

## **Методы и средства оперативного мониторинга и управления качеством литейного производства**

**О**дной из актуальных научных и практических задач литейного производства является повышение производительности и эффективности работы литейных цехов и их подразделений с учетом выпуска максимального количества качественных отливок при минимальных расходах материалов и электроэнергии. Решение этой проблемы достигается путем применения на различных участках литейного производства современного высокопроизводительного и надежного оборудования, а также путем контроля качества исходных материалов и поддержки в заданных пределах параметров технологических процессов на всех этапах литейного производства.

Решение проблем повышения качества литейного производства рассмотрены в [1-3]. Повышение эффективности работы литейных цехов в значительной степени определяется качеством и обоснованностью проектных решений, применением компьютеризированных комплексов и экспертных систем. Ключевой проблемой повышения качества литейного производства является контроль и поддержка в заданных пределах характеристик и параметров технологических процессов литья, показателей и параметров исходных материалов и режимов работы оборудования, оперативное выявление и замена недоброкачественных материалов, прогнозирование неисправностей оборудования и т. д. Эти задачи решаются с помощью применения многоуровневых компьютерных сетей оперативного мониторинга состояний объектов литейного производства [4].

*Целью* статьи является анализ комплекса проблем, связанных с организацией оперативного мониторинга и управления качеством литейного производства, а также анализ методов функционирования и характеристик сетевых устройств сбора, обработки, кодирования и передачи информации для построения малогабаритных и мобильных средств оценки и коррекции состояний объектов литейного производства. Оперативное развертывание малогабаритных средств отбора, обработки и передачи информативных данных, характеризующих качество выполнения технологических процессов литья,

Рассмотрены вопросы построения компьютерных сетей мониторинга и управления качеством литейного производства с применением объектных систем беспроводных локальных сетей, предложены подходы по минимизации входных потоков мониторинговых данных и их передачи по каналам связи в виде криптоустойчивых и помехоустойчивых пакетов информации

позволит эффективно организовать управление литейным производством с учетом минимизации затрат и повышения качества отливок.

*Методология построения систем мониторинга и управления качеством литейного производства.* Автоматизация литейного производства привела к тому, что качество и надежность функционирования автоматизированных формовочных и литейных линий, различных механизмов литейных цехов существенно влияет на конечный результат производства. В свою очередь, автоматизированные комплексы и машины управляются и контролируются физическим и умственным трудом большого количества людей. При этом влияние человеческого фактора на качество производства существенно увеличивается, что требует организации обеспечения качества производства на его различных уровнях. На сегодняшний день в промышленности только на самых нижних ступенях процессов промышленного производства осуществляется непосредственная переработка материалов, энергии, информации. На все более высоких уровнях производства требуется получение и обработка информации. Именно информация необходима для управления людьми, производством и социальными процессами. Высший уровень систем контроля качества на производстве требует интеграции и взаимодействия всех автоматизированных систем, включая обеспечение оперативного доступа к базам данных и экспертным системам [5]. Поэтому, большая роль в организации контроля качества производства принадлежит сетевым средствам сбора, обработки и кодирования первичных сигналов и изображений, являющихся информационным отображением текущих технологических процессов. Первичные информационные образы (сигналы и изображения) реализации технологических процессов на разных участках и уровнях производства объективно отражают процессы производства. Важной задачей построения компьютерных сетей дистанционного

мониторинга и управления качеством литейного производства является оптимизация процессов сбора, обработки, кодирования и передачи мониторинговых данных непосредственно в местах возникновения (зарождения) информационных потоков [4]. Первичные данные объектов контроля (ОК) обрабатываются объектными системами (ОС) локальных сетей, при этом анализируется достоверность входных данных и на основе экспресс-анализа сигналов определяется информационное состояние ОК (нормальное / ненормальное). В зависимости от состояния ОК на верхние уровни компьютерной системы мониторинга и управления качеством производства передаются соответствующие массивы компактных данных для накопления информации, отображения информационных состояний ОК и формирования управляющих сигналов и команд.

Современное производство сложных изделий характеризуется большим количеством участков изготовления деталей и узлов собственного производства, а также использования изделий поставщиков. Поэтому на каждом рабочем месте производства деталей и сборки узлов необходимо организовать объективный контроль качества изготовления деталей, проверки параметров и работоспособности изделий поставщиков, а также организовать испытания отдельных узлов и подсистем сложных изделий. Для этого на рабочих местах необходимо устанавливать объектные системы и терминалы компьютерной сети, осуществляющей сбор и передачу на верхние уровни интегрированной сети мониторинга, а также управление качеством производства соответствующих данных (числовых значений параметров, отсчетов, контрольных величин), испытательных сигналов и изображений деталей, их отдельных

фрагментов и собранных узлов. Контроль качества продукции на сложных производствах достигается за счет поддержки и контроля в заданных пределах технологических, теплофизических, механических, массогабаритных характеристик и других параметров производственных процессов отдельных деталей, узлов, составляющих механизмов и изделий. Особенно важно контролировать параметры технологических процессов и характеристики первичных изделий как на ранних этапах производства (контроль параметров комплектующих материалов изделий смежников, контроль выходных сигналов, тензодатчиков, термодатчиков и термопар, систем виброиспытаний и других), так и на этапе сборки узлов и систем конечной продукции. Полученная информация на каждом участке и уровне производства изделий в компактной форме отправляется в центральную базу данных интегрированной сети и является информационным отражением процессов качества производства. Информация от соответствующих объектных систем в виде пакетов информации передается по каналам связи на стационарные рабочие станции верхних уровней интегрированной сети.

