



# ПРЕИМУЩЕСТВА РАЗВЕРТЫВАНИЯ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ИНДУСТРИИ

НИНА РЭЙЧ (NINA RACH)  
ПЕРЕВОД: ВЛАДИМИР РЕНТЮК

Чтобы увеличить объемы производства и сократить себестоимость в момент снижения мировых цен на нефть, производители и крупные нефтяные компании вынуждены всеми силами повышать эффективность работы. В этом плане установка датчиков и построение беспроводных сенсорных сетей (СС), их объединяющих, в нефтяных и газовых инфраструктурах позволяет инженерам улучшить эффективность процесса нефтеперегонки и максимально нарастить возможности производства.

Нефтяные компании стремятся осваивать и внедрять новые технологии, направленные на повышение эффективности, безопасности производственного процесса и снижение общих затрат. Они смело идут на то, чтобы управлять все более сложным производственным оборудованием в условиях соблюдения жестких нормативно-правовых требований. Многие составляющие задействованного в этой отрасли

оборудования, как и сами процессы, требуют мониторинга, но его проведение непосредственно обслуживающим персоналом является весьма медленным. Такой процесс носит спорадический характер и склонен к неточностям.

Более правильный подход заключается в постоянном мониторинге частей оборудования, что необходимо для снижения количества ошибок и, в некоторых случаях, для обе-

спечения практически непрерывных потоков данных о его состоянии и функционировании. Кроме того, это позволяет повысить скорость передачи такой информации. Одно из ключевых решений этой проблемы — построение беспроводной СС (Wireless Sensor Networks, WSN), которая может быть использована на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах, скважинах, пробуренных с берега,

и накопительных станциях, для подводных разработок месторождений и на морских платформах для добычи нефти и газа.

Успешное расширение измерительных и СС в нефтегазовой промышленности является результатом конвергенции (объединения) технологий. Проводные СС способствовали снижению затрат, однако новейшие научно-технические достижения стимулируют развертывание беспроводных СС на основе микромеханических технологий, позволяющих создавать все менее и менее габаритные датчики с низким энергопотреблением.

Компьютерные устройства также становятся все более миниатюрными и легко интегрируются (встраиваются) в различные объекты. Разнообразные сетевые топологии помогают оптимизировать эти миниатюрные компьютеры в части обмена информацией и вычислительными ресурсами, что содействует их более эффективному взаимодействию. Датчики, подключенные по беспроводным технологиям, используют как проникающие СС с низкими скоростями передачи данных (например, RFID (Radio Frequency Identification), ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi), так и спутниковые коммуникационные системы с более высокими скоростями передачи данных.

СС передают данные в так называемое «цифровое месторождение», которое сфокусировано на инновационные информационные технологии применительно к цели нефтяного бизнеса. Эта цель состоит в максимизации восстановления нефтепромысловой добычи, устранении непроизводительных потерь времени и увеличении прибыли путем обмена информацией и использования интегрированных рабочих процессов, которые часто связаны с автоматизацией и решениями из области облачных технологий.

Связь является ключевым вопросом независимо от того, проводная она или беспроводная. В части деятельности, относящейся к транспортировке и переработке углеводородов, данные, полученные с помощью СС, являются неотъемлемой частью системы управления с обратной связью относительно эксплуатации производственного оборудования.

## СЕНСОРЫ-МАЛЮТКИ

«Умная», или «интеллектуальная пыль» — быстро развивающаяся технология, состоящая из системы крошечных сенсоров (датчиков), которые объединены беспроводной связью. В 1998 г. перед исследователями из Калифорнийского университета в Беркли была поставлена задача разработать и построить беспроводные датчики узлов СС объемом один кубический миллиметр. Работы были профинансированы оборонным агентством США по перспективным научно-исследовательским разработкам (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA). Работы в рамках проекта по разработке «умной пыли» дали толчок ко многим другим направлениям исследований в этой области.

## ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАДАЧА

Инженерная задача состоит в том, чтобы удовлетворить всем нормативным требованиям к мониторингу оборудования и систем в отдаленных, возможно даже, враждебных условиях добычи углеводородов, при обеспечении безопасности персонала и окружающей среды. При этом инженеры хотят иметь надежные СС, которые просты в установке, настройке и могут предоставить полезные данные без больших финансовых затрат. А более точные данные приводят к более точному планированию и диспетчеризации для людей, составных частей и производственных процессов.

