

В.И. Гриценко, Л.А. Тимашова

## Интеллектуальные сенсорные системы – техническая основа «Умного предприятия» цифровой экономики

На использовании интеллектуальных сенсорных систем как технической основы «Умного предприятия» цифровой экономики решается одна задача создания интеллектуальных технологий, наиболее конструктивная и экономически оправданная при разработке современных цифровых систем автоматизированного управления. Для принятия управленческих решений найдены пути решения проблемы дополнительной обработки информации в системе данных определенными методами и проблемы механизмов доставки и визуализации. Предложены пути создания промежуточных программно-аппаратных средств для интегрирования ERP и АСУ ТПП.

На використанні інтелектуальних сенсорних систем як технічної основи «Розумного підприємства» цифрової економіки розв'язується одна задача створення інтелектуальних технологій, найбільш конструктивна і економічно виправдана у розробці сучасних цифрових систем автоматизованого керування. Для прийняття управлінських рішень знайдено шляхи рішення проблеми додаткової обробки інформації в системі даних певними методами та проблеми механізмів доставки і візуалізації. Запропоновано шляхи створення проміжних програмно-апаратних засобів для інтегрування ERP і АСУ ТП.

**Введение.** Интеллектуализация – главное направление развития современных технологий, а свойство интеллектуальности присуще всем новейшим информационно-управляющим системам. Опыт последнего десятилетия в решении множества практических задач и создании сотен практически действующих систем показал, что именно интеллектуальные технологии – наиболее конструктивны и экономически оправданы при разработке современных цифровых систем автоматизированного управления.

Известны различные пути и подходы повышения эффективности деятельности предприятий. Один из таких подходов – технологии создания «умного» предприятия (УП) как производственной инновации, базируемый на высоком уровне знаний о системе, высокопродуктивных методах интеллектуализации процессов управления и моделях образного мышления. Отличие такой технологии от традиционных состоит в придании ей новых возможностей в управлении, способных резко изменить производительность, а также концепцию, модель и способ функционирования производственного предприятия в разных отраслях промышленности.

Перспективным направлением развития УП является полностью автоматизированная система мониторинга работы устройств и людей в режиме реального времени, важнейшая характе-

ристика которой – мобильность, возможность доступа к нужной информации в любое время, в любом месте и с любых устройств. В такой системе, кроме повсеместного использования миниатюрных мобильных устройств, беспроводных сетей, спутниковой навигации, облачных вычислений, хранилищ информации, электронной среды, создающей образ окружающих объектов и процессов, базовой составляющей является гибкая распределенная модель управления всеми процессами в реальном времени, отображающая процессы мышления, поддерживаемые мощным программным инструментарием [1].

Чтобы сделать предприятие по-настоящему *умным*, следует собирать различную информацию о процессах производства, что реально в условиях единой сети датчиков (сенсорных систем), установленных на всех объектах.

Распределенные сенсорные системы – это безусловно новое направление в традиционной области сбора, обработки и передачи данных. Для концепции умного предприятия сенсорные системы – идеальная информационная технология самоорганизующейся сети инфраструктурного типа, связанная с интеллектуализацией УП как объектом управления.

Глобальный Интернет (*Internet of Everything, IoE*) может посредством цифровых технологий реализовать концепцию *умных* предприятий,

которые, получая данные от множества сенсоров, осуществляют контроль и мониторинг всех средств производства для непрерывного повышения его эффективности. Это означает возможность наблюдать и прогнозировать все стадии производственного процесса с целью внесения в реальном времени необходимых корректировок.

В комплексе это позволит реализовать ключевую технологию – конвергенцию промышленности, когда появляется возможность производства мелкой серии или уникального продукта по цене, приближенной к стоимости того же продукта в крупной серии [4].

### **Актуальность**

Процессы цифровой трансформации и оцифровывание экономики, появление интеллектуальных информационных технологий, теории интеллектуального управления объективно предопределило развитие систем УП.

В такой системе, кроме повсеместного использования миниатюрных мобильных устройств, беспроводных сетей, спутниковой навигации облачных вычислений, хранилищ информации, электронной среды, создающей образ окружающих объектов и процессов, базовой составляющей является гибкая распределенная модель управления всеми процессами в реальном времени, отображающая процессы мышления, поддерживаемые мощным программным инструментарием. Такой тип модели – активная помощь человеку на производстве в виде мгновенного доступа ко всей информации о производственном процессе по всему каналу поставок и жизненному циклу готовых изделий.

В качестве примера приведем разработку авиастроительной корпорации *Airbus* в содружестве с компанией *National Instruments* системы *заводом будущего*. Цель первой фазы проекта – сократить количество ошибок, для чего рабочим в реальном времени передается информация, объясняющая, что следует предпринять в каждый конкретный момент и какие инструменты использовать. Снабженные датчиками *умные* инструменты передают информацию по сети *Wi-Fi* рабочим, которым, например, необходимо просверлить несколько тысяч отверстий в самолете,

и сообщают, когда инструмент находится в нескольких миллиметрах от центра очередного отверстия. Другие сенсоры могут определять крутящий момент при затягивании болтов, давая инженерам возможность проанализировать данные, решить, правильно ли выполнена задача, и затем выявить причину неполадки.

### **Новые технологии систем корпоративной автоматизации управления производством**

В современных системах корпоративной автоматизации управления производством возникает необходимость своевременной доставки сотрудникам необходимой информации. Понадобятся такие технологии, благодаря которым информация из систем нижнего уровня станет доступной менеджерам любого уровня, включая высший, в том темпе, в котором информация генерируется системами АСУ ТП.

Для производственного УП цифровой экономики, как известно, основным процессом является создание и выпуск продукции – источника ее добавленной стоимости, и от эффективности организации производственных процессов зависит в итоге себестоимость продукции, а значит, – ее рыночная конкурентоспособность. Все остальные процессы на производственном предприятии – вспомогательные.

Существующие системы управления ресурсами предприятия или *ERP*-системы (*Enterprise Resource Planning*) способствуют решению задачи поддержки этих вспомогательных процессов. Отдельные продвинутые системы этого класса включают в себя также и модули *управления производством*, но функциональность этих модулей обычно предполагает только *внешнюю оболочку* процессов управления производством, не затрагивая его ядра, т.е. управления производственной деятельностью как таковой. Системы, которые позиционируют как удовлетворяющие стандартам *ERP*-системы и их функции, предусматривающие планирование, не учитывают всех необходимых особенностей производства. В результате планирование часто осуществляется на уровне цехов и участков, как правило, в виде объемных планов, так как особенности заложенного способа планирования не позволяют дойти до уровня операций на конкретном

оборудовании и конкретных рабочих местах. В то же время, каждая единица оборудования может иметь собственный график работы, свои особенности по ограничениям загрузки, мощности, индивидуальные планы ремонтных работ, непредвиденные поломки и др. Такое укрупненное планирование часто приводит к недопустимым на производстве ошибкам – оказывается, сформированный план не выполним на нижнем уровне из-за перекрытия, несвоевременного наложения производственных операций для некоторых станков. А значит, такой план будет неизбежно сорван. Кроме того, ERP-системы не осуществляют должного диспетчирования производственных процессов, ограничиваясь лишь фиксацией его выходных результатов.

Автоматизированная система управления нижним уровнем управления, отправленная платформой современных интеллектуальных информационных систем предприятий, существенно влияет на все бизнес-процессы. Средства интеграции уровней управления должны позволять корректировать или полностью перечислять производственное расписание и все необходимые для оперативной работы данные в течение рабочей смены столько раз, сколько необходимо. В то время как перепланировка в ERP, как правило, может быть целесообразной не чаще одного раза в сутки в силу сложности задач и специфики этого класса систем.

Для поддержания плановой и организационной составляющих самого производственного процесса необходимо решать следующие задачи.

На базе внешней потребности в производстве продукции (полученной на основе заказов клиентов, планов продаж и др.), а также предыдущих производственных программ с учетом нюансов и специфики производства на конкретном предприятии автоматически формируется детальный оптимизированный план с производственным расписанием работ, операций для станков, оборудования, персонала с автоматическим формированием всей необходимой документацией – производственных программ, заборных карт, таблиц и диаграмм загрузки оборудования и пр.

