

УДК 681.3/621.74

Шинский О. И., Шевчук Б. М., Кравченко В. П.

ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Повышение производительности и качества литейного производства достигается путём внедрения новых технологий литья, использования высокопродуктивного и надёжного оборудования, а также на основе реализации оперативного контроля показателей и параметров технологических процессов литья на всех этапах и участках производства. Ключевой проблемой повышения качества литейного производства являются реализация непрерывного контроля и поддержания в заданных пределах параметров и показателей технологических процессов литья на основе организации дистанционного сбора, обработки и передачи мониторинговых данных в удалённый сервер, включая поддержку в заданных пределах параметров и показателей технологических процессов литья, контроль характеристик первичных материалов, изделий поставщиков, а также режимов работы оборудования, экологических показателей на участках литейного цеха и за его пределами. Эти проблемы решаются на основе установки и эксплуатации в местах контроля параметров абонентных (объектных) терминалов и систем многоуровневой интегрированной компьютерной сети оперативного мониторинга состояний объектов литейного производства [1, 2].

Нижний уровень интегрированной сети длительного мониторинга процессов литья образуют интеллектуальные сенсоры и видеосенсоры в составе объектных процессоров (микроконтроллеров, сигнальных процессоров) со средствами ввода-вывода сигналов, их обработки, кодирования и передачи данных на верхние уровни сети. Такие программно-аппаратные средства объединяются в сенсорную сеть [3] и устанавливаются в местах возникновения информационных потоков, подлежащих контролю (показатели температур, давлений, загазованности и запыленности воздуха, изображения деталей и др.). Актуальными проблемами построения промышленных систем мониторинга и управления технологическими процессами, включая процессы литья, являются повышения надёжности и эффективности функционирования беспроводных мониторинговых сетей в условиях действия промышленных и импульсных помех. Решение этих проблем базируется на построении интеллектуальных объектных систем сенсорных сетей, реализующих адаптивный ввод, обработку, кодирования и передачу компактных, криптоустойчивых и помехоустойчивых пакетов информации. В результате многофункциональной обработке, кодирования и передачи информативных данных непосредственно в местах отбора мониторинговой информации достигается надёжная доставка достоверных данных до средств ретрансляции контролируемой информации на верхние уровни интегрированной сети.

Целью статьи является анализ методов функционирования сенсорных сетей и повышения информационной эффективности работы терминалов и систем сенсорных сетей для длительного мониторинга параметров технологических процессов литейного производства.

Для получения качественных отливок необходимо на каждом участке литейного производства организовать непрерывный контроль теплофизических, механических, весогабаритных и др. характеристик литейного производства. Полученная информация на каждом участке и уровне литейного производства в компактной и защищенной форме (от доступа к информации и её подмены несанкционированными пользователями сети, а также в виде помехоустойчивых пакетов информации) передается в центральную базу данных интегрированной сети и является информационным отражением процессов качества производства. Нижний уровень интегрированной сети (уровень объектов контроля) охватывает рабочие