СС на месторождении могут обеспечить автоматическое обнаружение утечки с более ранним предупреждением, т. е. контролировать целостность трубопровода и поток углеводородов.

Вращающиеся или, как их называют в этой отрасли, динамические механизмы являются обычными для всей нефтяной и газовой промышленности. Их мониторинг представляет собой процесс определения состояния оборудования во время работы, что позволяет осуществлять ремонт или замену проблемных компонентов еще до возникновения отказа. Датчики могут быть включены в общую систему мониторинга состояния оборудования для обнаружения, анализа и диагностики возможных отказов машин и механизмов.

Турбины, компрессоры и большие электродвигатели обычно оснащены проводными системами с монито-

рингом состояния и датчиками защиты, работающими в непрерывном режиме. Но динамически меняющиеся массивы данных, полученных при мониторинге вибрации, накладывают особые требования на беспроводные датчики, сети и связанные с ними компоненты — высокая пропускная способность, широкий динамический диапазон, низкий уровень собственных шумов, а также возможности обработки данных на высоком уровне.

## ДАТЧИКИ И УЗЛЫ

Большинство датчиков — это микроэлектромеханические системы (МЭМС). Узел датчика в беспроводной сети может осуществлять сбор, обработку и передачу информации с других узлов. Такой узел датчика также известен как часть сети беспроводных датчиков типа «умная пыль»<sup>1</sup>. Здесь используются небольшие беспроводные датчики-«пылинки» с автономным питанием, обнаруживающие изменения и передающие эти данные через ячеистую или специализированную сеть. В такую сеть входят:

- микроконтроллер (он потребляет меньше энергии, чем микропроцессор);
- приемопередатчик (интегрированная система передатчика и приемника);
- внешняя память (Flash);
- источник питания (батарея или возобновляемый источник электроэнергии);
- один или более датчиков.

Отметим, что, хотя «пылинка» является узлом ячеистой сети, узел не всегда является «пылинкой».

<sup>1</sup> «Умная пыль» — термин, используемый для описания самоорганизующихся крошечных устройств, обменивающихся беспроводными сигналами и работающими как единая система.

Компания Hewlett-Packard (HP) работает над созданием новой инерциальной технологии зондирования. «Инновационный прорыв в исследованиях в области нанозондирования», который совершила компания при помощи гидравлической МЭМС-технологии, является результатом исследований последних 25 лет. В 2010 г. HP анонсировала проект, направленный на размещение триллиона датчиков по всему миру. Его окрестили «Нервная система Земли» (Central Nervous System for the Earth, CeNSE). В первом коммерческом применении CeNSE-технологии (в целях разработки новейшей наземной беспроводной системы сейсморазведки) HP сотрудничает с нефтяным гигантом Shell. Благодаря значительно улучшенному качеству сейсмических изображений новая система позволит экономически более эффективно исследовать сложные углеводородные месторождения. Планируется установить 1 млн датчиков узлов СС размерами со спичечный коробок, которые содержат сверхчувствительные, маломощные МЭМС-акселерометры для измерения вибрации и движения горных пород на площади в 15,5 км<sup>2</sup>.

**Проникающие СС**

Проникающие СС (Ubiquitous Sensor Network, USN) относятся к типу интеллектуальных, они имеют динамическую топологию с узловой неоднородностью и могут быть развернуты в широком масштабе и в любом месте. Такие сети включают в себя небольшие узлы датчиков и ограничены в требованиях к питанию, они мобильны и способны выдерживать суровые условия окружающей среды.

В USN входят:

- сеть датчиков (датчики плюс источники питания, необходимые для передачи данных);
- устройства доступа к сети USN (промежуточные, или «втекающие» узлы, которые собирают данные от группы датчиков);
- сетевая инфраструктура;
- промежуточная система USN (программное обеспечение для сбора и обработки данных);
- платформа приложений USN.

**Беспроводные СС**

Дэвид Каллер (David Culler), профессор Калифорнийского университета в Беркли, в интервью для CNN в 2010 г. заметил, что развитие беспроводных СС является аналогом

**СЕТИ**

Сетевые топологии — это, прежде всего, линейные массивы, «звезда» (центр и исходящие лучи) или гибридные ячеистые структуры (с использованием типовых решений из мощных и маломощных узлов). Все узлы маршрутизаторов (часто называемых роутерами) не обязательно должны быть постоянно активными.

