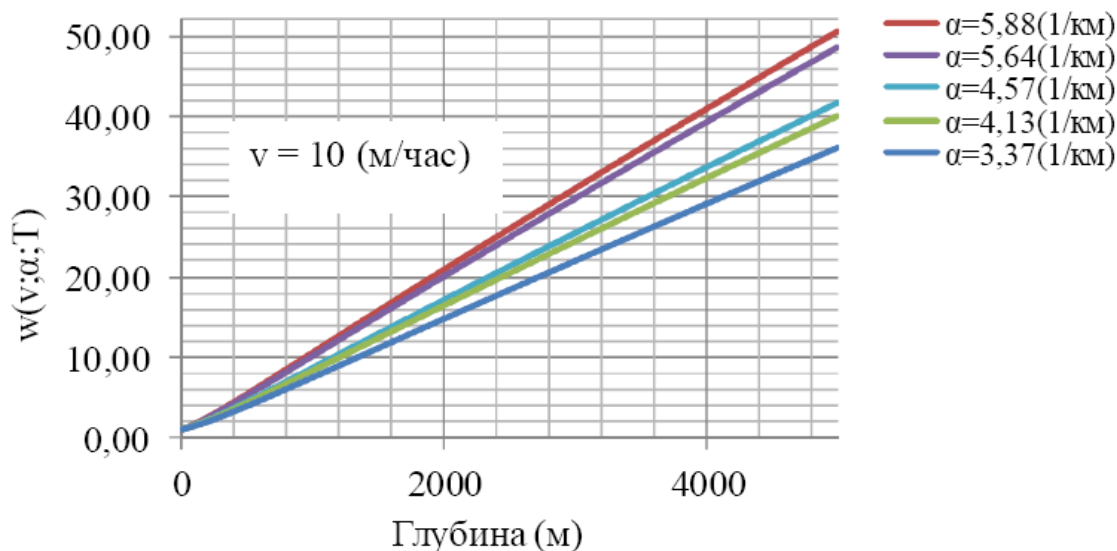


Рис. 3. Кратность увеличения времени автономной работы забойного модуля телесистемы

Анализ зависимостей, представленных на рис. 3, позволяет сделать вывод о том, что предложенный метод регулирования мощности излучения забойной антенны в функции глубины скважины позволяет решить задачу повышения энергетического потенциала буровой телесистемы с электромагнитным каналом связи.

Литература

1. Патент 2272132 РФ. Способ передачи информации из скважины на поверхность. Заявл. 07.08.2001; опубл. 20.03.2006. Бюл. №8. 7 с.
2. Патент 104623 РФ. Способ передачи информации из скважины на поверхность. Заявл. 16.11.2010; опубл. 20.05.2011. Бюл. №14. 5 с.

**INCREASE OF AN ENERGY POTENTIAL
OF DRILLING TELESYSTEM
WITH ELECTROMAGNETIC COMMUNICATION CHANNEL**

Z.Kh. Yagubov, A.E. Startsev

Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia

¹*e-mail: andstar_aes@mail.ru*

Abstract. *In article questions of increase of an energy potential of bottom-hole telesystem with an electromagnetic information bearer channel are considered. The algorithm and the device realizing algorithm of regulation of power of a bottom-hole emitter is tendered, the method of application of an appraisal of power performance of the tendered way of regulation is elaborated.*

Keywords: *drilling telesystem, an electromagnetic communication channel, the bottom-hole repeater, a pulse-width modulation, PWM, linearized model, antenna*

References

1. Patent 2272132 of Russian Federation. Method for information transmission from well to surface. Appl. 07.08.2001; publ. 20.03.2006. 7 p.
2. Patent 104623 of Russian Federation. Device for transmitting information to the surface. Appl. 16.11.2010; publ. 20.05.2011. 5 p.