



Рисунок 3 – Временная диаграмма работы формирователя импульсов

Таким образом, на выходе данного формирователя импульсов (выход $\overline{Q2}$) по переднему и заднему фронтам входного сигнала формируются импульсы с определенными признаками. Импульс, формирующийся по переднему фронту входного сигнала, «привязан» к импульсу тактового сигнала, а импульс по заднему фронту входного сигнала «привязан» к «паузе» тактового сигнала.

1. Преснухин Л.Н. Расчет элементов цифровых устройств. Под ред. Л.Н. Преснухина / Л.Н. Преснухин, Н.В. Воробьев А.А. Шишкевич – М.: Высшая школа. – 1991. – 526 с.
2. Авторское свидетельство СССР №720709, кл. H03K5/04, 18.03.1980. Матюшевский В.М. и др.
3. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника. Учебник для вузов. Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2005. – 768 с.

УДК 621.373.826:681.7.068

ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ДОБЫЧЕ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

Ксенофонтов М.А.¹, Поляков А.В.², Гавриленко О.О.¹, Прокопенкова Т.Д.²

¹НИИИФП им. А.Н. Севченко БГУ

Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

В последние годы в связи с конструктивной сложностью информационно-измерительных систем на основе традиционных электронных измерительных технологий, а также из-за существенного влияния на погрешность их измерений различных дестабилизирующих факторов проявляется значительный интерес к использованию волоконно-оптических датчиков (ВОД). Кроме таких основных достоинств этих датчиков, как способность работать при воздействии интенсивных электрических и магнитных полей, стойкость к агрессивным средам, пожаро- и взрывобезопасность, не менее важным преимуществом является возможность создания на их основе распределенных (квазираспределенных) измерительных систем.

Практической безальтернативной является использование ВОД в нефтедобывающей промышленности при контроле физических параметров непосредственно в стволе шахты. Примером применения подобных систем может слу-

жить их использование в процессе добычи высоковязкой, тяжелой, так называемой битумной нефти. Содержание в нефти большого количества смолистых и парафинистых соединений делает ее вязкой и малоподвижной, что вызывает необходимость проведения особых мероприятий для извлечения ее на поверхность и последующей транспортировки. Одними из приоритетных методов повышения нефтеотдачи пластов, наиболее подготовленными технологически и технически, являются тепловые, когда в продуктивный пласт вводится тепло [1]. Добыча высоковязкой нефти связана с применением перегретого пара, применяющегося для локального разогрева нефтенасыщенного пласта. При этом вязкость нефти снижается, а нефтеотдача увеличивается. Тепловые методы целесообразно применять в пластах с вязкостью нефти более 50 мПа·с. Волоконно-оптическая система скважинной термометрии включает в себя волоконно-оптический кабель, который размещается в

стволе скважины, и электронный блок управления и обработки данных, устанавливаемый на поверхности. В данном случае оптическое волокно является одновременно и датчиком температуры, и каналом передачи информации из ствола скважины на поверхность. Измерение теплового поля скважины производится посредством определения изменений под воздействием температуры физических параметров оптического излучения, распространяющегося по оптическому кабелю. Современные технологии позволяют производить бурение под углом на глубину до 1,5 км и горизонтальное бурение на расстояние до 2-3 км. Богатыми залежами битумной нефти обладает Гомельская область Республики Беларусь, Республика Татарстан и Республика Коми (Россия), где нефтеносные пласты располагаются на глубине порядка 700–1000 м, а также месторождения Гнединцы (Украина), США, Канады, Венесуэлы, Индонезии, Китая, Колумбии и пр. Таким образом, волоконно-оптический датчик должен измерять температуру до 300 °С, при этом длина волоконно-оптического тракта должна достигать 3 км.

Для температурного мониторинга нефтяных скважин фирмами *Amoco* (США), *Alberta Research Council* (Канада), «Петролайт» (Россия) разработаны распределенные волоконно-оптические датчики на основе эффекта комбинационного рассеяния (по зарубежной терминологии – рассеяние Рамана) [2–4] в материале волоконно-оптического световода и применения технологии оптической рефлектометрии. Однако к недостаткам распределенных ВОД на основе вынужденного комбинационного рассеяния можно отнести следующие особенности: 1) наряду с комбинационным в оптическом волокне возбуждается рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, накладывающееся своими более высокими порядками на измеряемые спектральные составляющие, кроме того, полезный сигнал может маскироваться релеевским рассеянием; 2) малая величина коэффициента рамановского рассеяния, что требует применения длительного накопления сигнала и использование импульсов большой мощности, поскольку порог возникновения данного явления составляет 500 мВт–1 Вт; 3) погрешность измерений температуры составляет не менее 1 °С.

Фирмой *OZ Optics* (Канада) для нефтедобывающей промышленности разработан волоконно-оптический датчик температуры на основе вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна [5-8]. Недостатками данного типа датчиков являются: 1) относительно высокая погрешность измерений, не менее 1 °С; 2) длительное время измерения, которое может исчисляться минутами, достаточно сложная методика проведения

измерений и алгоритм обработки данных; 3) высокая стоимость установки, достигающая 75000 \$.

Для повышения точности измерений посредством ВОД необходимо отказаться от аналоговой модуляции какого-нибудь из параметров потока излучения и перейти к неаналоговой (дискретной) его модуляции, вводя тем самым в поток излучения новые, неоптические, параметры. Одним из перспективных путей решения подобных задач является переход к частотному (временному) представлению измеряемой величины, использующий зависимость времени задержки оптического излучения в световоде от воздействующих измеряемых физических величин. Высокая чувствительность частоты рециркуляции в замкнутой оптоэлектронной системе к малым внешним воздействиям на волоконный световод позволит реализовать новый принцип частотного представления информации.