Они могут быть запрограммированы так, чтобы «проснуться», собрать и передать информацию (например, через регулярные промежутки времени), а затем снова отключиться с целью экономии электроэнергии. Линейные массивы могут быть довольно длинными, с несколькими (25–50) ретрансляторами данных, пересылаемых к базовой станции.

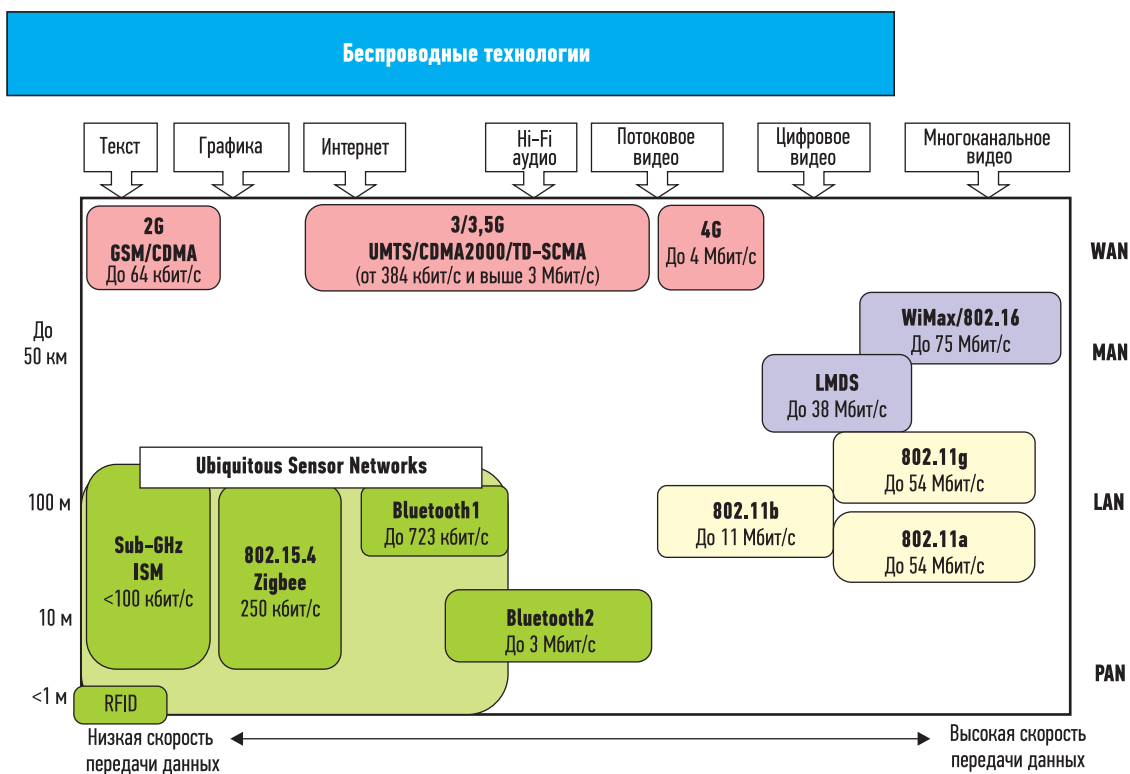


Рис. 1. Беспроводные технологии

создания Всемирной паутины: это модный тренд, но с практическими последствиями.

Компании все чаще внедряют беспроводные датчики, потому что они намного дешевле, чем традиционные, требуют меньше времени для установки и могут быть легко объединены в сеть. Таким образом, первый шаг к реализации беспроводного решения — проведение анализа затрат и определение экономических выгод от внедрения такой системы.

Мухаммед Реза Акхнонди (Mohammad Reza Akhnondi) и его коллеги из Технологического университета Куртина (г. Перт, Западная Австралия) предположили, что приложения на основе беспроводных СС открывают большие возможности для оптимизации производства, особенно там, где использование проводных сетей запрещено. Беспроводные сети могут быть использованы для удаленного мониторинга трубопроводов, выявления утечки природного газа, коррозии, контроля содержания сероводорода (H<sub>2</sub>S), оценки состояния оборудования и резервуаров (танков) в режиме реального времени.