В ходе непосредственной реализации производственных программ необходимо осуществлять полное диспетчирование всех операций и их результатов (как положительных, так и отрицательных – брака, задержек и др.), а также потока изготавливаемых деталей.

При обнаружении отклонений от запланированных программ в силу объективно сложившейся ситуации на производстве, с появлением новой внешней потребности (заказов и др.) необходимо оперативное перепланирование с коррекцией всех составляющих.

При этом для принятия управленческих решений, опирающихся на интеграцию системы верхнего и нижнего уровней (ERP и АСУ ТП) возникают проблемы:

- дополнительной обработки данных по тем или иным методам, так как руководители среднего и высшего звена хотят видеть агрегированную информацию, в то время как АСУ ТП оперирует детализированными данными (т.е. возникает необходимость создания промежуточных программно-аппаратных средств, интегрирующих ERP и АСУ ТП);
- механизмов их доставки и визуализации.

Например, функционирование больших производств с непрерывным циклом, таких, как нефтеперегонные, нефтехимические заводы, электростанции и энергосберегающие комплексы нуждаются в создании систем, которые смогут реализовывать и контролировать весь путь обработки данных реального времени, от контроллера к виртуальной приборной панели (*dashboard*), формируемой на экране высшего руководителя. Для того чтобы создать такой путь, по которому впоследствии будет без задержек двигаться информация, необходимо разработать методологию и приложения сбора и обработки корпоративных данных реального времени в оперативном режиме, т.е. класс агентов-посредников между уровнем корпоративного управления и системами нижнего уровня (АСУ ТП), способных взять на себя обработку, визуализацию и распространение данных, а также синхронизировать все эти стадии с примерно одинаковыми временными параметрами, сравнимыми с динамикой работы систем АСУ ТП и производственных процессов.

Интегрированные информационные системы могут строиться как сверху вниз – от *ERP* к АСУ ТП, так и снизу вверх – от АСУ ТП к *ERP*. Исследование этого вопроса и практика создания систем управления на производственных предприятиях Украины показывает, что определение пути построения – важная, но пока нерешаемая задача, так как единого алгоритма, правильного (работоспособного) для всех предприятий не существует. Создание единого информационного пространства на сегодня – это еще не столько технология, сколько искусство.

В процессе создания и эксплуатации интегрированных информационных систем в каждом конкретном случае приходится обращаться к уникальным наборам унаследованных, сложно формализуемых систем. Алгоритмы работы *ERP*-систем достаточно просты и понятны. Поэтому внедрение этих систем происходит по стандартной схеме. В сфере АСУ ТП ситуация принципиально иная. На наших предприятиях нередко встречаются агрегаты, для управления которыми приходится использовать сложные математические модели. Для создания и внедрения таких систем необходимы не только большой опыт, но и средства моделирования процессов управления.

Одна из важнейших функций АСУ ТП, как отмечалось, – доставка информации. Сложные АСУ ТП – это человеко-машинные системы. В них 80 процентов функций – это функции, предполагающие участие человека. И только 20 процентов – полностью автоматические (связанные с жизнеобеспечением). Поэтому, доставляя информацию в нужное время в нужном виде, АСУ ТП снижает вероятность принятия неправильных решений там, где привлечен человек. А там, где участвует человек, всегда остается некоторая неопределенность: он может по разным причинам не воспринять информацию или не поверить ей, или осознанно поступить вопреки сигналам системы. По степени эффективности работы диспетчеров в конечном счете можно судить о степени эффективности системы. В данном случае важна природа принятия решений. Для этого проводятся психологические исследования, выясняется, каким образом подача информации

оптимальна для ее восприятия человеком. Для того, чтобы понять, как система должна сигнализировать человеку, чтобы он адекватно воспринял сигнал, необходимы исследования человеко-машинных систем и моделирование процессов работы операторов. Так, проблема оперативной доставки информации реального времени из систем АСУ ТП на уровень представления этих данных бизнес-пользователям и проблема алгоритмической обработки этих данных, осуществляемой также в режиме реального времени, тесно взаимосвязаны. Отсюда следует, что для определения значимости производственных данных реального времени для оперативного управления компанией, перед передачей функций по представлению данных средствам, доставляющим бизнес-контент в режиме реального времени нужна серьезная предварительная подготовка информации. Для выбора технологий, с помощью которых возможно это осуществлять, необходимы исследования процессов взаимодействия уровней управления производством и средства их моделирования.