Структура интегрированной сети мониторинга и управления качеством производства, включая литейное, приведена на рис. 1. Нижний уровень сети (уровень рабочих мест) составляют объекты контроля (технологические процессы, материалы, автоматизированные линии, установки, операторы, рабочие и т. д.), на которых устанавливаются объектные системы сети. Пакеты данных различных ОС передаются на соответствующие точки доступа (ТД) локальных сетей, образующих уровень производственных участков. Данные от ТД ретранслируются на центральные станции (ЦС) локальных сетей, относящихся к уровню цехов. Технологическая информация, данные, введенные операторами непосредственно с рабочих мест, а также измерительные данные, сигналы, изображения соответствующих фрагментов деталей и узлов и видеоданные выполнения особо важных технологических операций, испытаний деталей и узлов от ЦС цехов по проводной (оптоволоконной) сети передаются на сервер предприятия. Для достижения поставленных задач нижний уровень интегрированной сети мониторинга и управления качеством производства строится на основе средств беспроводных сетей ZigBee и Wi-Fi [12], а верхние уровни интегрированной сети – на

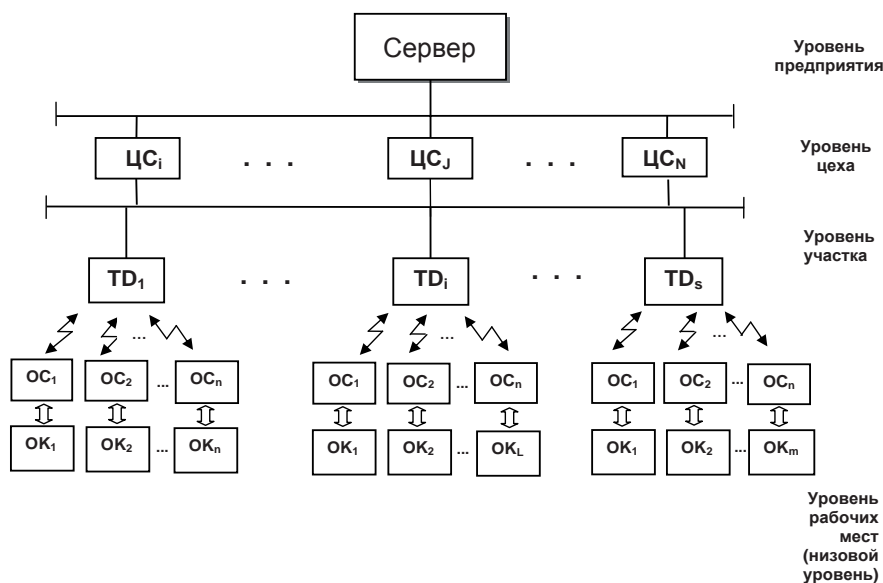


Рис. 1. Структура интегрированной компьютерной сети мониторинга и управления качеством производства: ОК – объект контроля; ОС – объектная система; ТД – точка доступа; ЦС – центральная станция

основе высокоскоростных сетей Ethernet и Internet. В результате такой комбинации стандартных средств сбора, обработки и передачи информации достигается оперативность и мобильность организации мониторинга и управления качеством производства, исключается до минимума влияние человеческого фактора на протекание технологических операций, а каждая деталь, узел и сложное изделие на текущем этапе его изготовления сопровождается и характеризуется объективной информацией.

*Характеристика литейного производства как объекта исследования.* Литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения, доля литых заготовок по массе в котором составляет 50-70 %. Украина обладает развитым универсальным литейным производством [6]. Литые заготовки производятся различными методами, среди которых доминирующим остается процесс их производства в литейных цехах с использованием разовых песчаных форм. Этот технологический процесс реализуется в крупносерийном и массовом производстве с помощью автоматизированного и роботизированного оборудования. Литейный цех представляет собой сложную систему, эффективность функционирования которой зависит от состояния и надежности работы большого количества разнородных подсистем и элементов. Повышение эффективности и производительности работы различных подразделений литейного цеха достигается за счет комплектации подразделений оборудованием с заданными параметрами, а задачи повышения качества литейного производства решаются на основе оптимизации технологических процессов [1]. Это позволяет обеспечить выпуск заданного количества качественных отливок.

В настоящее время в литейном производстве Украины актуальной является проблема реконструкции старых литейных цехов, значительное число которых строилось в довоенное время, а около 20 % расположены в зданиях, находящихся в аварийном состоянии [6]. Многочисленные исследования, проведенные на ряде заводов массового и крупносерийного производства показали [1], что из-за наличия простоев потенциальные возможности автоматических формовочных линий (АФЛ) реализуются, в среднем, лишь на 40-60 %. Коэффициент использования АФЛ колеблется от 0,65-0,71 на передовых предприятиях и до 0,3-0,4 и менее – на других заводах. Однако, существующий в настоящее время спад промышленного производства, в том числе и литейного, не означает снижения интереса к повышению его эффективности работы. На данном этапе развития литейного производства основное внимание уделяется повышению качества отливок при снижении затрат труда, энергии и материалов на их изготовление. Появление сложных

АФЛ и роботизированных автоматических литейных линий (АЛЛ), реализующих более совершенные технологии, составляют главную тенденцию в повышении эффективности производства отливок. Одним из главных направлений развития литейного производства является использование микрокомпьютеров и многоуровневых компьютерных сетей для непрерывного мониторинга и управления качеством в литейном производстве. Применение компьютеров для решения практических задач литейного производства позволяет повысить производительность литейных цехов на 10-15 – в мелкосерийном производстве, 10-25 % – в крупносерийном и массовом производстве, а также снизить брак отливок с 5-10 до 0,5-1,0 %, снизить массу отливок на 15-20 и уменьшить расход электроэнергии и вспомогательных материалов на 5-10 % [1, 7].

Сложность организации производственного процесса в литейном цехе определяется большим количеством взаимосвязанных, разделенных во времени и на территории цеха, технологических стадий изготовления отливок. Следует отметить, что на качество отливок влияет до 2000 переменных факторов [1]. Эффективность функционирования литейного цеха зависит от синхронной и надежной работы основных его подразделений. Поскольку формирование структуры и основных параметров производственного процесса литейного цеха происходит на стадиях его проектирования, то эффективность работы цеха определяется качеством и обоснованностью проектных решений. Принципиальная перестройка работы литейного цеха возможна только на стадии его реконструкции.

Классическая технологическая схема изготовления отливок в песчаных формах состоит из таких операций: приготовление и транспортировка формовочных смесей, формовка, установка стержней, заливка расплавленного металла, выбивка. При этом основной комплекс технологических операций (формовка, установка стержней, заливка и выбивка) выполняются в массовом и крупносерийном производстве на АФЛ. Большую долю простоев АФЛ (30-60 % от общего количества) составляют из-за неритмичной работы смежных производственных участков. Трудоемкость процессов литья распределяется в следующих соотношениях, в % [1]: на смесеприготовительное, стержневое и формовочное приходится примерно 50-60 всей трудоемкости изготовления отливки; на плавильное – 10; на выбивное – 30-40. В мелкосерийном производстве экономически целесообразна технология литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) [8, 9], в основу которой заложен принцип одновременности заливки металла и вывода за пределы полости формы продуктов деструкции

пенополистирола и их дожигания с использованием кислородного воздуха. По этой технологии модель отливки, изготовленную из полистирола и предварительно окрашенную противопожарной краской, заформовывают в отверждаемую смесь совместно с элементами литниковой системы и системы газоотвода. Стоимость модели из полистирола в 5-10 раз дешевле деревянного модельного комплекта, а трудоемкость формовочных работ более чем в 1,5-2,0 раза ниже, чем формовка по деревянным моделям.

Анализ эффективности работы литейных цехов показывает, что 25 % всех простоев АФЛ приходится на долю системы смесеприготовления [1, 10], а 40-70 % всех дефектов отливок определяется уровнем и стабильностью свойств формовочных смесей [1, 10, 11]. Качество формовочной смеси формируется в смесителях, а ее количество определяется производительностью параллельно работающих смесителей и надежностью системы транспортных устройств, обеспечивающих передачу смеси от смесителей к формовочному оборудованию. Элементы смесеприготовительной системы жестко связаны между собой, поэтому остановка одного ленточного конвейера для транспортировки смеси ведет к остановке не только смесеприготовительной системы, но и АФЛ. За время простоя ухудшаются технологические свойства формовочной смеси, что приводит к появлению дефектов в отливках. Большую долю в простоях АФЛ составляют простои по вине плавильного отделения, которые достигают 10-25 % и более (иногда достигают 50) номинального фонда времени. В зависимости от вида выплавляемого сплава применяются различные типы плавильных агрегатов или их комбинации. На ритмичную работу АФЛ существенно влияет система подачи жидкого металла к АФЛ, которая зависит от расположения плавильных агрегатов и участков заливки автоматических линий, наличия накопителей, а также от траектории пути доставки металла к участкам заливки. Внедрение новых технологий, а также оптимальный выбор и размещение оборудования для получения сплавов являются основными требованиями для получения отливок с необходимыми прочностными и эксплуатационными характеристиками.

Пересечение всех основных потоков материалов, необходимых для изготовления отливки, происходит в формовочном отделении, основой которого является АФЛ. Особенностью АФЛ является наличие одной операции наибольшей длительности, которая выполняется на формовочном автомате. От производительности последнего зависит производительность линии. Главным фактором, определяющим производительность линии, является ее надежность работы. На

эффективность работы АФЛ существенное влияние оказывает надежная работа выбивных устройств. Производительность автоматической линии зависит от параметров двух типов [1]: от параметров, значения которых в процессе работы линии почти стабильны и зависят только от ее конструкции (время рабочего цикла линии, цикловая производительность); от параметров, значения которых в процессе работы линии могут изменяться и зависят от различных случайных причин (длительности бесперебойной работы отдельных механизмов линии, продолжительности простоев по устранению причин, вызвавших отказы этих механизмов). Значения этих параметров, необходимые для расчета технической производительности линии, определяют вероятностными методами на основе большого числа наблюдений за работой линии в условиях ее эксплуатации [1].

