

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Шелемба И.С. – аспирант, Кузнецов А.Г. – аспирант,
Бабин С.А. – д.ф.-м.н. зав. лаб.
Институт автоматики и электрометрии СО РАН (г. Новосибирск)
ООО "СибСенсор"

Описание технологии и продукта

Волоконно-оптические кабели, предназначенные для передачи информации, могут также использоваться в качестве чувствительных элементов распределенных систем измерения температуры, давления, вибраций и др. видов воздействий и физических величин. Основными преимуществами таких систем являются возможность работать без подвода электроэнергии, невосприимчивость к электромагнитным помехам, высокая чувствительность и малые размеры. Более того, использование стандартных волоконно-оптических элементов и кабелей, используемых в телекоммуникациях, обеспечивает сравнительно невысокую стоимость этих сенсоров.

Одним из примеров перспективных волоконно-оптических распределенных измерительных систем является система детектирования внешних воздействий (охраны периметров). Принцип работы заключается в использовании эффекта рэлеевского рассеяния в оптическом волокне, закопанного на глубину ~ 50 см. Для этого в волоконный световод запускается короткий лазерный импульс, а на фотоприемнике регистрируется интерференционная картина рассеянного излучения, отраженного от разных участков оптического волокна. Интерференционная картина (ИК) сильно чувствительна к внешним воздействиям на волокно (микрорастяжения), поэтому даже незначительные деформации грунта под ногой (колесом) нарушителя, приводят к заметным изменениям в структуре интерференции. Сравнивая две ИК снятые через определенный интервал времени можно получать информацию о месте нарушения границы (с точностью несколько метров), а также определять тип нарушителя (например, человек, автомобиль или танк). При этом длина периметра, опрашиваемого одной системой, может достигать 70 км.

На похожем принципе действия работает система распределенного измерения температуры вдоль оптического волокна. «Переносчиком» информации о температуре является рамановское рассеяние, возникающее

при распространении в волокне оптического импульса. Отношение интенсивностей двух компонент (стоксовой и анти-стоксовой) рассеяния зависит от температуры. Выделяя в рассеянном сигнале различные компоненты и измеряя их с высокой точностью, вычисляется температура вдоль измерительной линии. При длине чувствительного волокна 10 км, разрешение по температуре и месту нагрева составляет 1°C и 1 метр соответственно.

Основными проблемами при реализации систем данного типа являются техническая сложность изготовления подходящего лазерного источника и высокочувствительных датчиков рассеянного излучения, а также разработка эффективных методов оцифровки и обработки полученных с датчиков сигналов. Несмотря на сложность задачи, различными группами инженеров, как в России, так и за рубежом были созданы распределенные сенсорные системы как рэлеевского, так и рамановского типа. Некоторые из этих систем стали успешными коммерческими продуктами.

В лаборатории волоконной оптики института автоматики и электрометрии СО РАН в 2007-2009 годах велась работа по созданию новой элементной базы, а также разработка и оптимизация импульсных лазерных источников и приемников излучения для оптоволоконных сенсорных систем распределенного типа. В результате этих работ были созданы следующие принципиально новые приборы:

а) высокоэффективный спектральный фильтр для разделения стоксовой и антистоксовой компонент рамановского рассеяния. Применение таких фильтров в системах измерения температуры позволит отказаться от дорогостоящих фотодетекторов, и одновременно с этим увеличить точность и частоту измерения температуры.

б) унифицированный импульсный источник лазерного излучения, который при незначительных изменениях может использоваться как в системе измерения температуры, так и в системе детектирования внешних воздействий. Использование унифицированного источника позволит значительно снизить издержки при доработке прототипов и производстве систем. Также стоит отметить, что

оптимизация характеристик лазера производилась с учетом результатов последних исследований по распространению коротких оптических импульсов в волокне, проведенных нашей командой в 2008 г.

в) использование новых компонент и приборов позволило создать сенсорные системы, имеющие ряд принципиальных отличий и преимуществ по сравнению с известными ранее.

Полученные результаты являются оригинальными, планируется защита интеллектуальной собственности. Подана заявка № 2009113245 от 09.04.2009 на получение патента РФ на изобретение «Оптоволоконная сенсорная система для распределенного измерения температуры». В августе-сентябре 2009 г. планируется подача заявки на получение патента «Оптоволоконная распределенная сенсорная система внешних воздействий»

Несмотря на высокие потребительские свойства новых измерительных систем, пока не удалось инициировать продажи о несколькими причинами:

а) незавершенность прибора (прототипы нуждаются в доработке),

б) отсутствие данных о полевых испытаниях прибора,

в) отсутствие сертификации прибора как измерительного средства.

Обзор рынка

1. Сенсорная система распределенного измерения температуры.

Основными потребителями данных систем будут нефтедобывающие компании. Оптоволоконные системы помогут решить им проблему измерения распределения температуры по глубине в нефтяных скважинах. Такие данные необходимы для оптимизации режимов добычи нефти с целью увеличения коэффициента отдачи скважины и снижения издержек на добычу. На данный момент измерения профиля температур производится погружными датчиками с неудовлетворительной точностью измерений. Электрические же датчики не могут быть использованы из соображений пожарной безопасности.