места участков литейного производства. К объектам контроля относятся материалы, технологические процессы, автоматизированные линии, установки и др. объекты, возле которых устанавливаются терминалы (объектные системы) сенсорных сетей. На каждой абонентской системе сенсорной сети после ввода контролируемых данных, фильтрации и сжатия сигналов (видеосигналов) с допустимыми потерями, осуществляется сжатие массивов данных без потерь, криптоустойчивое кодирование данных [4], помехоустойчивое кодирование информационных кадров пакетов данных. Принятые с различных участков и объектов литейного производства информационные кадры центральной станцией микросоты накапливаются в локальной базе данных, а также ретранслируются на верхние уровни интегрированной сети. В результате данных мониторинга обрабатываются и отражаются на экранах мониторов и табло. Таким образом, операторы имеют возможность наблюдать и анализировать текущее состояние объектов литейного производства, оценивать динамику состояний объектов и управлять ими. На экранах компьютеров отображаются графики первичных сигналов, гистограммы измеренных и вычисленных величин, статические, энтропийные, хаотические и др. показатели в виде трёхмерных плоскостей и графиков [5]. Длительному мониторингу подлежат: на плавильном участке – температура выплавки металла в каждой печи, температура воды печи, температура воздуха вблизи печи, запыленность и загазованность воздуха на плавильном участке, температура подогрева ковша; на модельном участке – параметры (давление, температура, временные интервалы продолжительности технологических процессов) изготовления пенополистироловых моделей; на формовочно-заливочном участке – температура, влажность и плотность песка и др.; на очистном участке – линейные размеры отливок, их механические характеристики, изображения отливок, запыленность воздуха и др. Соответственно каждая отливка характеризуется параметрами первичных материалов, показателями технологических процессов литья, которые сохраняются в центральной базе данных литейного производства. Для отображения контролируемых данных на участках литейного цеха используются абонентские системы сенсорных сетей с информационным табло. Для достижения надёжной и оперативной доставки мониторинговых данных от удалённых объектов литейного производства в центральный сервер предприятия нижний уровень интегрированной сети мониторинга и управления качеством производства строится на основе средств беспроводных помехоустойчивых сенсорных сетей [6, 7], а верхние уровни интегрированной сети – на основе высокоскоростных сетей Wi-Fi, WiMax, Ethernet и Internet. Беспроводность сетей нижнего и верхнего уровней обеспечивают возможность оперативного разворачивания аппаратно-програмных средств мониторинга состояний объектов литейного производства, их перемещения и удобного размещения на объектах мониторинга вблизи точек отбора информативных данных. Для надёжной передачи данных по радиоканалам в помещениях с железобетонными перекрытиями используются абоненты-ретрансляторы с радиоприёмопередатчиками в ISM-диапазонах радиочастот (2,4 ГГц, 433 МГц). С целью повышения передачи данных пакеты информации передаются шумоподобными сигналами с адаптивной базой [1, 2], а информационные кадры пакетов подлежат помехоустойчивому кодированию. Контролируемые данные от объектных систем сенсорных радиосетей, как правило, передаются по основному радиоканалу, например, в диапазоне 2,4 ГГц, а при наличии мощных промышленных и импульсных помех – по основному и резервному (433 МГц) радиоканалам. Дополнительно предусматривается возможность передачи мониторинговых данных от объектных систем к центральной станции микросоты с использованием проводной связи. Многоуровневость сети мониторинга объясняется наличием удалённых и рассредоточенных объектов контроля, рабочих мест соответствующих участков литейного цеха, которые охватываются уровнем размещения объектных систем сенсорных сетей, а также средств контроля состояний объектов на уровне участков литейного цеха (абонентские системы с информационным табло, мобильные терминалы операторов и руководства участков). Последний, верхний уровень сети образуют абонентские системы ведущих специалистов,

мобильные терминалы руководства предприятия (карманные портативные компьютеры (КПК) с адаптерами Wi-Fi), центральная станция сети и сервер предприятия. При этом абонентские системы, центральная станция сети и мобильные терминалы имеют доступ к различным сетям, включая Internet. Таким образом, каждая отливка сопровождается параметрами первичных материалов, показателями технологических процессов литья и конечными данными (результатами испытаний и др.), которые заносятся в центральную базу данных. Соответственно за счет оперативного и дистанционного контроля показателей исходных материалов технологических параметров процессов литья, показателей функционирования оборудования, экологических показателей достигается существенное повышение качества литейного производства.

