

Моделирование функциональных возможностей приемо-передающих устройств для канала связи забойной телеметрической системы на технологии NI PXI

А. Б. Мирманов¹

В работе приводятся результаты моделирования радиоканала связи для забойной телеметрической системы в программе LabVIEW для платформы NI PXI. Кратко рассмотрена методика мониторинга бурового процесса. Обоснована возможность и необходимость использования радиоканала передачи телеметрической информации путем сравнения с акустическим и электромагнитным каналами связи. Разработан графический код программы, даётся описание модулей блок-диаграмм программы, приводится внешний вид лицевых панелей подпрограмм.

Ключевые слова: канал связи, забойная телеметрическая система, PXI, LabVIEW, помехоустойчивое кодирование, импульсная модуляция.

1. Введение

Современные операции бурения и добычи природных ресурсов требуют большого количества мониторинговой информации, касающейся параметров и геофизических условий эксплуатации скважин. Такая информация обычно включает характеристики земных формирований, проходящих через ствол скважины, данные, относящиеся к размеру и конфигурации самого ствола скважины, а также факторы окружающей среды, такие как температура, течение флюида, давление и т.п. Сбор информации, относящейся к условиям бурения или эксплуатации скважины, может выполняться несколькими способами.

Системы измерения геофизических параметров скважины одновременно с бурением известны как забойные телеметрические системы (ЗТС). В системах ЗТС датчики или преобразователи обычно расположены на нижнем конце бурильной колонны. В процессе бурения эти датчики непрерывно или периодически контролируют заданные параметры бурения и пласта и могут передавать информацию на дневную поверхность с помощью какой-либо аппаратуры телеметрии.

Акустическая телеметрия через буровой раствор является одной из наиболее широко используемых телеметрических систем для ЗТС-приложений. Система импульсного бурения создает акустические сигналы давления в буровом растворе, который циркулирует под давлением через бурильную колонну во время операций бурения. Информация, полученная скважинными датчиками, передается соответствующим образом путем формирования импульсов давления в потоке бурового раствора. Информация принимается и декодируется датчиком давления и компьютером на поверхности.

¹ Грант МОН РК 2864/ГФЗ-15-ОТ

Электромагнитная телеметрия для передачи скважинных данных на поверхность использует генерацию и распространение электромагнитной волны. Как и в любой системе связи, интенсивность электромагнитной волны напрямую связана с расстоянием передачи. В результате чем больше расстояние, тем больше потеря мощности и, следовательно, слабее мощность принятого сигнала на поверхности. Кроме того, электромагнитная волна должна пройти через слои земли, что существенно влияет на глубину скважины. Чем выше проводимость среды передачи, тем ниже должна быть частота для достижения одинакового расстояния передачи. Аналогично: чем ниже частота, тем больше расстояние передачи с одинаковой мощностью.



Рис. 1. Структура забойной телеметрической системы

Для решения задач глубокого и сверхглубокого бурения скважин применяется комбинированный канал связи, сочетающий различные способы организации транспортной среды передачи телеметрической информации. Например, проводной и гидравлический канал или кабельный и беспроводной электромагнитный канал связи. Такой канал также имеет недостатки, связанные с проблемами работы электронного оборудования при больших температурах на большой глубине.

Существующие методы связи, применяемые на данный момент, относительно низкоскоростные, а пропускная способность канала ограничена. Следовательно, необходимо искать альтернативные способы передачи телеметрической информации в скважине.

В патенте [1] и статьях [2–4] описан способ использования скважинной трубы в качестве волновода для передачи информации на сверхвысоких частотах. Хотя скорости передачи данных, предполагаемые для таких систем, существенно больше, чем скорости, получаемые для ранее упомянутой системы, ослабление сигнала является основной проблемой в круглом волноводе, заполненном жидкостью либо другой неоднородной проводящей средой. Патент [5] предлагает также решения на СВЧ, но для приложений воздушного бурения, когда бурильная колонна заполнена сжатым воздухом. В этом случае затухание будет в разы меньше, и применение сверхвысокочастотных сигналов для передачи информации имеет хороший потенциал.