По оценкам специалистов из Института «РосНефть-УфаНИПИнефть» экономический эффект от использования оптоволоконной системы на скважине будет гораздо выше ее стоимости (в среднем \$60000). Например, один день простоя скважины вследствие не-

правильного режима отбора нефти приводит к потерям порядка \$100000. Более того, после эксплуатации системы в течение нескольких месяцев на одной скважине, она может быть после несложного сервисного обслуживания перенесена на другую.

Компания «РосНефть» ведет добычу из более чем 20 тыс. скважин. По оценкам специалистов, установка оптоволоконных систем целесообразна на каждой десятой скважине, что приводит к потенциальному объему рынка 2 тыс. единиц в РосНефти или более 10 тыс. по России. Учитывая среднюю стоимость системы \$60000, получаем объем рынка \$600 млн. или \$200 млн. при многократном использовании одной системы.

Известны разработки оптоволоконных систем компанией Sensa (представлена в России компанией «Шлюмберже»). Данная фирма является монополистом в своей области на российском рынке. Специфика работы этой компании состоит в том, что они не продают системы (по причине чрезвычайно высокой цены), а лишь оказывают услуги по измерению температуры (одно измерение стоит \$20-80 тыс.). Поскольку для эффективного управления нефтедобычей требуется непрерывное измерение параметров, цена услуги многократно возрастает, делая ее недоступной большинства компаний.

Одним из перспективных применений данной системы также может быть обеспечение противопожарной безопасности зданий.

2. Сенсорная система детектирования внешних воздействий (система охраны периметров).

Одним из наиболее перспективных применений волоконно-оптических систем внешних воздействий является охрана нефте- и газопроводов. По данным на 2004 г. только компания «Газпром» обладает 150 тыс. километров трубопроводов в разной степени нуждающихся в охране. 10% от общей протяженности дают объем рынка в \$300 млн. Возможно применение таких систем и для контроля режима на промышленных объектах или предотвращение побегов из тюрем. Наиболее закрытым, но с другой стороны и наиболее перспективным является военный рынок, для которого планируется совместно с компанией-партнером, имеющей лицензию на данный вид деятельности, разработать соответствующий продукт.

Известен целый ряд систем охраны периметров, производимых как российскими,

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

так и зарубежными партнерами. Преимуществами предлагаемой системы охраны периметров перед сейсмическими, радиолучевыми -, ИК -, и электропроводными системами являются большая длина контролируемого участка (70000 м против 150-250м) работа без электропитания и невидимость чувствительного элемента (волокно закопано) при сравнимой цене системы за метр охраняемого периметра. У волоконно-оптических систем охраны, построенных на других физических принципах (Ворон, SenSys, Fiber Fence), данная система выигрывает за счет возможности более точного определения места вторжения и типа нарушителя, а также конкурентной цены (~\$6 за метр, включая установку против ~\$25) и простоты установки и обслуживания. Более того, вышеописанная система может использовать уже проложенные волоконно-оптические линии связи.

На российском рынке известны фирмы Оптолекс и Петролайт, предлагающие как распределенные системы измерения температуры, так и охранные системы, действующих на похожих принципах. Однако, как нам известно из личных контактов с разработчиками и отзывов клиентов, параметры этих систем не дотягивают до заявленных.

План реализации проекта

Развитие проекта в течение первых двух лет предполагается в условиях инкубатора, созданного при ИАиЭ СО РАН (Центр коммерциализации волоконно-оптических и лазерных технологий) опираясь на его инфраструктуру (площади, оборудование, трудовые ресурсы). Все необходимые для реализации проекта производственные и другие работы и услуги будут предоставляться участникам проекта по себестоимости. Однако при достижении объемов производства более 25 систем в год, потребуется увеличение используемых площадей и парка оборудования. С 2011 г. планируется переезд на площади Технопарка, строящегося в Академгородке г. Новосибирска, где для предприятия зарезервировано до 500 кв.м. офисных, лабораторных и производственных помещений. При этом потребуются инвестиции в основные фонды в размере 11 млн. руб.

Для обеспечения эксплуатационных характеристик, требуемых заказчиком, требуется проведение ОКР. Для системы измерения температуры требуется обеспечить пространственное и температурное разрешение на уровне не хуже 10 м и 1оС соответственно

при длине измерительной линии не менее 3 км (лучше 10 км). Для системы регистрации вторжений длина охраняемого периметра должна составлять 70 км при пространственном разрешении 10 метров с возможностью определения направления пересечения границы.

Крайне желательно осуществлять разработку оптических и электронных схем на основе широкодоступных компонентов.

Основными блоками ОКР являются:

- а) улучшение термостабилизация лазерного источника,
- б) подавление электронных шумов в схеме усиления фотодетекторов,
- в) оптимизация программно-аппаратного модуля съема, оцифровки и обработки данных с фотоприемников,
- г) доработка системы индикации температуры (вторжения) и пользовательского интерфейса,
- д) проработка эффективного расположения элементов систем внутри корпуса,
- е) полевые испытания приборов.