### ПРИМЕРЫ УСПЕШНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ

Ниже приведены взятые из реальной практики примеры того, как установка датчиков облегчает эксплуатацию производственного оборудования.

#### Мониторинг устья нефтяной скважины

С помощью датчиков, установленных на устье скважины, обеспечивается непрерывный контроль и повышается доступность информации. Они также устраняют необходимость операторам осуществлять съем показаний манометров вручную. На одном из месторождений в Уитч Фарм (Wythch Farm) в Великобритании нефтяной гигант British Petroleum (BP) установил интеллектуальную беспроводную сеть, содержащую 40 беспроводных датчиков давления компании Rosemount, которые постоянно следят за давлением в устье скважин. Чтобы удалить старые датчики, установить и откалибровать новые, потребовалось менее восьми часов.

Мексиканская государственная компания PEMEX использовала боль-

Наиболее важные области применения беспроводных сенсоров в нефтегазовой промышленности:

- автоматизация буровых установок;
- скважинные датчики;
- сейсмические исследования;
- эксплуатация трубопроводов;
- мониторинг коррозии;
- контроль структурной целостности;
- анализ вибрации оборудования;
- мониторинг резервуарного парка.

Доводы в пользу применения беспроводных сенсоров:

- подключение типа Plug-&Play;
- возможность установки с минимальным нарушением графика работ;
- расширяемость в перспективе;
- надежность — резервирование (дублирование) и устойчивость к ошибкам;
- долговечные аккумуляторные системы, модули, использующие стороннюю возобновляемую энергию (солнечную, ветра или волн и т. п.).

шой штат сотрудников для контроля температуры и давления в устьях тысяч разбросанных по большой площади нефтяных скважин в сухопутном месторождении. Компания хотела иметь решение для подключения 1420 устройств WirelessHart с удаленных устьев к их системе управления. Чтобы решить эту проблему, компания ELPRO Coorer Bussmann обеспечила беспроводное решение с высокой скоростью передачи информации и развернула 900-МГц сеть дальнего Ethernet с использованием 945 U-E модемов промышленного Ethernet.

Промышленный гигант и поставщик газа из угольных пластов в Квинсленде (Австралия) решил расширить производство сжиженного природного газа от своих нескольких тысяч скважин до 12 млн т в год. Компания хотела получать своевременные данные о производстве, иметь возможность при необходимости закрывать ряд скважин, сократить количество обслуживающего персонала и увеличить безопасность работ при добыче. Решение заключалось в том, чтобы добавить беспроводную сеть управления в виде ячеистой сетки для нескольких сотен скважин, используя радиопередающие устройства ELPRO компании Coorer Bussmann для стандартных RDC500, установленных в устьях скважин. Конструкция радиопередающих устройств использовала сеть беспроводного доступа путем досту-

па на ретрансляторы узлов отдельных точек месторождения. Каждый узел собирает данные о потоках газа и воды, давлении и температуре и может закрыть клапаны или остановить насосы.

#### Обнаружение утечки

Обнаружение утечек на больших месторождениях может быть весьма затруднительным, когда это делается вручную, путем обхода точек с портативными детекторами утечек. На промышленном месторождении в г. Гел (Бельгия) компания BP недавно провела замену устаревшего оборудования. В итоге вместо обходов дважды в день и выполнения проверок с датчиками углеводородов BP остановила свой выбор на беспроводной smart-технологии от компании Emerson Process Management из Сент-Луиса. Система обнаружения утечек включает беспроводные дискретные передатчики Rosemount 702 компании Emerson в сочетании с датчиками Fast Fuel компании Pentair (ранее Tyco) и кабели датчиков типа TgateTek. Если датчик обнаруживает ксилол или бензол, связанный с ним передатчик посылает сигнал тревоги на шлюз, а оттуда сигнал поступает в диспетчерскую, где операторы могут быстро принять решение о дальнейших действиях. С помощью этого решения было сэкономлено примерно 50% от общей стоимости системы слежения и 90% времени относительно того, если бы потре-

бывалось установить обычную проводную систему датчиков.