Таким образом, характерными чертами литейного производства являются [1, 8-11]: разнообразие и большое количество потребляемых материалов, а также большой их грузооборот, при этом в процессе изготовления отливок необходимо оперативно контролировать качество материалов; «закрытый» характер ряда литейных процессов и многообразие причин одного и того же вида брака, что требует разработки косвенных методов контроля показателей технологических процессов; неизменность числа и последовательность выполнения стадий для всех отливок независимо от их формы и массы; необходимость обеспечения согласованного выполнения отдельных операций во времени при многообразии используемых материалов и оборудования. Взаимосвязь между количеством и качеством отливок, зависимость последних от параметров смеси и металла является основой для инженерного управления этими параметрами. Такая взаимосвязь носит четко выраженный вероятностный характер [1], что ранее не учитывалось в рамках существующих методик проектирования литейных цехов и их подразделений. К случайным необходимо отнести факторы, связанные с отказами оборудования, комбинациями свойств исходных материалов и погрешностями их дозирования. Поскольку современный литейный цех имеет большую степень механизации и автоматизации, важной является проблема повышения надежности работы его подсистем, что, в конечном итоге, позволит снизить простои оборудования и брак отливок. Для организации независимого контроля и прогнозирования качества работы различных механизмов целесообразно обеспечить ввод и обработку объектными системами интегрированной сети сигналов и изображений (вибросигналов, звуковых сигналов, изображений расплавленных металлов и других), доступных для оперативного

ввода и характеризующих технологические процессы. По результатам корреляционного и спектрального анализа сигналов на основе вычисления статистических и хаотических характеристик первичных сигналов определяются информационные образы ОК [13]. Тенденции в изменение формы и характер поведения величин вычисленных информационных показателей ОК позволяют прогнозировать аварийность механизмов.

Большинство разработанных технологических процессов литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) сложно поддаются управлению и оптимизации по причине отсутствия комплексных моделей управления. При литье ведут контроль и управляют температурой расплава, давлением на форму и временем затвердевания. Но, как показывают исследования [14], для получения высококачественных отливок необходимо, по меньшей мере, управлять и контролировать 10-15 входных параметров литья. При литье весьма сложных и ответственных деталей, например, при литье железнодорожных колес, число контролируемых и управляемых параметров может составлять на порядок больше. Для контроля полного технологического цикла протекания процессов, включая формовку, управляемую подачу жидкого металла, термодеструкцию и превращение модели в газообразное состояние, дегазацию формы, а также процессы формообразования и формирования напряженно-деформированного состояния отливки (НДСО), целесообразно контролировать и управлять следующими процессами и параметрами [14]:

- управление процессом первичного формообразования;
- управление созданием газового разрежения в форме;
- контроль напряженно-деформированного состояния модели и формы в процессе формовки;
- регулирование напряженно-деформированного состояния формы статистическим нагружением;
- управление процессом подготовки расплава к заполнению формы и оптимизация конструктивных параметров камеры выжимания;
- управление поддержанием квазистатического равновесия в процессе газификации модели;
- создание газодинамического режима;
- управление гидродинамическим режимом заполнения формы;
- энергосиловое воздействие на процесс формирования структуры отливки.

Главная роль в процессах литья и формирования отливки при литье под давлением в форму с газифицируемой моделью принадлежит гидродинамическому режиму формирования отливки (п. 8), который определяется зависимостями потока и давления расплава от параметров движения

пуансона относительно камеры выжимания. Технологическая оптимизация параметров камеры выжимания, температурных режимов течения и теплообмена в системах «камера выжимания-форма», способствует заданию эффективных управляющих воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл и, следовательно, на структуру отливки. Температура заливаемого металла, тепловой режим камеры выжимания и формы, продолжительность заполнения, продолжительность действия подпрессовки, а также цикл формирования отливки определяют тепловой режим процесса, оптимальные параметры которого устанавливаются перед заливкой расплава и по которому в процессе формообразования отливки необходимо корректировать внешние энергосиловые возмущения. На стадии подачи расплава в форму контролируемыми являются параметры режима поддержания квазистатического равновесия разделяющей поверхности «модель-форма» – режим, который находится во взаимосвязи с газовым режимом формы, а также тепловым режимом процесса ЛГМ и режимом формирования НДСО. Как показывает практика, для реализации процессов ЛГМ способом выжимания металла в форму требуется применение специального оборудования, обладающего возможностями выполнять заданные программы заполнения формы в функцию времени или по перемещению положения фронта жидкого металла. Кроме того, литейное оборудование должно обладать дополнительными специальными возможностями для осуществления последующей, после заполнения формы, подпрессовки и гидравлической вибрационной обработки металла в форме специальными силовыми возмущениями, обеспечивая качественное протекание процесса формообразования отливки и снижения остаточных напряжений.

Таким образом, технологический цикл литейного производства в реальном времени необходимо сопровождать измерительными и вычисленными данными (информационными образами), на основе оперативного анализа которых возможно организовать оптимальное управление процессами литья. Анализируя накопленные ведущими мировыми производителями литья данные, следует отметить отсутствие комплексной методологии разработки промышленной технологии и оборудования, а также создания аппаратно-программных средств управления процессами литья и формообразования отливок по методу ЛГМ. Решение этих проблем достигается на основе разработки оптимальной физической модели управления процессом литья с учетом всех имеющихся факторов, влияющих на качественные показатели литейного производства, а также за счет информационного сопровождения технологических процессов литья

с применением интегрированной сети мониторинга и управления качеством производства.

*Функциональные характеристики объектных систем оперативного мониторинга состояний объектов литейного производства.* Основой мониторинга и управления состояниями объектов литья являются объектные системы, осуществляющие ввод достоверных данных о поведении объектов, включая данные о выполнении технологических процессов, функционировании оборудования, функционального состояния операторов и др. Учитывая наличие промышленных и импульсных помех в литейных цехах, выходные данные ОС должны быть защищены от канальных помех, а также от доступа к информации несанкционированных пользователей интегрированной сети, включая защиту данных от подмены. Объектные системы уровня сбора и обработки первичных данных должны отличаться мобильностью, портативностью и дешевизной, поэтому в качестве каналов связи целесообразно использовать помехоустойчивые и криптоустойчивые радиосети. Пакеты информации также могут передаваться по проводным каналам связи (витой паре), кабельной и оптоволоконной линиям связи, которые не отличаются мобильностью развертывания и могут применяться на отдельных участках вместо радиоканалов или в виде резервных каналов связи. В качестве мониторинговых сигналов на производстве могут быть показатели и выходные сигналы (данные) датчиков, характеризующие работу технологических процессов, линий, участков, цехов, а также различные экологические показатели. Наиболее емкими и информативными являются термосигналы сопротивления и проводимости материалов, смесей, вибросигналы, звуковые сигналы, изображения, видеоданные и др. Соответственно, объектные системы должны комплектоваться процессорными модулями предварительной обработки и кодирования первичных данных, модулями передачи данных по радиоканалу и проводным каналам связи. Поэтому, важными задачами построения сетей мониторинга и управления качеством производства являются оптимизация процессов сбора, обработки и передачи первичных данных, выбор технологий радиодоступа, кодирование сигналов, изображений и данных для реализации помехоустойчивой и криптоустойчивой передачи данных в каналах связи интегрированной сети. Следует особенно отметить, что вся обработка и кодирование первичных данных (фильтрация, сжатие, защита данных, помехоустойчивое кодирование пакетов информации) должна осуществляться в местах образования информационных потоков. Обобщенный операторный алгоритм функционирования ОС компьютерных сетей имеет вид

$$\text{ОИиУ} \Rightarrow O_{\text{вд}} \Rightarrow O_{\text{фд}} \Rightarrow O_{\text{зд}} \Rightarrow O_{\text{сл}} \Rightarrow O_{\text{зл}} \Rightarrow O_{\text{пкд}} \Rightarrow O_{\text{фип}} \Rightarrow O_{\text{дкс}} \Rightarrow O_{\text{Перип}} , \\ \Leftarrow O_{\text{фсу}} \Leftarrow O_{\text{ди}} \Leftarrow O_{\text{Прип}}$$

где ОИиУ – объект исследования и управления, при передаче данных:

$O_{\text{вд}}, O_{\text{фд}}, O_{\text{зд}}, O_{\text{пкд}}, O_{\text{фип}}, O_{\text{дкс}}, O_{\text{Перип}}$  соответственно операторы ввода данных, фильтрации данных, сжатия данных, защиты данных, помехоустойчивого кодирования данных, формирования информационных пакетов (ИП), доступа к каналу связи, передачи ИП, а при приеме данных:  $O_{\text{Прип}}, O_{\text{ди}}, O_{\text{фсу}}$ , соответственно операторы приема ИП, декодирования информации, формирования сигналов управления.

Таким образом, ОС минимизируют входные потоки данных и преобразуют их в псевдохаотические битовые последовательности минимальной продолжительности [15], которые закодированы с точки зрения достижения предварительно заданной величины степени защиты информации  $P_z$  и с учетом надежной передачи данных по каналам связи с шумами. Поэтому при вводе информации (сигналов, фиксированных изображений, видеоданных) ОС выявляют и компактно кодируют наиболее информативные и достоверные данные. При этом эффективность многофункциональной обработки и кодирования информации на ОС значительно зависит от входного соотношения сигнал/шум при вводе данных суммарной величины коэффициента сжатия данных  $K_{\text{ск}}$ , величины  $P_z$ , текущего соотношения сигнал/шум в канале связи.

В процессе ввода данных от объектов контроля важно контролировать условия ввода сигналов и изображений и степень их искажения шумами и помехами. Поэтому, массивы первичных данных необходимо сопровождать служебной информацией, которая подтверждает качество введенных данных. Служебная информация позволит также оптимизировать обработку входных данных: чистые от помех фрагменты сигналов и изображений кодируются качественно, то есть с повышенной частотой опроса и большим количеством бит, а данные с шумами подлежат фильтрации упрощенными методами, прореживаются и кодируются менее точно. Минимально допустимая частота дискретизации сигналов выбирается адаптивно в пределах

$$f_{\text{дк}} \leq f_{\text{допт}} \leq 2K_{\phi} \cdot f_{\text{max}},$$

где  $K_{\phi} \geq 8-10$  – коэффициент повышения частоты дискретизации сигнала;  $f_{\text{дк}}$  – по Котельникову, значение которого существенно зависит от метрологических требований к устройствам ввода и обработки сигнала;  $f_{\text{max}}$  – максимальная частота сигнала.

Наиболее простым способом адаптивного ввода сигналов является дискретизация сигналов с максимальной частотой  $f_{\text{дmax}} = 2K_{\phi} \cdot f_{\text{max}}$

с последующим прореживанием отсчетов сигналов на величину  $k_j$ , где  $j$  – текущая величина коэффициента  $k_j$  частоты дискретизации. Для простоты кодирования величина  $j$  выбирается из величины  $j = 1, 2, 3, \dots$ . Для уменьшения первичных информационных потоков и получения достоверных отсчетов измерительных сигналов целесообразно использовать сигма-дельта аналого-цифровые преобразователи. Оптимальным решением проблем ввода сигналов является тактирование работы аналого-цифрового преобразователя с адаптивным периодом кодирования  $t_k = f(K_{сжmin}, [с/ш]_{вх}, \Delta X_i^\phi)$  и выбором  $q_d = f([с/ш]_{вх})$ , где  $K_{сжmin}$  – минимально необходимый коэффициент сжатия данных,  $[с/ш]_{вх}$  – относительный показатель входного соотношения сигнал/шум,  $\Delta X_i^\phi$  – текущее значение приращения отфильтрованного сигнала, вычисленное в процессе реализации оперативной фильтрации. Компактное кодирование отсчетов сигналов базируется на вычислении величин  $\Delta X_i^\phi$ ,  $[с/ш]_{вх}$  и выборе параметров  $f_{допт}$  и  $q_d$  [15]. Максимальная частота дискретизации  $N$  – канального устройства ввода сигналов  $f_d^N = N \cdot f_{dmax}$ . При этом частота дискретизации менее высокочастотного  $i$  – го сигнала выбирается в  $k_i$  раз меньше по сравнению с величиной  $f_d^m$ , где  $f_d^m$  – частота дискретизации  $m$  – го сигнала с наибольшей высокочастотной составляющей  $f_{dmax}^i$ ,  $k_i = [f_{dmax}^m / f_{dmax}^i]$ ,  $[-]$  – признак целой величины.

Первичный поток данных от видеосенсоров определяется разделяющей способностью видеосенсора  $N \cdot M$  ( $N$  – количество пикселей в строке текущего кадра,  $M$  – количество строк кадра), количеством бит, необходимых для кодирования яркости пикселя, а также зависит от частоты получения кадров и вида изображения (цветное, монохромное). После сжатия данных без потерь массивы битов целесообразно защитить операцией гаммирования с длительными псевдослучайными последовательностями, которые от пакета к пакету являются переменными [15]. Для защиты данных от подмены биты помехоустойчивого кодирования случайным образом маскируются в массиве данных пакетов информации.

*Характеристики беспроводных сетей оперативного мониторинга состояний объектов литейного производства.* Функционирование информационной системы на производстве требует надежного взаимодействия большого количества систем, которые создают условия для передачи и хранения данных, осуществляющих интеграцию информации, получаемой из различных источников, обеспечивающих доступ к разнородной информации, ее комплексный анализ, защиту и возможность совместного использования различными подразделениями пред-

приятия. Для передачи данных от объектов широкого распространения получили широкополосные сети радиодоступа. Такие радиосети являются эффективным способом организации корпоративных сетей предприятий, сетей видеомониторинга и дистанционного контроля состояний удаленных и подвижных объектов. На сегодняшний день выделяются четыре типа сетей широкополосного беспроводного доступа, которые соответствуют четырем уровням охвата абонентов: персональный (WPAN), локальный (WLAN), городской (WMAN), региональный и глобальный (WWAN) уровни. К средствам построения WPAN-сетей относятся однокристалльные радиомодули, ориентированные на передачу данных в диапазоне ISM (Industrial scientific and Medical band – радиочастотные диапазоны – 430, 826/915, 2400 МГц – для промышленного, научного и медицинского применения), использование которого не требует лицензий [12]. Такие радиомодули, соединенные с микроконтролерами и сигнальными процессорами, могут предавать данные от различных датчиков, сенсоров, видеосенсоров с применением упрощенных протоколов обмена данными на физическом уровне. За счет использования направленных антенн дальность связи можно увеличить до 10-20 км. Среди WPAN-сетей необходимо выделить сети, построенные в соответствии со стандартами Bluetooth, IEEE, 802.15.3 и 3a, IEEE 802.15.4 (Zigbee), UWB-сети [12]. Стандарт Bluetooth – это универсальный радиоинтерфейс, ориентированный на передачу данных в диапазоне 2400,0-2483,5 МГц между различными устройствами с использованием дешевой аппаратуры. Стандарт IEEE 802.15.3 описывает работу пикосетей и «ad hoc-систем» на малых расстояниях (до 10 метров), базовая скорость которых – 22 Мбит/с. Эти сети характеризуются простой инфраструктурой, наличием средств защиты данных и гарантированным качеством обслуживания QoS (Quality of Service). Стандарт IEEE 802.13.3a описывает работу пикосетей со скоростью обмена 110-480 Мбит/с и выше – до 1320 Мбит/с. Стандарт Zigbee ориентирован на построение систем длительного мониторинга объектов в диапазоне ISM с невысокой скоростью передачи данных (десятки-сотни Кбит/с) и дальностью связи 50-100 м. Битовая скорость передачи данных в диапазоне 868 МГц составляет 20 Кбит/с, в диапазоне 915 МГц – 40 Кбит/с, а в диапазоне 2450 МГц – 250 Кбит/с. Сети локального уровня (WLAN-сети) ориентированы на передачу данных в радиусе сотни метров. Вместе с тем, при использовании направленных антенн, технологии локальных сетей можно с успехом использовать на расстояниях, которые измеряются десятками километров. Среди беспроводных локальных сетей наибольшее распространение получили сети, построенные по стандарту IEEE 802.11