Применение радиоканала в качестве линии передачи информации от устья скважины до поверхности может стать революцией в построении забойных телеметрических систем.

2. Модель канала связи, реализованная на NI PXI

В предлагаемом канале связи [6] сигнал измерительной аппаратуры бурового ствола излучается сверхвысокочастотным передатчиком [7] и в виде радиоимпульсов передается по бурильной трубе как по волноводу.

В условиях неоднородности передающей среды выделение сигнала из шума при большом расстоянии между передатчиком и приёмником является непростой задачей. Для успешной реализации аппаратуры связи необходимо провести моделирование процессов. Это позволит решить ряд вопросов, связанных с выбором вида модуляции и корректирующего кода. В настоящее время развитие автоматизированных систем физических исследований и эксперимента позволяет решить с минимальными затратами такие задачи и получить представление об исследуемых устройствах и системах.

При разработке модели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Среда разработки модели.
2. Программная конфигурация приемника и передатчика.
3. Протоколы модуляции и корректирующего кодирования.

Моделирование системы связи было проведено в среде NI LabVIEW 2013 с использованием промышленной измерительной станции NI PXI-1044. Были созданы виртуальные модели передающей части, канала связи и приемного устройства. Передающая часть генерирует сигнал от модели датчика, находящегося на конце бурильной трубы. На рис. 2 представлена блок-диаграмма виртуальной модели системы передачи телеметрической информации по радиоканалу «буровая труба».

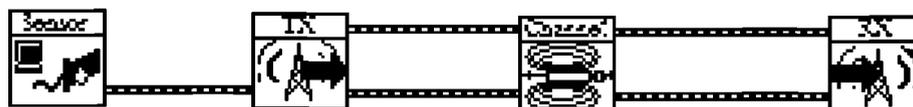


Рис. 2. Виртуальная модель канала связи

2.1. Передатчик

На рис. 3 представлен интерфейс модели передатчика. С помощью интерфейсной панели можно задать частоту ФИМ-сигнала, амплитуду синхроимпульса, частоту несущей и другие параметры. На блок-диаграмме (рис. 4) можно проследить выполнение программы по шагам.