### **Беспроводные сенсорные сети – техническая основа умного предприятия**

Исследования по созданию сетей автономных датчиков начали активно развиваться с середины 90-х годов прошлого столетия, и были поддержаны Агентством по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (*DARPA*). Предполагалось, что миниатюрные датчики (сенсоры), снабженные контроллером и приемопередатчиком, будут разбрасываться с самолета, собирать необходимую информацию и передавать ее в центр обработки [2].

Наиболее успешным оказался проект профессора Кристофера Пистера (*Kristofer Pister*) (университет Беркли, штат Калифорния), исследовательскую группу которого по праву считают основателем технологии беспроводных сенсорных сетей.

Первоначально предназначенные для использования в военных целях сенсорные сети стали активно применяться для автоматизации различных промышленных объектов. Беспроводные сенсорные сети являются отдельным классом беспроводных сетей передачи информации и со-

стоят из множества распределенных в пространстве устройств, обладающих набором сенсоров, микроконтроллером и радиочастотным приемопередатчиком для связи посредством радиоканала. В контексте Интернета Вещей беспроводные сенсорные сети обладают такими важными свойствами, как самоорганизация и адаптивность к изменениям окружающих условий и инфраструктуры, а аппаратное обеспечение беспроводных узлов и протоколы сетевого взаимодействия между ними оптимизированы по энергопотреблению для обеспечения длительного срока эксплуатации системы при автономных источниках питания. Энергонезависимые беспроводные системы передачи информации открывают новые возможности для диагностики, измерения и организации АСУ ТП как территориально распределенных объектов. Область покрытия подобных сетей может составлять от нескольких метров до нескольких километров благодаря способности ретрансляции передачи информации внутри элементов системы.

В ближайшей перспективе ожидается прогресс автономных сенсоров, интегрированных в распределенные системы с интеллектуальными сигнальными процессорами, интеллектуальным регулированием исполнительных механизмов при минимальном потреблении энергии.

В интеллектуальных сенсорных системах функции сенсоров и их интерфейсов объединены в общую систему, содержащую первичное преобразование параметра среды, формирование электронного сигнала, аналогово-цифровое преобразование, сопряжение с шиной и обработку данных. В эту совокупность могут включаться также функции более высокого иерархического уровня, например, самотестирование, автокалибровка, оценка и идентификация данных. Для сенсорной системы, в которой применяются функционально сложные компоненты, например, микроконтроллеры, персональные компьютеры, а также сенсорные интерфейсы, использование памяти в микроконтроллере дает возможность аккумулировать данные, полученные от нескольких сенсоров, в течение длительного периода времени. Это обеспечивает реализацию нескольких важных

функций системы, например, автокалибровку, самотестирование, компенсацию и фильтрацию нежелательных сигналов и эффектов.

Постоянное снижение стоимости беспроводных решений и повышение их эксплуатационных параметров позволяют постепенно отказываться от проводов и проводных сетей в системах сбора телеметрических данных, диагностики оборудования и обмена информацией.

В общем случае беспроводная сенсорная сеть – это автономная самоорганизующаяся распределенная информационно-управляющая система, состоящая из малогабаритных интеллектуальных сенсорных устройств, обменивающихся информацией по беспроводным каналам связи.

Сенсорная сеть имеет четыре базовых компонента:

- совокупность сенсоров (пространственно распределенных либо локализованных);
- соединяющая их сеть (обычно, но не всегда, беспроводная);
- центральный узел сбора информации;
- совокупность вычислительных ресурсов для сопоставления данных, анализа событий и извлечения информации.

В данном контексте вычислительные элементы считаются частью сенсорной сети: фактически же некоторые вычисления могут осуществляться непосредственно внутри узлов сети – самих сенсоров. Вычислительная и коммуникационная инфраструктура сенсорных сетей зачастую весьма специфична, ориентирована на конкретную область применения.

Сенсорные сети взаимодействуют с пространством и временем: месторасположением, зоной покрытия и синхронизацией информации. Обычно им приходится обрабатывать большое количество информации за ограниченное время. Поэтому сенсорные сети часто поддерживают внутрисетевые вычисления и обработку. Некоторые из них используют обработку в узле-источнике, другие имеют иерархическую архитектуру. Вместо отправки необработанных данных в узлы, ответственные за общее скопление информации, узел-источник зачастую использует собственные мощности для базовых расчетов, а затем передает уже частично обработанную ин-

формацию. При использовании иерархической архитектуры обработка происходит последовательно во всех узлах, через которые проходит отправленная источником порция информации, до того, как она достигает необходимого распределительного или административного узла. Это система, представляющая собой распределенную, самоорганизующуюся и устойчивую к отказам отдельных элементов сеть миниатюрных вычислительных устройств с автономным источником питания. Узлы такой системы транслируют сообщения друг через друга, обеспечивая значительную площадь покрытия сетью при малой мощности передатчика.

Системы АСУ ТП, которые зачастую являются распределенными, характеризуются в настоящее время тенденцией модернизации при условии неизменности основных средств производства (линий, машин и механизмов). Модернизация должна заменить преимущественно иерархически выстроенные направления промышленного управления и взаимодействия горизонтальными, обеспечивающими возможность коллаборативного действия. В области промышленной коммуникации жесткие, основанные на подчинении способы организации замедляют динамику развития предприятия, поэтому организационный стиль становится распределенным, горизонтальным, сетевым. Качество производства должно меняться путем модернизации АСУ ТП с применением беспроводных технологий, при выборе которых следует руководствоваться следующими факторами.

**Объем данных:** некоторым потребителям требуется собирать мегабиты данных в секунду, другим необходимо всего лишь несколько раз в сутки включать и выключать отдельные устройства.

**Время отклика:** когда устройство служит частью цепи, получение команды в заданный момент является существенным критерием. Требуемое время реакции может составлять несколько микросекунд.

**Надежность отклика:** будет ли сообщение получено наверняка и, если нет, какова вероятность обнаружения ошибок? Здесь при выборе технологии важная роль отводится помехам.

**Дистанция связи:** узлы сети расположены на большой территории или сосредоточены в одном месте? Дистанция может составлять от нескольких метров для подвижных частей механизма до нескольких километров для насосных станций распределительной сети. Ох-

ватываемое расстояние задает потребляемую мощность и зачастую определяет, можно ли использовать не требующую лицензирования технологию связи.

На объектах устанавливаются датчики технологических процессов и исполнительные механизмы, коммутируемые с устройствами сопряжения, которые образуют *нижний уровень* беспроводной системы контроля и управления. Устройства сопряжения выполняют при этом функцию преобразования и приема/передачи данных, обеспечивают промежуточную буферизацию данных и реализацию управляющих алгоритмов.

Ключевой особенностью технологии является принцип самоорганизации, передачи данных и сообщений по цепи. Устройства обладают способностью к ретрансляции сообщений по цепочке от одного к другому, что позволяет собирать информацию с протяженных объектов, превосходящих по своим размерам радиус связи одного элемента. Это позволяет значительно расширить круг объектов для внедрения систем телеметрии, в частности за счет тех объектов, где использование традиционных каналов передачи информации было невозможно или экономически не выгодно. Также к преимуществам можно отнести: минимальные требования к окружающей среде/инфраструктуре; автономность каждого элемента; высокая живучесть всей сети в целом; минимизация человеческого фактора; минимальная ресурсоемкость; повышенная надежность передачи данных; отличное соотношение стоимостных и функциональных характеристик решения.

Передача данных к устройствам сопряжения соседних объектов контроля и управления и/или на *верхний уровень* осуществляется устройством сопряжения по беспроводному каналу (сети) передачи данных. Каждый узел сенсорной сети содержит различные сенсоры для контроля среды, микрокомпьютер и радиоприемопередатчик. Это позволяет устройствам проводить измерения и ретранслировать полученные данные по сети в центр обработки информации.

Объединенные в беспроводную сенсорную сеть датчики образуют распределенную самоорганизующуюся систему сбора, обработки и передачи информации. Основная область применения – контроль и мониторинг измеряемых параметров различных физических полей, сред и объектов.

Достоинства систем на основе сенсорных сетей:

- возможность расположения в труднодоступных местах, куда сложно и дорого тянуть обыкновенные проводные решения;
- оперативность и удобство развертывания и обслуживания системы;
- надежность сети в целом – в случае выхода из строя одного из элементов, информация передается через соседние;
- возможность добавления или исключения любого количества устройств из сети;
- высокий уровень проникновения сквозь препятствия (стены, потолки) и стойкость к электромагнитным помехам (благодаря высокой частоте работы системы – 2,4 ГГц);
- длительное время работы без замены элементов питания.

Сенсорная сеть обладает способностью к ретрансляции сообщений по цепочке от одного к другому, что позволяет в случае выхода из строя одного из узлов организовать передачу информации через соседние узлы без потери качества. Собственно сеть определяет оптимальный маршрут движения информационных потоков.

**Заключение.** Использование сенсорных систем, рассмотренное в статье, является перспективным направлением в области современного управления. Применение их как самоорганизующихся систем наблюдения и управления рас-

пределенными процессами обеспечат широкое применение в производстве, энергетике, транспорте, медицине, обучении.

Большее число точек измерения позволит повысить производительность труда, повысить эффективность управления запасами, сократить объем работ по техобслуживанию и способствовать оптимизации производительности предприятия в целом. И немаловажно – обеспечивать экономию затрат. Расходы на установку беспроводного соединения составляют небольшую часть обычных затрат на монтаж, обеспечивая значительную экономию в сравнении с традиционными проводными точками установки.

1. Гриценко В.И., Тимашова Л.А. «Умное предприятие» как базовый объект цифровой экономики // УСиМ. – 2016. – № 5. – С. 54–66.
2. *International standard ISO/IEC 20005:2013(E). Information technology – Sensor networks – Services and interfaces supporting collaborative information processing in intelligent sensor networks.* 2013. – 44 с.
3. Гриценко В.И., Урсатьев А.А. Распределенные информационные системы широкого применения. Концепция. Опыт разработки и внедрения. – К.: Наук. думка, 2005. – 317 с.
4. <http://www.forbes.com/sites/sap/2012/08/07/a-revolution-in-production/#4237b7a51000>

Поступила 08.02.2017  
Тел. для справок: +38 044 526-1319 (Киев)  
E-mail: [dep190@irtc.org.ua](mailto:dep190@irtc.org.ua)  
© В.И. Гриценко, Л.А. Тимашова, 2017

UDC 62-503

V.I. Gritsenko, L.A. Timashova

## **Intelligent Sensor Systems is a Technical Basis for the Digital Economy of the Smart Enterprise**

Using the Intelligent Sensor Systems as a technical basis for the Smart enterprise in the digital economy one of the problem how to create new intelligent technologies is solved. These new intelligent technologies turn out to be the most constructive and economically sound when developing modern digital automated management systems.

For managerial decision-making based on the integration of the upper and lower level's systems (Enterprise Resource Planning (ERP) and the Automated Control System of the Technological Process (ACS TP) the solutions are found to solve both the problem of the additional information processing in the data system using the certain method and the problem of the ways for their delivery and visualization. The necessity to create the intermediary soft hardware that will integrate ERP and ACS TP is substantiated. The ways how to do it are suggested.

1. Gritsenko V.I., Timashova L.A. «Umnoe predpriyatie» kak bazovyy ob'ekt tsifrovoy ekonomiki». Upr. sist. mas., 2016, N 5, P. 54–66 (In Russian).
2. *International standard ISO/IEC 20005:2013(E). Information technology – Sensor networks – Services and interfaces supporting collaborative information processing in intelligent sensor networks,* 44 p.
3. Gritsenko V.I., Ursat'ev A.A. *Raspredelennyye informatsionnyye sistemyi shirokogo primeneniya. Kontseptsiya. Opyit razrabotki i vnedreniya,* K.: Nauk.dumka, 2005, 317 p (In Russian).
4. <http://www.forbes.com/sites/sap/2012/08/07/a-revolution-in-production/#4237b7a51000>.