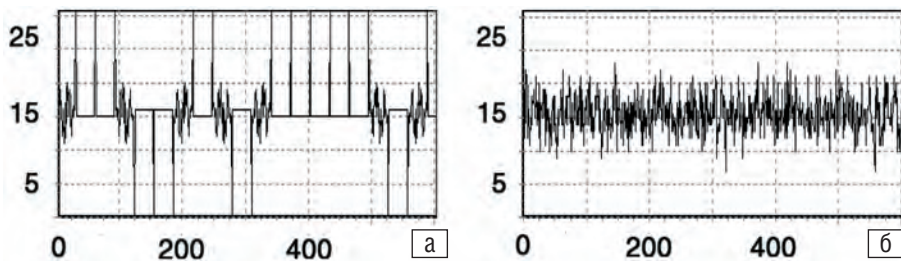


Рис. 2. Фрагменты шумоподобных сигналов и псевдохаотических пакетов информации

и его модификациям. Это стандарты IEEE 802.11b (Wi-Fi), 802.11a, 802.11g, а также перспективные стандарты 802.11n, p, e. Стандарт Wi-Fi (Wireless Fidelity) регламентирует работу беспроводных сетей с псевдослучайными последовательностями Баркера в диапазоне 2,4 ГГц и обеспечивает скорость передачи данных до 11 Мбит/с. Из-за большого количества избыточной служебной информации в пакетах реальная информационная скорость составляет 6 Мбит/с. Стандарт IEEE 802.11a регламентирует работу беспроводных сетей в диапазоне 5 ГГц и за счет использования технологии OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексирование с разделением на ортогональные частоты) скорость передачи данных доведена до 54 Мбит/с, однако дальность связи уменьшилась по сравнению с системами диапазона 2,4 ГГц. Предложена спецификация IEEE 802.11g, которая практически переносит схемы модуляции OFDM из диапазона 5,0 в диапазон 2,4 ГГц. Для построения корпоративных беспроводных локальных сетей целесообразно использовать точки доступа, например Aizonet 1100 серии, позволяющие одновременно организовывать передачу данных в стандартах 802.11b (11 Мбит/с) и 802.11g (54 Мбит/с) [5]. Перспективные сети нового стандарта IEEE 802.11n обеспечивают скорость до 300 Мбит/с [16]. Сети регионального уровня (WMAN-сети) стандарта IEEE 802.16-2004 получили название WiMax и ориентированы на построение высокоскоростных корпоративных сетей. Один из режимов работы сети ориентированный на магистральные сети («точка-точка», «точка-много точек») с типовыми скоростями 120 Мбит/с [12].

Для эффективной передачи пакетов информации сжатые и закодированные мониторинговые данные процессорным устройством ОС преобразуются в хаотические шумоподобные каналные сигналы (рис. 2), которые маскируются в канале связи. Суммарный объем информации  $V_{max}$ , который передается объектной системой за время  $T$  передачи пакетов данных, равен

$$V_{max} = v_k \cdot T = v_i \cdot B \cdot T,$$

где  $v_k$  – канальная скорость передачи информации;

$$v_i = v_k \cdot m_i \cdot m_m \cdot K_{сж} = \frac{2F \cdot m_i \cdot m_m \cdot K_{сж}}{k_{сф} \cdot k_m}$$

– информационная скорость передачи информации;  $B$  – база сигнала, модулирующего несущую (величи-

на  $B$  определяется адаптивно в зависимости от соотношения сигнал/шум в канале связи);  $m_i$  – количество двоичных бит, которые передаются каналным сигналом при кодировании на информационном уровне;  $m_m$  – количество бит, которые передаются каналным сигналом при реализации многоуровневой манипуляции несущей;

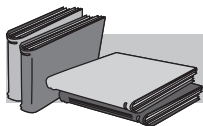
$F$  – полоса частот канала связи;  $k_{сф}$  – коэффициент, учитывающий качество возобновления фронтов цифровых каналных сигналов;  $k_m$  – коэффициент, учитывающий метод манипуляции несущей.

Перспективой развития пакетных радиосетей является использование сверхширокополосных сигналов для передачи двоичной информации [12]. В отличие от традиционных систем радиосвязи, включая связь с использованием шумоподобных сигналов, которые имеют спектр типа  $\sin x/x$ , спектр систем со сверхширокополосными сигналами практически имеет равномерное распределение спектральных составляющих в широкой полосе частот (приблизительно в полосе более 500 МГц). Это позволяет построить системы передачи информации (UWB-сети) с малой мощностью и высокой помехоустойчивостью. Такие системы связи не создают существенных помех другим системам, работающим в тех же диапазонах частот, а также характеризуются повышенной криптоустойчивостью и имитоустойчивостью.

## Вывод

Литейное производство требует интеграции и взаимодействия всех автоматизированных систем контроля и управления качеством производства. Большая роль в организации контроля качества производства принадлежит сетевым объектным системам, осуществляющим ввод, фильтрацию, сжатие, защиту данных и помехоустойчивое кодирование пакетов информации. Для эффективного контроля и управления качеством литейного производства необходимо организовать сбор, обработку и передачу на верхние уровни интегрированной сети технологических и измерительных данных, являющихся информационными образами текущих технологических процессов. Перспективными технологиями сбора и передачи данных являются технологии построения беспроводных компьютерных сетей типа ZigBee, Wi-Fi, UWB. Для оценки входных и выходных потоков данных на объектных системах компьютерных сетей контроля качества производства предложены выражения, учитывающие качество ввода сигналов и изображений, способов компактного кодирования и манипуляции несущей, а также уровень шумов в каналах связи.





# ЛИТЕРАТУРА

1. Пономаренко О. И. Оптимизация технологических решений для цехов литейного производства. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.
2. Пельх С. Г., Пономаренко О. И. Информационные технологии в системах управления качеством отливок // Процессы литья. – 2007. – № 1-2. – С. 125-130.
3. Пельх С.Г., Пономаренко О.И. Кибернетические методы управления качеством в литейном производстве // Там же. – 2002. – № 1. – С. 53-56.
4. Шинский О. И., Шевчук Б. М., Кравченко В. П., Шинский И. О. Информационная технология оперативного дистанционного мониторинга состояний объектов литейного производства // Там же. – 2007. – № 1-2. – С. 117-125.
5. Лисецкий Ю. М., Бобров А. Н. Пример построения корпоративной интегрированной информационной системы // УСиМ. – 2007. – № 6. – С. 9-16.
6. Найдек В. Л. О состоянии и перспективах развития литейного производства в Украине // Литейн. пр-во. – 1994. – № 12. – С. 2-6.
7. Пельх С. Г., Литвиненко М. Н., Акимов О. В. Применение вычислительной техники для повышения эффективности литейного производства. – М.: ВНИИТЭМР, 1991. – 64 с.
8. Шинский О. И., Шульга В. Т., Вишнякова Л. П. Новое в литье по газифицируемым моделям крупных отливок // Литейн. пр-во. – 2003. – № 9. – С. 26-28.
9. Гончаренко Ю. А. Соловко И. Т., Шинский И. О. Современные технологические решения при литье по газифицируемым моделям // Процессы литья. – 2003. – № 3. – С. 61-64.
10. Средства и системы автоматизации литейного производства (шихтовка, плавка, смесеприготовление, разливка) / К. С. Богдан, В. Н. Горбенко, В. М. Денисенко, Ю. П. Каширин. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.
11. Чудновский И. Д. Проблемы автоматизации процессов смесеприготовления // Литейн. пр-во. – 1986. – № 7. – С. 20-23.
12. Шахнович Н. В. Современные технологии беспроводной связи, 2-е изд.: - М.: Техносфера, 2006. – 288 с.
13. Шевчук Б. М. Методи визначення та відображення показників інформаційних станів об'єктів тривалого моніторингу // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2005. – № 4. – С. 78-85.
14. Русяков П. В., Шинский О. И. Параметрическая модель процесса литья и формообразования отливки при подаче расплава в газифицируемую форму под давлением // Металл и литье Украины. – 2005. – № 9-10. – С. 48-51.
15. Шевчук Б. М., Задірака В. К., Фраер С. В. Ефективні методи фільтрації-стиску та захисту інформації в комп'ютерних мережах тривалого моніторингу станів об'єктів // Штучний інтелект. – 2006. – № 3. – С. 804-815.
16. Лисецкий Ю. М., Бобров С. Н., Бобров А. Н. Национальная сеть беспроводного доступа в Интернет // УСиМ. – 2007. – № 5. – С. 81-85.

## Summary

O. I. Shinskiy, B. M. Shevchuk, I. O. Shinskiy, V. P. Kravchenko  
Operating monitoring and control methods and tools for foundry quality

The questions of construction of computer networks of monitoring and quality of casting production management are considered with the use of the objective systems of WLANs, offered approach on minimization of input streams of monitoring information and their transmission on channel of connection as crypto steady and antijamming packages of information

## Анотація

О. Й. Шинський, Б. М. Шевчук, І. О. Шинський, В. П. Кравченко  
Методи та засоби оперативного моніторингу та управління якістю ливарного виробництва

Розглянуті питання побудови комп'ютерних мереж моніторингу і керування якістю ливарного виробництва з використанням об'єктних систем безпроводових локальних мереж, запропоновані підходи по мінімізації вхідних потоків моніторингових даних і їх передачі по каналам зв'язку у вигляді крипостійких і завадостійких пакетів інформації

## Ключевые слова

Мониторинг, управления качеством литейного производства, локальные сети, криптоустойчивые и помехоустойчивые пакеты информации