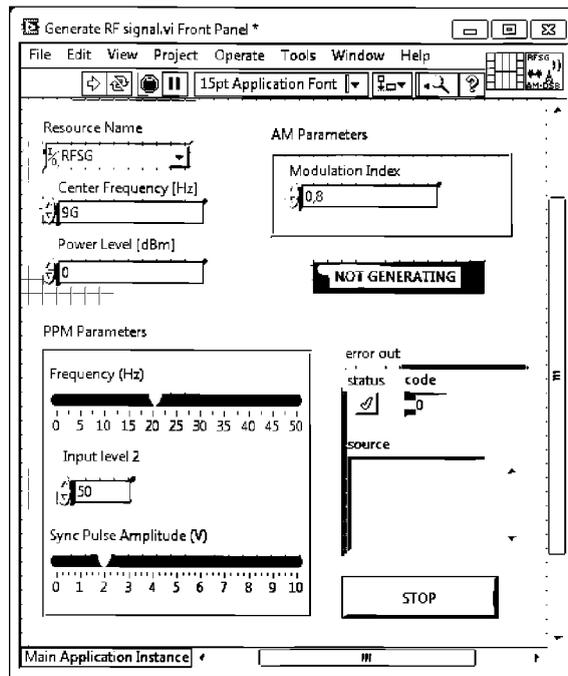


Рис. 3. Интерфейс передатчика

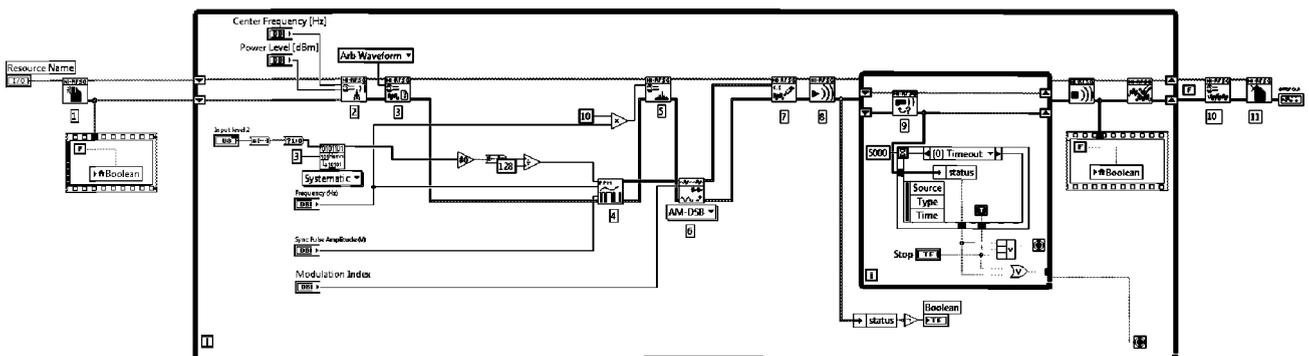


Рис. 4. Блок-диаграмма передатчика

На блок-диаграмме цифрами обозначены следующие этапы выполнения программы «Передатчик»:

1. Открытие сессии NI-RFSG.
2. Настройка несущей частоты.
3. Включение I/Q генерации. В этом блоке выбирается режим генерации сигнала заданной формы (в данном случае – ФИМ–АМ) вместо генерации постоянной синусоиды.
4. Терминал входного сигнала.
5. Кодирование сообщения кодом Хэмминга (7, 4). Для этого шага был использован кодер из библиотеки NI Modulation Toolkit.
6. Генерация ФИМ-сигнала. Модулятор был разработан с использованием двух генераторов прямоугольных импульсов. Один из них генерирует синхроимпульс, а второй – информационный импульс. Затем два сигнала суммируются.
7. Задание ширины спектра генерируемого сигнала.
8. Генерация АМ-сигнала.
9. Запись сигнала в буфер устройства.
10. Старт генерации в соответствии с заданными настройками.
11. Проверка статуса генерации и выход при возникновении ошибки или таймаута.
12. Выключение выхода.
13. Закрытие сессии NI-RFSG.

Одним из важных моментов при создании модели был выбор кода. В работе [8] при построении такого типа передатчика был выбран код Хэмминга (7, 4). Виртуальная модель использует готовый модуль кодера. В нем можно изменять порядок полинома, тем самым изменяя длину входной и выходной последовательностей. Стоит отметить, что код Хэмминга достаточно примитивен для исправления большого количества ошибок и его применение зачастую находится под вопросом. Но в случае необходимости анализа модели, замены одного блока на другой, например, на код Рида–Соломона или свёрточный код, операция не представляет большого труда.

С датчика принимается восьмиразрядная последовательность. Эта последовательность разбивается на два равных сообщения. Сообщения кодируются кодом Хэмминга (7, 4). В итоге мы имеем два кодовых слова по 7 бит каждое. Они объединяются в одну последовательность из 14 разрядов. Эта длинная последовательность подается на вход фазоимпульсного модулятора.

Блок-диаграмма SubVI PPM Modulator.vi, реализующая фазоимпульсную модуляцию, представлена на рис. 5. С помощью управляющих элементов можно изменить частоту ФИМ-сигнала, входной модулирующий сигнал, амплитуду синхроимпульса.