Для мониторинга состояний удаленных и рассредоточенных (в пределах территории предприятия) объектов контроля целесообразно в местах контроля первичных данных установить интеллектуальные терминалы сенсорных сетей. Основная задача таких терминалов и систем – осуществить отбор (ввод) достоверных измерительных данных, минимизировать информационные потоки в местах их образования и в условиях действия помех передать защищенные данные на средства ретрансляции мониторинговых данных. Построение сенсорных сетей базируется на технологиях создания измерительных цепей чувствительных элементов (сенсоров) различных физических величин и параметров, физико-технических процессов, изображений и др., ввода (преобразования) и обработки контролируемых величин и процессов, а также кодирования и передачи данных на верхние уровни интегрированных сетей [3]. Поэтому основу сенсорных сетей образуют портативные многофункциональные терминалы и системы, объединенные каналами связи в единую сеть (пикосеть, микросеть, локальную сеть), центральная станция которой ретранслирует сообщения (пакеты данных) на большие расстояния. Конструктивно абонентские системы сенсорных сетей представляют собой портативные устройства с автономным и резервным питанием, осуществляющих ввод контролируемых показателей, сигналов, видеосигналов, обработку цифровых данных, их кодирование, формулирование пакетов данных и передачу их центральной станции сети в режиме централизованного или децентрализованного управления работой абонентов сенсорной сети. Резервное питание объектных терминалов и систем целесообразно осуществить по проводной (резервной) сети передачи данных.

Существующие сенсорные сети строятся по топологии «звезда», «точка-точка», (ad hoc-сетей), mesh-сетей, а также на основе архитектуры построения гибридных сетей [3, 6, 8]. Базовым стандартом построения сенсорных сетей являются стандарт IEEE 802.15.4-2003 LR, PAN (LOW rate personal area Network), описывающий физический и канальный уровни построения персональных сетей с малым энергопотреблением и скоростью обмена данными до 250 Кбит/с с различной топологией построения радиосетей [3, 8]. К числу беспроводных сенсорных технологий, основанных на IEEE 802.15.4, относятся стандарты ZigBee, Wireless Hart, MechLogic, а также закрытые платформы промышленного использования Eaton PSR и EmberNet [6, 7]. Из перечисленных стандартов лишь платформа Wireless Hart, основанная на стандарте 802.15.4_2006, гарантирует надёжность по обмену информацией, связанной непосредственно с управлением технологическим процессом в АСУ ТП.

Функционирование сетей стандарта IEEE 802.15.4 базируется на организации совместной работы полнофункциональных устройств (FFD) и устройств с уменьшенной функциональностью (RFD) [8]. Устройство FFD устанавливает соединение с любым устройством, подключенным к сети, а также может выполнять роль координатора сети. Устройство RFD соединяется только с FFD-устройством. Топологию «звезда» образуют одно FFD-устройство и несколько RFD-устройств. Несколько FFD-устройств могут образовать сеть «ad hoc» («каждый с» каждым или «равный с равным»), а также сеть, состоящую из нескольких звездоподобных кластеров. Такая сеть позволяет организовать мониторинг удаленных объектов, находящихся в различных корпусах и участках. Предпочтение следует отдать беспроводным

самоорганизующимся mesh-сетям, обеспечивающие передачу данных по нескольким независимым путям. Этим достигается надежность доставки мониторинговых данных на верхние уровни интегрированной сети.

Для ретрансляции сообщений сенсорных сетей в пределах территории предприятия целесообразно использовать средства беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi) [3, 8]. Стандарт Wi-Fi предусматривает два основных способа организации локальных сетей: ad-hoc-сеть (рис. 1); структурированная сеть (рис. 2).

В первом случае связь между персональными компьютерами (ПК) и КПК с адаптерами Wi-Fi устанавливается непосредственно между двумя станциями (абонентами) и никакого администрирования не предусмотрено. В случае структурированной сети, которая является основным способом построения сетей Wi-Fi, основу сети составляет точка доступа (Т), которая устанавливается стационарно и работает на фиксированной частоте (канале). Связь между абонентами сети осуществляется только через точку доступа. В сети Wi-Fi возможно использовать несколько точек доступа, соединенных проводной сетью Ethernet. Для выхода в Internet как в первой, так и во второй структуре сети, устанавливается маршрутизатор (М) (рис. 1–2). Для внедрения мультимедийных услуг в АСУ ТП и объединения разнородных сегментов проводных и беспроводных сетей промышленного назначения целесообразно использовать средства стандарта IEEE 802.11s [6].