Полевые испытания, а также сертификация систем измерения температуры могут быть проведены совместно с одной из сервисных компаний, обслуживающих нефтяные вышки и прочие объекты инфраструктуры. На данном этапе идут переговоры с представителями таких компаний из Уфы, Красноярска, Нефтеюганска и Новосибирска. Полевые испытания системы охраны периметров будут происходить непрерывно в течение всего срока НИОКР на мини-полигоне рядом со строением инкубатора.

Проведение данных работ позволит значительно снизить научно-технический риск, который является основным тормозящим фактором при взаимодействии с потенциальными покупателями и инвесторами.

Для выхода на рынок и привлечения новых потребителей планируется следующий комплекс мероприятий:

- идентификация предприятий, имеющих потребности в сенсорных системах, путем участия в отраслевых выставках;
- анализ существующих проблем у предприятия по контролю объектов;
- определение ключевых сотрудников, принимающих решение о внедрении новой технологии и/или оказывающих существенное влияние на принятие такого решения, и установление контакта с ними;
- демонстрация возможностей системы по решению проблем предприятия;

- постоянное консультирование предприятия по работе системы;
- заключение партнерских соглашений с фирмами-дистрибьютерами традиционных сенсорных систем с целью использования их сбытовой сети;
- выход на администрации СФО, НСО через участие в региональных проектах и программах.

При этом, как показывает практика, мотором продвижения новой технологии в крупной компании/холдинге часто становятся научные подразделения, наделенные крупным бюджетом на внедрение новых технологий в производственных процессах компании, но практически всегда испытывающие недостаток в таких технологиях и, как следствие, имеющие некоторые проблемы с обоснованием эффективности своей работы. Установление договорных отношений с такими подразделениями, во-первых, позволяет провести (при необходимости) дополнительно оплаченную доработку сенсорной системы с целью удовлетворить специфическим требованиям заказчика, а во-вторых, что более важно, получить мощное лобби внутри структуры потенциального заказчика. Кроме того, описанный механизм маркетинга на ранних стадиях продвижения позволяет при успешной демонстрации продукта у заказчика добиться быстрого роста объема продаж продукта за счет более простого продвижения продукта в других подразделениях и/или аффилированных структурах крупной компании, в которой установлены первые системы. Консерватизм крупных компаний в данном случае является положительным фактором.

Важной является работа с ключевыми фигурами в государственных органах с целью включения оптоволоконных сенсорных систем в планы госзакупок различных государственных предприятий и ведомств. Успешное включение в госзаказ обеспечит существенные объемы производства при стабильной перспективе продаж. Тем не менее, финансовый план проекта не ориентирован на возможное получение госзаказа, так как это является долгим и комплексным процессом.

Экономическая эффективность проекта

Для реализации проекта требуется привлечение инвестиций в размере 15,2 млн. руб. Чистый дисконтированный доход по итогам 3 лет составит 34,5 млн. руб. (ставка дисконтирования 20%)

Риски проекта

Внешние риски:

РЫНОЧНЫЕ риски достаточно вероятны. С одной стороны зафиксирован реальный интерес крупных российских компаний. С другой стороны, отраслям, на применение в которых ориентирован проект, присущ отраслевой консерватизм. Риск может быть снижен путем внедрения системы через заинтересованные подразделения самих компаний (таких как научно-технические и научно-внедренческие лаборатории и центры компаний), а также проведение испытаний и сертификации продуктов совместно с зарекомендовавшей себя сервисной компанией.

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ риск оценивается ниже среднего, так как существует серьезная заинтересованность проектом представителями как государственных, так и частных инвестиционных и производственных компаний.

Вероятность появления **ПРЯМЫХ КОНКУРЕНТОВ** на российском рынке оценивается как низкая: барьер выхода на рынок высок, технология создания оптоволоконных сенсорных систем - сложна. Продукция существующих конкурентов значительно уступает по характеристикам.

ПОЛИТИЧЕСКИЕ риски – высокие. Включение продукта в план государственных закупок ведомств и государственных предприятий – длительный и мало предсказуемый процесс. Однако поставки через госзаказ не рассматриваются в качестве основных, поэтому влияние этого фактора на реализацию проекта существенно снижается.

СНИЖЕНИЕ ЦЕНЫ НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ. Вероятность риска высока. Также высока и роль этого риска, поскольку основными заказчиками наших систем будут компании нефтегазового сектора. Однако это приведет к увеличению востребованности наших систем мониторинга для снижения издержек на нефтедобычу и обеспечение безопасности предприятий.

Внутренние риски:

Уровень **ТЕХНИЧЕСКИХ** рисков оценивается ниже среднего, так как созданы лабораторные макеты оптоволоконных сенсорных систем. Тем не менее, еще не реализованы прототипы и не организовано серийное производство. Дальнейшее совершенствование систем и создание прототипов позволит минимизировать технические риски.

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ риски сведены к минимуму, поскольку используются существующие реальные возможности по площадям оборудованию для развертывания производства и налаженные связи с будущими поставщиками комплектующих и материалов.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ риски минимальны: все ключевые участники проекта имеют необходимую квалификацию, также имеется кадровый резерв квалифицированного технического персонала.