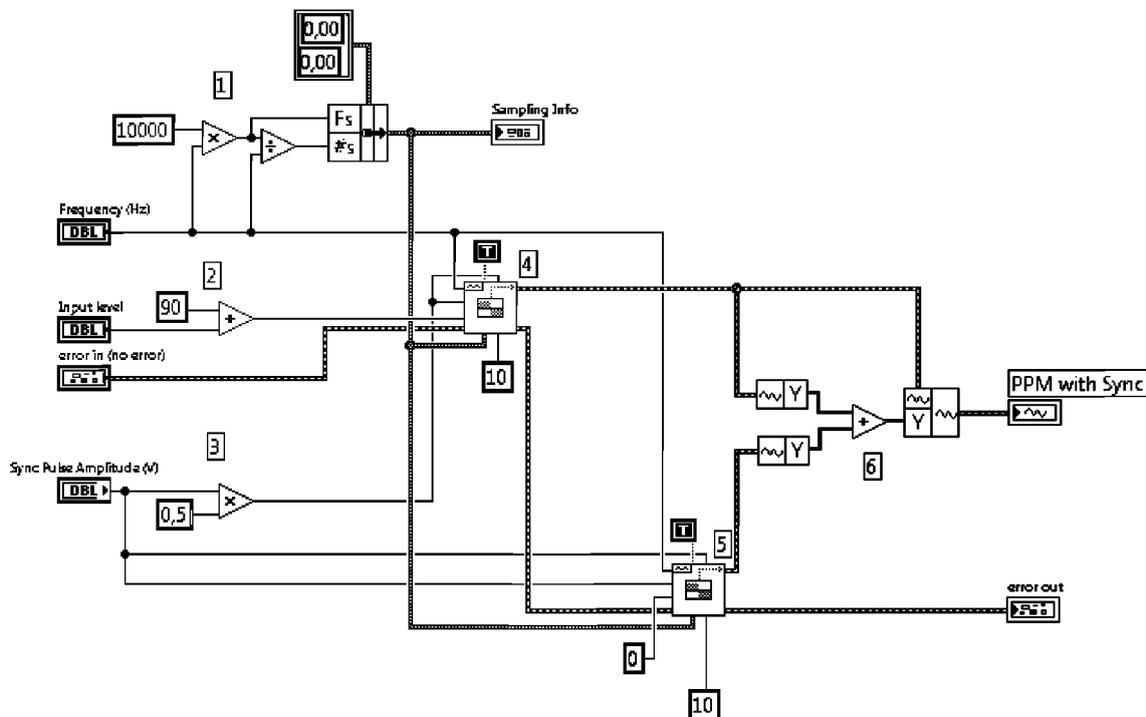


Рис. 5. Блок-диаграмма модулятора ФИМ

На блок-диаграмме обозначены следующие этапы формирования ФИМ-сигнала:

1. Установка частоты дискретизации и количества выборок.
2. Сдвиг фазы информационного импульса равен сумме начального сдвига фазы и входного значения.
3. Установка амплитуды синхроимпульса и информационного импульса.
4. Генерация информационного импульса.
5. Генерация синхроимпульса.
6. Суммирование информационной последовательности и синхронизирующей последовательности.

Генератор прямоугольных импульсов, использованный в PPM Modulator.vi, показан на рис. 6. Для него можно задавать амплитуду импульса, фазу, скважность. На выходе получается сигнал в виде *waveform*, с которым удобно работать в LabVIEW.

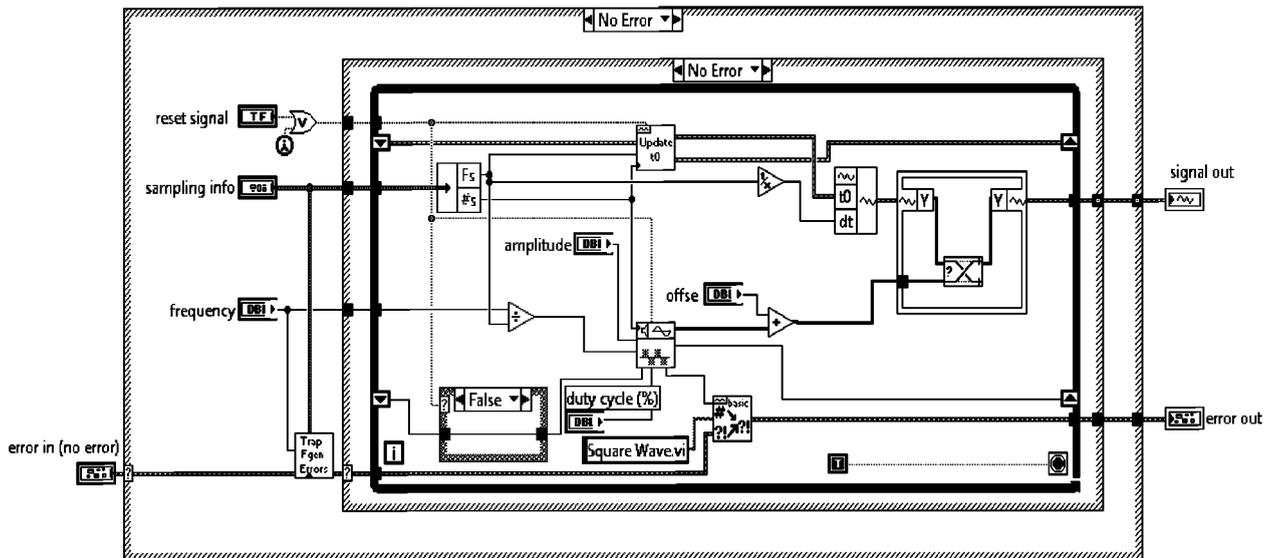


Рис. 6. Блок-диаграмма генератора сигнала прямоугольной формы

На выходе модулятора присутствует синхроимпульс и информационный импульс, сдвинутый относительно синхроимпульса пропорционально входной последовательности. Сигнал ФИМ в итоге становится модулирующим сигналом для высокочастотного амплитудного модулятора. Этот сигнал передаётся в канал связи.

2.2. Приёмник

Процесс приёма сигнала можно разделить на три этапа. Первый этап – это демодуляция АМ-сигнала. Затем осуществляется демодуляция ФИМ. Демодулятор ФИМ работает по шаблону конечного автомата. По окончании демодуляции принятые данные декодируются.

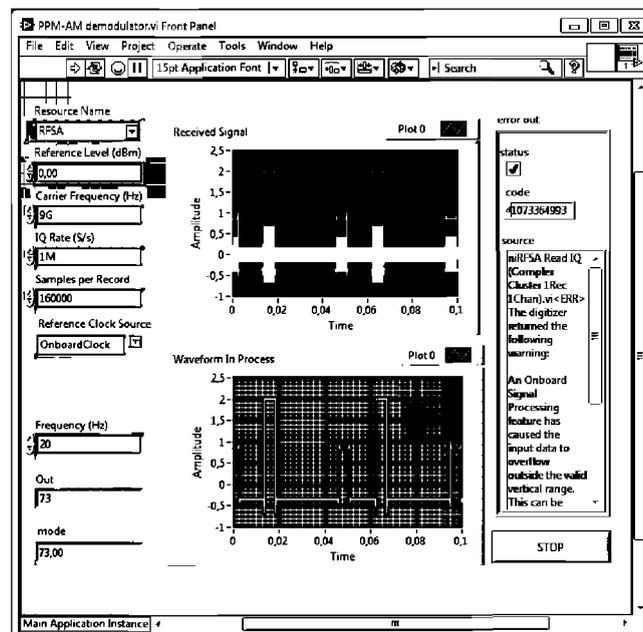


Рис. 7. Блок-диаграмма генератора сигнала прямоугольной формы

Интерфейс приемника (рис. 7) необходим для его подстройки на принимаемый сигнал. С его помощью можно установить частоту несущего сигнала, параметры скорости сбора и объёма собранных данных. Числовые индикаторы на фронтальной панели отображают принимаемый сигнал и моду десяти измеренных значений.

На блок-диаграмме приёмника (рис. 8) обозначены:

1. Открытие сессии NI-RFSA.
2. Задание источника синхронизации.
3. Конфигурация сбора I/Q данных.
4. Конфигурация предполагаемого уровня сигнала.
5. Выбор центральной частоты.
6. Выбор скорости сбора данных.
7. Выбор количества выборок за один цикл записи.
8. Демодуляция AM-сигнала и передача данных в очередь.
9. Закрытие сессии NI-RFSA.

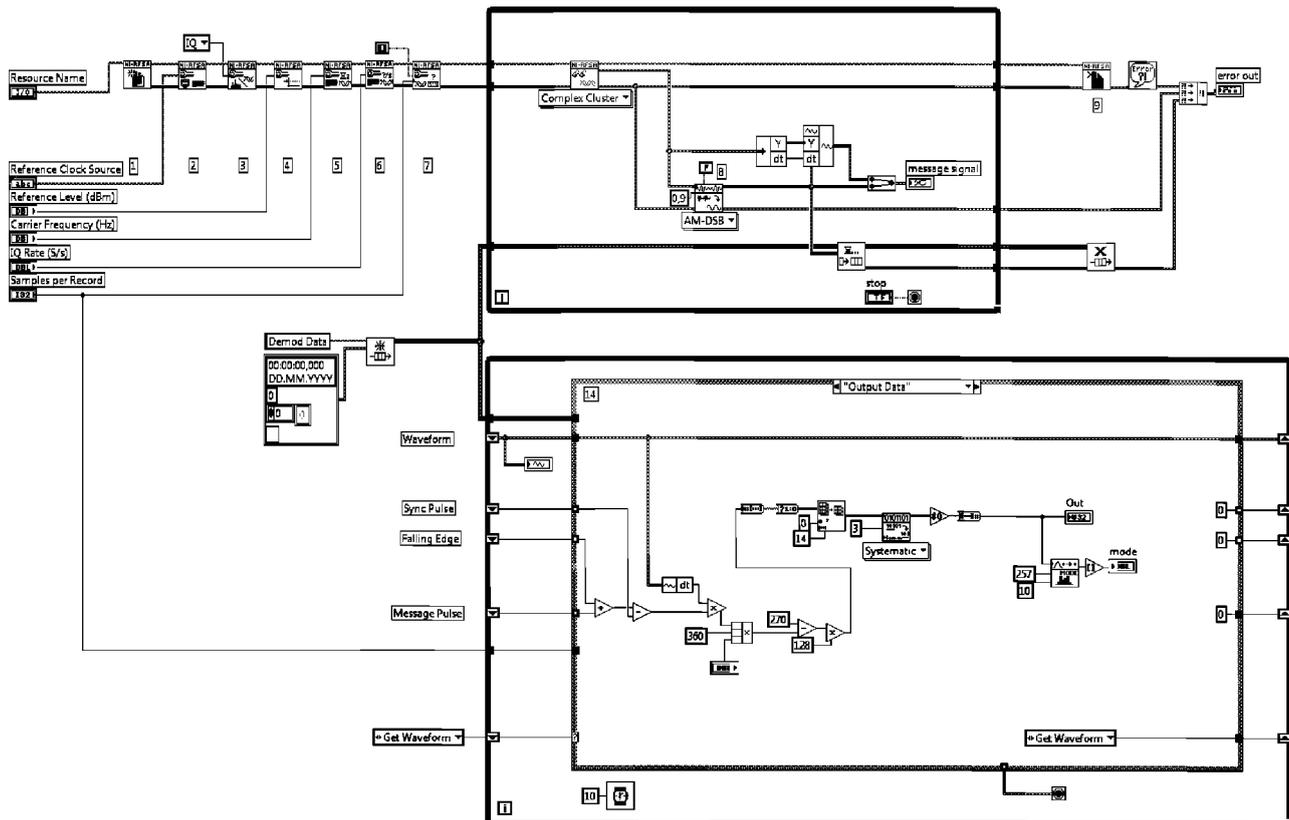


Рис. 8. Блок-диаграмма передатчика

Автомат для демодуляции ВИМ-сигнала и постобработки принятых данных имеет несколько состояний. Переход между ними происходит безусловно. Здесь использованы следующие обозначения:

1. Извлечение данных из очереди.
2. Фиксирование времени прихода синхросигнала.
3. Фиксирование времени окончания синхросигнала.
4. Фиксирование прихода информационного сигнала.
5. Статистическая обработка и вывод полученных данных.