#### Целостность трубопроводов

У компании BP Bitumen случился инцидент, в результате которого система перекачки топлива на нефтеперегонном заводе вблизи г. Брисбен (Австралия) была закрыта. С этой целью были использованы для обслуживания временные резервуары для сжиженного газа LPG, а для контроля целостности трубопроводов компания BP использовала интеллектуальные беспроводные технологии от Emerson Process Management. С целью управления подачей продуктов по трубопроводу вместе с датчиками температуры для контроля потока горячего битума были быстро развернуты беспроводные передатчики с датчиками контроля давления компании Rosemount. Такие датчики были разработаны с целью немедленно сообщать о внештатных ситуациях в диспетчерскую для принятия соответствующих решений по их устранению. Такая система беспроводного мониторинга помогла сохранить завод по производству битума в рабочем состоянии, экономя для компании BP \$15600 ежедневно за счет сокращения производственных потерь.

**РИС. 2. ▽**  
Беспроводной датчик состояния оборудования от компании SKF собирает данные о температуре, общем состоянии оборудования и элементах подшипника качения. Он имеет сертификат ATEX Zone 0



#### Контроль вибраций

СС могут быть использованы и для мониторинга вибрации, что является более сложным процессом, чем измерение таких его скалярных параметров, как температура или давление. Для контроля вибрации двигателей компания BP выбрала предложение компании Crossbow Technology установить инерциальные MEMS-датчики на нефтяные танки (резервуары). Беспроводная СС заменила съем показаний датчика непосредственно персоналом, обеспечив при этом более частые измерения с меньшим количеством ошибок. В конечном итоге это привело к снижению затрат на техническое обслуживание двигателей. Данное решение в очередной раз доказало надежность использования беспроводных СС в суровых окружающих условиях.

#### Мониторинг общего состояния оборудования

Беспроводные системы могут быть использованы для мониторинга состояния динамического оборудования, такого как двигатели, насосы и вентиляторы, которое, как правило, контролируется вручную с использованием портативных регистраторов. В прошлом году компания SKF запустила в производство беспроводной датчик состояния устройства, который сочетает в себе сенсор, регистратор и радиопередатчик в одном компактном устройстве с батарейным питанием. Такое устройство может быть использовано для расширения возможностей систем контроля и обслуживания в районах, где стоимость установки проводных систем непомерно высока. Для преодоления препятствий, оказывающих влияние на работу беспроводной связи, датчики могут быть сконфигурированы для работы в качестве маршрутизаторов узлов, что позволяет им передавать данные от других датчиков (сетки). Для передачи информации датчики используют протокол связи WirelessHART.

Беспроводной датчик состояния оборудования компании SKF собирает данные о ее ключевых состояниях, а именно:

- температура машины (базовый показатель в таких вопросах, как смазка, повышенное трение и т. д.);

- общее состояние машины (вибрации, вызванные несоосностью и дисбалансом, «разболтанностью» соединений и т. д.);
- состояние подшипников качения (позволяет обнаружить повреждение и диагностировать источник нарушения работоспособности в элементах шариковых и роликовых подшипников).

#### Работа в условиях подводной добычи

Дабы предотвратить либо обнаружить утечки нефти и газа или увеличить объемы производства и выход из скважин, на разработках подводных месторождений используются сетевые датчики и исполнительные механизмы мониторинга добычи нефти, даже несмотря на то, что традиционные датчики слишком громоздки и дороги для использования их под водой. Ученые из Абердинского университета (University of Aberdeen, Шотландия) и Университета Роберта Гордона (Robert Gordon University) с 2009 по 2014 г. изучали различные типы СС, необходимых для удаленных подводных разработок. В мае 2014 г. в Абердине на машиностроительной конференции, посвященной подводным инженерным технологиям, д-р Ричард Нельсон (Richard Neilson) в качестве примера представил работу S3C (Scottish Sensor Systems Centre).

#### МИНИАТЮРИЗАЦИЯ — ШАГ В БУДУЩЕЕ

Технологические достижения в электронных системах управления, создание микро-узлов типа «умной пыли» с улучшенными возможностями в части связи и снижения затрат будут стимулировать разработку датчиков и развитие их рынка в обозримом будущем. В скором времени мы сможем увидеть полностью интегрированные, встроенные датчики и стандартные промышленные протоколы. Тем не менее расширение беспроводных СС означает, что может быть собрано гораздо больше данных, чем это характерно на сегодня. Но в том и заключается основная проблема: нужно не просто собрать данные, важно, чтобы они были правильно проанализированы и имелась возможность управлять этими «большими данными». ●