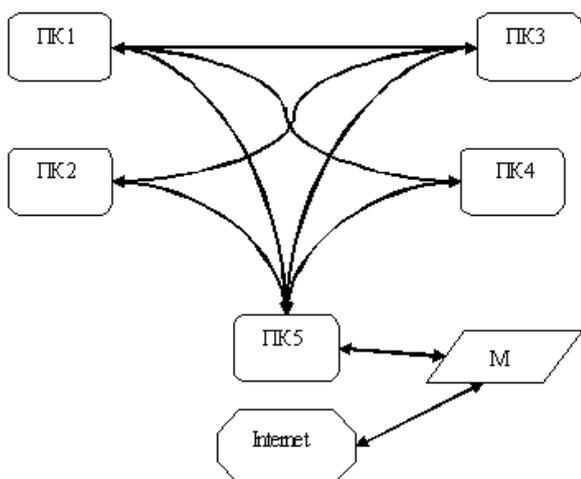


Рис. 1. Схема подключения абонентов сети Wi-Fi без использования точки доступа (режим «Ad-hoc»)

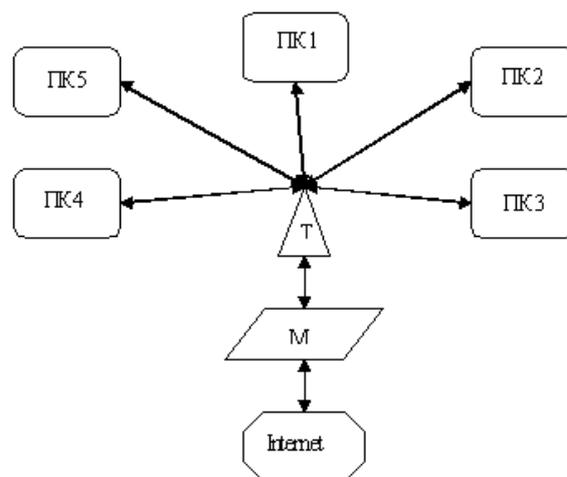


Рис. 2. Схема подключения абонентов сети Wi-Fi с использованием точки доступа (режим «Инфраструктура»)

Повышение эффективности функционирования компьютерных сетей базируется на решение комплекса проблем, связанных с вводом, обработкой, кодированием и передачей двоичных массивов данных в цепи «источник информации ↔ средства ввода информации ↔ абонентская (объектная) система сети ↔ сеть передачи данных (СПД) ↔ центральная станция сети (другие абоненты)». Не зависимо от вида СПД при заданных величинах выделенной (рабочей) полосы частот канала связи F и вероятность ошибочного приёма элементарного дискретного сигнала или кодовой последовательности $P_{ош}$ эффективность работы сети характеризуется текущей скоростью передачи информации R , которая зависит от уровня шумов в канале связи и является функцией многих переменных, т. е. $R = f(F, P_{ош}, Eb/No, B, Kсж)$, где $E b/No$ – отношение энергии сигнала на один бит к плотности шума на один герц, $Eb = STb$; S – мощность сигнала; Tb – длительность битового символа; $No = N/F$; N – мощность шума; $B = FTb$ – база сигнала (коэффициент расширения сигнала); $Kсж = kcnkcbnkcnn$ – суммарный коэффициент сжатия данных, которые подлежат сжатию до передачи пакетов

информации и в процессе передачи пакетов [9]; k_{cp} – коэффициент сжатия данных с допустимыми потерями (характерный при обработке сигналов и изображений, при сжатии массивов данных $k_{cp} = 1$); k_{cbl} – коэффициент сжатия данных без потерь; k_{cnp} – коэффициент сжатия данных в процессе формирования и передачи информации [9]. При вводе данных объектные системы сенсорных сетей в процессе фильтрации-сжатия сигналов (видеосигналов) выявляют существенные отсчёты (экстремумы и точки перегиба) сигналов и реализуют компактное кодирование информативных данных, а также осуществляют криптоустойчивое кодирование с применением одноразовых шифров [4]. При ухудшении помеховой обстановки для достижения надёжной передачи данных абонентами сети реализуется помехоустойчивое кодирование, а также уменьшается скорость передачи данных за счёт увеличения базы канальных посылок.

ВЫВОДЫ

Повышение качества литейного производства достигается на основе внедрения новых технологий литья, использования высокопродуктивного и надежного оборудования, а также за счёт организации дистанционного сбора, обработки и передачи параметров и сигналов технологических процессов литья в центральную базу данных интегрированной сети мониторинга и управления качеством литейного производства. Эффективным способом мониторинга литейного производства является использования беспроводных сенсорных и локальных сетей, объектные и абонентские системы которых реализуют адаптивную обработку и кодирование данных с формированием компактных криптоустойчивых и помехоустойчивых пакетов информации. Компактное кодирование мониторинговых данных базируется на выявлении и кодировании существенных отсчётов сигналов и видеосигналов с последующим сжатием данных без потерь. Криптоустойчивое кодирование информационных кадров пакетов данных достигается на основе защиты данных с применением одноразовых шифров. Достижение надёжной передачи данных по беспроводным каналам связи реализуется на основе помехоустойчивого кодирования информационных кадров, а также за счёт адаптивного подбора базы канальных посылок в процессе передачи пакетов информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационная технология оперативного дистанционного мониторинга состояний объектов литейного производства / О. И. Шинский, Б. М. Шевчук, В. П. Кравченко, И. О. Шинский // *Процессы литья*. – 2007. – № 1–2. – С. 117–125.
2. Шинский О. И. Методы и средства оперативного мониторинга и управления качеством литейного производства / О. И. Шинский, Б. М. Шевчук, В. П. Кравченко // *Метал и литье Украины*. – 2009. – № 4–5.
3. Ильченко М. Ю. Сучасні телекомунікаційні системи / М. Ю. Ильченко, С. О. Кравчук. – К. : НВП «Наукова думка» НАН України, 2008. – 328 с.
4. Шевчук Б. М. Ефективні методи фільтрації-стиску та захисту інформації в комп'ютерних мережах тривалого моніторингу станів об'єктів / Б. М. Шевчук, В. К. Задірака, С. В. Фраєр // *Штучний інтелект*. – 2006. – № 3. – С. 804–815.
5. Шевчук Б. М. Методи визначення та відображення показників інформаційних станів об'єктів тривалого моніторингу / Б. М. Шевчук // *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. – 2005. – № 4. – С. 78–85.
6. Вишневецький В. Беспроводные сенсорные сети в системах промышленной автоматизации / В. Вишневецкий, Г. Гайкович // *Электроника : Наука, Технологии, Бизнес*. – 2008. – № 1. – С. 106–110.
7. Баскаков С. Беспроводные сенсорные сети на базе платформы MeshLogic / С. Баскаков, В. Оганов // *Электронные компоненты*. – 2006. – № 8. – С. 65–69.
8. Шахнович Н. В. Современные технологии беспроводной связи / Н. В. Шахнович. – [2-е изд.]. – М. : Техносфера, 2006. – 288 с.
9. Шевчук Б. М. Теоретичні основи побудови високоінформативних інтелектуальних радіомереж обробки і передачі інформації / Б. М. Шевчук // *Праці міжнародної конференції «Питання оптимізації обчислень (ПОО – ХХІІІ)»*. – Київ : Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. – 2007. – С. 310–311.