Декодирование кодовой последовательности осуществлялось аналогично кодированию при помощи Modulation Toolkit.

Открыв блок-диаграмму декодера, можно увидеть картину, идентичную блок-диаграмме кодера. Низкоуровневую функцию декодирования осуществляет SubVI Hamming Decode. Оставшаяся часть блок-диаграммы осуществляет обработку ошибок и перезапуск функции по сигналу извне.

3. Заключение

В статье рассмотрена реализация процесса моделирования приёмо-передающей части системы связи в NI LabVIEW для предлагаемого радиоканала передачи телеметрической информации в ЗТС на сверхвысокочастотных сигналах. Показано, что среда LabVIEW может быть эффективно использована как для моделирования, так и для создания телеметрической системы. Определены блок-схемы программного графического кода приёмника и передатчика. Использовано исправление ошибок корректирующим кодом Хэмминга. Проведено моделирование сигнала время-импульсной модуляции как наиболее подходящего для передачи в телеметрических системах.

Благодарности

Автор выражает благодарность Байгуанышу Санату Бейбетовичу за консультации по вопросам программирования LabVIEW и Стукачу Олегу Владимировичу за обсуждение результатов работы.

Литература

1. *Harrison C. Smith* Adjacent well electromagnetic telemetry system and method for use of the same // Patent №: US 6075462. Date of Patent: Jun. 13, 2000.
2. *Кочумеев В. А., Мирманов А. Б., Стукач О. В.* Изучение проблемных ситуаций в разработке перспективных геофизических информационно-измерительных систем // Вестник науки Сибири. 2012. Т. 4, № 3. С. 99–102.
3. *Goponenko A. S., Stukach O. V., Kochumeev V. A., Mirmanov A. B.* Experimental Investigations of Microwave Signal Attenuation in Radio Link within Geophysical Information Transmission // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2014. V. 66: [012008, 4 p.].
4. *Алимбаев А., Байгуаныш С., Мирманов А. Б., Сарсембиева Э. К.* Возможности технологических применений мощных импульсных СВЧ сигналов в передаче телеметрической информации // Международная конференция «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий». Москва, 21–23 мая, 2014. С. 183–186.
5. *Wayne Butner.* Microwave Communication System for Downhole Drilling // Patent №: US 2014146207. Date of Patent: Sep. 25, 2014.
6. *Мирманов А. Б.* Авторегрессионная статистическая идентификация канала связи забойной телеметрической системы // Автоматика и программная инженерия. 2017. № 1 (19). С. 70–75.
7. *Stukach O. V., Mirmanov A. B., Goponenko A. S.* Microwave Equipment for MWD Front-End Radiolink in the Borehole Pipes // Proceedings of APEIE. Novosibirsk, Oct. 2–4, 2014.
8. *Mirmanov A. B., Stukach O. V.* The Receiver-Transmitter for the Measurement Information Transfer by the Inhomogeneous Media // Proceedings of IFOST. Tomsk, Sep. 17–21, 2012. V. 1. P. 552–554.

*Статья поступила в редакцию 27.11.2017;
переработанный вариант – 25.12.2017*

Мирманов Арман Барлыкович

старший преподаватель кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций
Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (010011, Казахстан, Астана,
просп. Женис, 62), тел. (701) 972-62-82, e-mail: mirmanov.a@mail.ru.

Transceivers functionality simulation for the communication channel of the measurement-while-drilling system using NI PXI technology

A. B. Mirmanov

The paper presents radio link simulation for the measurement-while-drilling system built on the LabVIEW software for NI PXI platform. Method of drilling process monitoring is briefly considered. A possibility and necessity of using a radio channel for telemetry compared with the acoustic and electromagnetic communication channels are carried out. A graphic code has been designed. Description of block diagram modules for software is shown. Front panel sides of subroutines are presented.

Keywords: communication channel, measurement while drilling, PXI, LabVIEW, optimal coding.