Для одновременного измерения температуры в требуемых контролируемых точках скважин нами разработан квазираспределенный волоконно-оптический датчик температуры со спектральным разделением каналов. Чувствительным элементом является многомодовое волокно, разделенное на секции дихроичными зеркалами, играющими роль спектральных селективных отражающих элементов. Использование дихроичных зеркал в качестве спектрально-селективных отражающих элементов имеет следующие преимущества: 1) поскольку излучение в дихроичных зеркалах практически не поглощается, они могут работать при больших плотностях световой энергии; 2) возможность работать при достаточно высоких температурах окружающей среды (до 500 °С) без расплавления и деформации; 3) благодаря своей конструкции, они обладают значительным временем эксплуатации без ухудшения спектрально-селективных свойств; 4) из-за того, что дихроичные зеркала имеют широкую спектральную полосу отражения, нет необходимости использовать специальные меры по стабилизации спектральных характеристик полупроводниковых лазеров. Измерения для каждой секции, соответствующей определенной длине волны, осуществляются по частоте рециркуляции одиночного импульса с периодической регенерацией на каждом цикле рециркуляции. Принцип измерений основан на том, что воздействие температуры приводит к изменению длины и показателя преломления волокна, в результате чего изменяется частота рециркуляции. На каждом цикле рециркуляции осуществляется так называемая 2R-регенерация (re-amplification+reshaping), т. е. происходит восстановление информационного импульса по форме, амплитуде и длительности, что позволяет поддерживать процесс рециркуляции неограниченно долго. Прове-

денные оценки показали, что погрешность измерений температуры не превышает 0,2 °С при времени измерения 1 с, при этом максимальная измеряемая температура составляет +400 °С для длины волоконно-оптического измерительного преобразователя в несколько километров при использовании многомодовых градиентных волоконных световодов с металлическим покрытием.

1. Бурже Ж., Сурио П., Комбарну М. Термические методы повышения нефтеотдачи пластов М.: Недра. – 1989. – 422 с.
2. Bolognini Gabriele et. al. Analysis of distributed temperature sensing based on Raman scattering using OTDR coding and discrete Raman amplification // Meas. Sci. Technol. – 2007. – Vol. 18. – № 10. – P.3211-3218.
3. Kwang Suh, Chung Lee Auto-correction method for differential attenuation in a fiber-optic distributed-temperature sensor // Optics Letters. – 2008. – Vol. 33. – №16. – P. 1845-1847.
4. Culshaw Brian Fiber-Optic Sensors: Applica-

tions and Advances // Optics and Photonics News. – 2005. – Vol. 16. – № 11. – P. 24-29.

5. Zou L., Bao X., Afshar S., and Chen L. Dependence of the Brillouin frequency shift on strain and temperature in a photonic crystal fiber // Optics Letters. – 2004. – Vol. 29. – № 13. – P. 1485-1487.
6. Aldo Minardo, Romeo Bernini, Luigi Zeni Stimulated Brillouin scattering modeling for high-resolution, time-domain distributed sensing // Optics Express.– 2007.– Vol. 15, № 16. – P. 10397-10407.
7. Jihong Geng, Sean Staines, Mike Blake, Shibin Jiang Distributed fiber temperature and strain sensor using coherent radio-frequency detection of spontaneous Brillouin scattering // Applied Optics.– 2007.–Vol. 46. – № 23.– P. 5928-5932.
8. Feng Wang, Xiaoyi Bao, Liang Chen, Yun Li, Jeffrey Snoddy, and Xuping Zhang Using pulse with a dark base to achieve high spatial and frequency resolution for the distributed Brillouin sensor // Opt. Lett. – 2008. – Vol.33. – № 22. – P. 2707-2709.

УДК 681

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Кучинский П.В., Рашеня Н.А., Труханович А.Л., Циолта О.Н.
Институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко» БГУ
 Минск, Республика Беларусь

Для подготовки специалистов в области информационно-безопасности разработан и изготовлен аппаратно-программный комплекс, позволяющий организовать эффективный процесс изучения основных принципов создания аппаратно-программных устройств защиты информации, способов генерации ключевой информации, изучения алгоритмов криптографического преобразования данных.

Защита информации в современных информационно-коммуникационных системах обеспечивается комплексом организационно-технических мероприятий, включающих разработку, изготовление и применение сложных технических средств и систем защиты от несанкционированного доступа (НСД), в том числе криптографическими методами. Для корректной реализации на практике криптографических методов защиты информации требуются специалисты, владеющие знаниями о существующих криптографических алгоритмах и протоколах, об основных принципах построения надежных систем и комплексов криптографической защиты информации, имеющие практические навыки работы с ними, способные самостоятельно разрабатывать и внедрять современные эффективные про-

граммные и аппаратно-программные решения защиты от НСД.

Для подготовки грамотных и квалифицированных специалистов в области защиты информации криптографическими методами разработан и создан аппаратно-программный комплекс (АПК) «Крипто-Лаб».

АПК «Крипто-Лаб» выполнен на базе ПЭВМ и включает аппаратно-программное устройство и программное обеспечение.

Аппаратно-программное устройство (АПУ) АПК «Крипто-Лаб» выполнено в виде платы, устанавливаемой в ПЭВМ, и обеспечивает следующие основные технические характеристики и функциональные возможности:

- PCI-интерфейс для питания и взаимодействия с ПЭВМ;
- цифровой процессор, память программ и энергонезависимое ОЗУ для обеспечения решения задач пользователя;
- модуль генерации случайной числовой последовательности (СЧП) на физическом источнике шума (полупроводниковый диод).

Программное обеспечение обеспечивает следующие основные функциональные возможности: