

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сисюк Г.В., Родькин Д.И., Королев Ю.Г. К вопросу об идентификации параметров тиристорных электроприводов постоянного тока на основе моделей энергообразования // Проблемы создания новых машин и технологий: Науч. тр. КГПИ. – Кременчуг, 1999. – Т. 2. – С. 47–50.
2. Родькин Д.И., Хараджян А.А., Михайлов С.В. Диагностика параметров двигателя постоянного тока при испытаниях // Проблемы создания новых машин и технологий: Науч. тр. КГПИ. – Кременчуг, 1998. – Т. 1. – С. 10–13.
3. Орловский И.А. Определение параметров привода постоянного тока в режиме ограничения тока якоря // Электротехника и электроэнергетика. – 2002. – № 1. – С. 63–66.
4. Baruch I.S., Garrido R., Flores J.M. A fuzzy neural recurrent multi-model for systems identification and control // Proc. of European Control Conf. – Porto, 2001. – P. 3540–3545.
5. Хорьков К.А., Хорьков А.К. Электромеханические системы. Элементы канала управления. – Томск: Томский гос. ун-т, 2001. – 396 с.
6. Hewit J.R. Disturbance cancellation control // Proc. of Intern. Conf. on Mechatronics. – Ankara, 1996. – P. 135–143.
7. Hewit J.R., Burdess J.S. An active method for the control of mechanical system in the presence of unmeasurable forcing // Mechanism and Machine Theory. – 1981. – V. 16. – № 5. – P. 535–542.
8. Гончаров В.И. Вещественный интерполяционный метод синтеза систем автоматического управления. – Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 108 с.

Поступила 22.04.2009 г.

УДК 658.512.02

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Т.В. Александрова, Ю.Л. Бикинеева*, Е.И. Громаков, В.М. Павлов, А.М. Малышенко

Институт «Кибернетический центр» ТПУ
*ЗАО «Томский кабельный завод», г. Томск
E-mail: mam@tpu.ru

Рассмотрены вопросы программно-алгоритмического построения интегрированной системы управления производством кабельной продукции. Для управления таким производством предложено функциональное и программно-техническое обеспечение автоматизированных рабочих мест и сервисов их информационного обеспечения.

Ключевые слова:

Автоматизированные системы управления, SCADA, MES, кабельное производство, автоматизированное рабочее место, интегрированные системы управления.

Введение

В настоящее время на предприятиях кабельной промышленности задача повышения эффективности производства без интегрированной автоматизации технологических и производственных процессов не может быть решена. В основе такой автоматизации лежат современные информационные технологии (ИТ) – SCADA, MES и ERP, обеспечивающие в реальном масштабе времени (в режиме «*on line*») автоматизированные рабочие места (АРМ) мастеров кабельного производства, технолога, диспетчера по обслуживанию оборудования и других менеджеров (руководителей) необходимой технологической и производственной информацией, достаточной для принятия решений при централизованном управлении производственным процессом, технологическим оборудованием и решения задач оперативного планирования производства.

Известные решения, в частности, «лоскутная интеграция», реализуемая на основе различных программно-технических систем ИТ-технологий часто сводится к необходимости ввода большого объема данных вручную с использованием консолей или клавиатуры персонального компьютера (ПК). Ми-

нусы такого подхода очевидны: низкая оперативность, высокая вероятность случайных и преднамеренных ошибок. Внедрение интегрированной системы управления (ИСУ) обеспечивает синхронизацию всех жизненно важных бизнес процессов предприятия с использованием современных информационных технологий. В результате интеграции, слияния отдельных подсистем автоматизации в единую систему формируется известный системный эффект синергетики, который и является источником повышения эффективности производства.

Постановка задачи

Для более эффективного ИТ-управления производством кабельной продукции предлагается реализовать программно- аппаратную интеграцию уровней SCADA и MES-систем. При этом на систему SCADA возлагается не столько функция управления технологическим процессом, сколько функции регистрации технологических событий, учета готовой продукции и полуфабрикатов, обработки полученной информации, ее хранения и предоставления данных для электронных документов на АРМ специалистов.

Методология

Технологический цикл изготовления так называемой «медной» продукции кабельного производства можно разделить на несколько основных процессов: производство проволоки для токопроводящих жил; скрутка жилы, наложение изоляции; оболочки и защитных покровов. Кроме того, для изготовления многожильных кабелей используется технология скрутки изолированных жил в кабель. Трудности планирования согласованной работы большого числа разнообразного оборудования ведет к вынужденным простоям, которые часто связаны с его неготовностью для производства.

Процесс изготовления сопровождается большой номенклатурой конечной продукции и полуфабрикатов. Полуфабрикаты обычно временно складываются на цеховых площадках. При последующем оперативном планировании производства окончательной продукции возникают трудности с их отбором, предъявлением и формированием производственно-сбалансированных заданий для рабочих центров. Поэтому для повышения эффективности управления необходимы получение оперативных фактических данных об остатках незавершенного производства, о состоянии оборудования, обработка этих данных и передача результатов на АРМ для формирования заданий.

Представленная на рис. 1 интегрированная система автоматизации реализуется в виде распределенной системы, выделенными уровнями управления которой являются:

- нижний – датчики учета весо-идентификационных параметров материалов и продукции, пульта технологических линий (экструзионных линий, волочильных станков, машин кручения, машин бронеобмоточных и прочих рабочих центров);
- средний – устройства коммуникации рабочих центров и локальной вычислительной сети;
- SCADA – АРМ руководителя кабельного цеха; старшего мастера; технолога; диспетчера по обслуживанию оборудования, менеджера-логиста;
- MES – АРМ планирования производства, логистической обработки производственных задач, подготовки заданий, отчетности и др.

При реализации планирования заданий в ИСУ центральной является задача оперативного учета на цеховом уровне продукции, материалов и полуфабрикатов.

Вариантами решения являются технологии автоматизации маркирования кабельной продукции с использованием штрих-кодирования или RFID [1]. Использование маркировок кабельной продукции позволяет решить, по крайней мере, две проблемы: увеличить скорость и повысить достоверность предъявления информационной системе фактических данных об исходной продукции и материалах.

Предварительная оценка затрат на автоматическое считывание радиочастотных меток указывает на предпочтительность применения штрих-кодов.

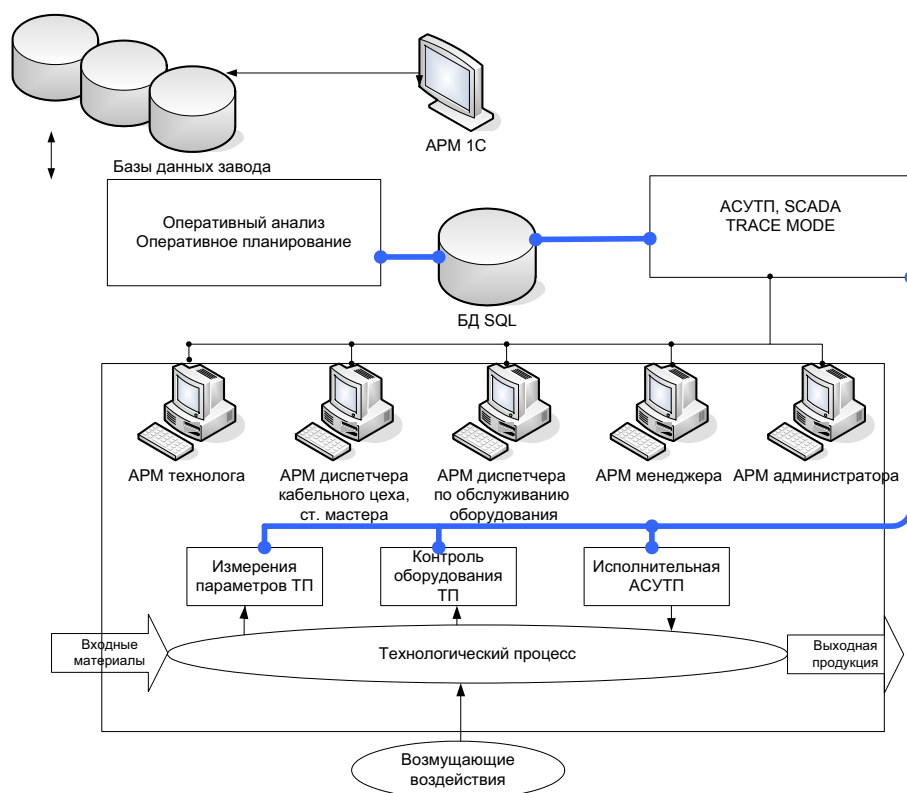


Рис. 1. Интегрированная система автоматизации

Штрих-кодирование позволяет маркировать изделия биркой, в которой кроме номера можно внести другую полезную информацию, необходимую для производства. Она может быть напечатана обычным шрифтом и прочитана глазами. Это наряду с более низкой ценой в настоящий момент отличает маркировку штрих-кодами от радиочастотной маркировки (RFID).

Реализация

Оперативный анализ выполнения производственной программы осуществляется в MES-системе, в то время как оперативный сбор производственной информации реализуется средствами SCADA. В качестве последней можно использовать программную систему TRACE MODE. Как следует из рис. 1, взаимодействие между этими подсистемами осуществляется через базы данных. Монитор реального времени SCADA системы TRACE MODE способен сохранять данные в локальной базе данных реального времени SIAD. Эта база данных имеет очень простую, неизменяемую структуру. Регистрация в SIAD ведется бинарными записями фиксированной длины, в которых сохраняется значение канала, время изменения с точностью до 1 мс, идентификаторы канала и сохраняемого атрибута. SIAD используется для хранения внутренних данных АСУ ТП.

Для организации взаимодействия АСУ ТП с системами планирования и управления предприятием более удобно использовать прямые обращения SCADA системы к внешней базе данных, которая одновременно может использоваться системой управления предприятием в целом. Для решения этой задачи следует воспользоваться поддержкой языка SQL в TRACE MODE. Основное требование при этом – наличие ODBC поддержки драйвера для внешней базы данных, реализованного с использованием формальных спецификаций для API, описывающих доступ клиента/сервера к реляционным и нереляционным базам и системам управления базами данных (DBMS) независимо от поставщиков продуктов. Практически все известные СУБД имеют ODBC интерфейс, в том числе Access, SQL Server, Foxpro, Oracle и т. п.

Кроме того, TRACE MODE может использовать возможности ОС Windows для прямого подключения к некоторым распространенным форматам файлов, в которых хранятся таблицы базы данных, например *.dbf, *.mdb. Все эти методологические сервисы необходимы для реализации эффективной работы АРМ специалистов.

Действия по управлению производственными операциями могут быть разделены на четыре вида: связанные с производством, техобслуживанием, логистикой и управлением запасами. Использование этой сегментации позволяет разделить алгоритмическое обеспечение интегрированной системы управления на следующие группы.

1. Косвенное измерение технологических параметров рабочих центров (SCADA-вычисление). В частности, по числу импульсов кодировщика и времени их оценки осуществляется косвенное измерение длины и линейной скорости линии; по результатам прямых измерений длины и/или скорости измеряются производственные параметры, связанные с объемными характеристиками на бобиных и катушках.
2. Статистическая обработка результатов измерения (оценка качества продукции, диагностирование состояния технологического процесса).
3. Учетное алгоритмическое обеспечение (учетные измерения, связанные с объемными и весовыми характеристиками материалов, полуфабрикатов и готовой продукции на бобиных и катушках).
4. MES-обработка SCADA информации (оперативное планирование производства, подготовка сменных заданий и отчетов).

Производство продукции осуществляется в соответствии с планами производства, составляемыми на уровне бизнес-систем логистики (АРМ 1С), которые затем спускаются на производство, где по ним составляются детальные графики производства, содержащие рабочие производственные задания, определяющие по времени действия и учитывающие по возможности события, возникающие при их выполнении. Часть информации, поступающей ниже на уровень 2, определяется заданиями и требованиями по выполнению технологических процессов. Данные о состоянии оборудования и технологических процессов поступают в модуль контроля и анализа эффективности производства.

Представленная на рис. 2 инфологическая модель базы данных учета дает ясное представление об атрибутом составе основных сущностей процесса учета и их отношениях между собой. Основными задачами оперативного учета и управления кабельным производством являются:

- ведение базовых справочников учетной системы;
- формирование и ведение данных об учитываемой номенклатуре кабельной продукции ERP/MES-система (Product, WorkCenter, Operator);
- оперативный учет в производстве материалов, полуфабрикатов и готовой продукции на бобиных и катушках (Product on Coil);
- оперативный учет в производстве номерных технологических бобин и катушек (Coil);
- ведение данных о движении и передачах готовой продукции и полуфабрикатов;
- учет брака в производстве;
- расчет баланса производственных подразделений;
- формирование отчетов о фактическом выпуске продукции подразделениями предприятия и о незавершенном производстве;

- анализ выполнения плановых заданий рабочими центрами предприятия;
- расчет баланса производственного подразделения.

При формировании цеховой номенклатуры в подсистеме учета кабельного производства различают номерную продукцию, полуфабрикат, материал и неномерную продукцию. Номерная продукция, полуфабрикаты, материалы становятся таковыми в результате их связывания с номерной номенклатурой технологических бобин, катушек. Учет неномерных материалов в производстве ведется в составе продукции.

При движении продукции по технологическим маршрутам используют следующие типы (состояния) номерной продукции, именуемой катушками/бобинами: провода для волочения; жилы; скрученного провода; изолированной жилы; с кабелем без брони; с кабелем в брони; с готовой продукцией; с давальческой продукцией; приемника; отдатчика; заполненными; частично заполненными; пустыми; назначенными к обнулению.

Благодаря этому дискретность учета в интегрированной системе управления может быть установлена с точностью до цеха, участка, вида работ или технологической операции в соответствии с маршрутной картой изделия.

Информационная подсистема учета должна обеспечивать прозрачность движения номенклатурных единиц между производственными и складскими подразделениями. Поэтому в системе учета необходимо использовать механизм подтверждения прихода партий материалов и комплектующих, предусмотреть возможность списания элементов состава продукции, изготовленной в цехе при ее межцеховой передаче. Элементы для списа-

ния вычисляются автоматически на основе анализа совокупности технологических маршрутов.

На основании учетных данных в ИСУ могут формироваться различные отчеты о фактическом выпуске продукции. Отчеты могут быть сформированы по всем типам учетных операций, используемых в системе. Все отчеты строятся по принципу *drill-down*, т. е. из итогового значения о движении номенклатуры можно последовательно «спуститься» до движения конкретной партии изделий.

С использованием данных о рассчитанных планах строятся отчеты о необходимых ресурсах с учетом незавершенного производства.

Событийной информацией на технологических линиях и рабочих центрах являются:

1. «Пуск-стоп» оборудования.
2. «Авария-не авария» оборудования.
3. «Выполнение-невыполнение плана» метража продукции.
4. Технологическое событие (обрыв, прогар и др.).

Для статистической обработки результатов процессов кабельного производства многими поставщиками автоматизированных рабочих центров используются контрольные карты Шухарта [2]. Пока результаты производственного процесса остаются в пределах 3σ -границ на карте и варьируются относительно средней линии случайным образом, можно говорить о *стабильности* процесса. Если в текущих данных проявляется некоторая «необычная структура», то ее следует воспринимать как индикатор особой причины. Эти карты очень редко формируют ложный сигнал. Для конкретных технологических процессов могут быть установлены свои правила интерпретации контрольных карт.

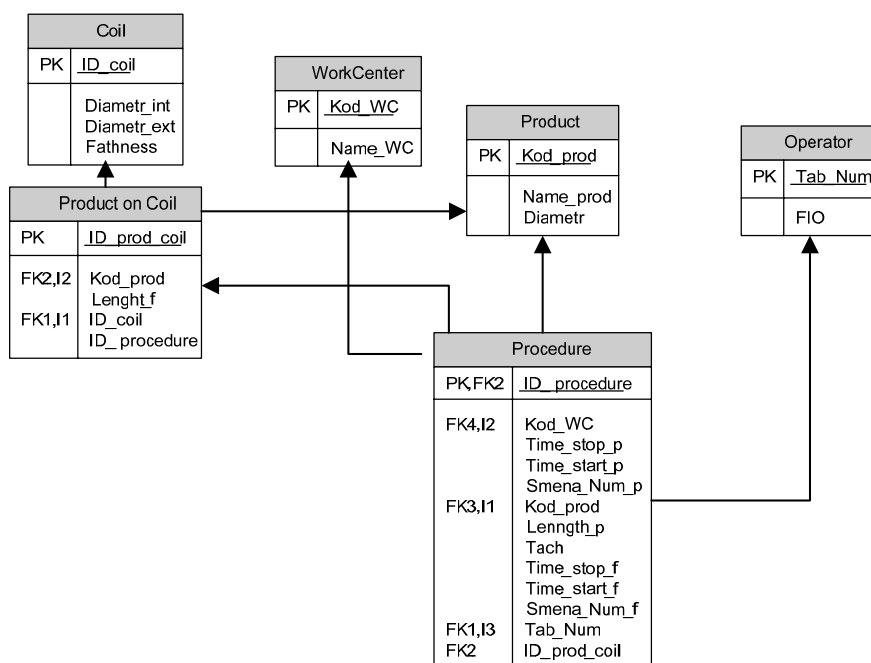


Рис. 2. Инфологическая модель учета кабельной продукции

Правила интерпретации контрольных карт Шухарта для большей части технологических процессов кабельного производства можно представить в следующем виде:

$$F_1(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \exists j < i \mid |y(x_j)| \notin (-3\sigma, 3\sigma), \\ 0, & \text{if } \forall j < i \mid |y(x_j)| \in (-3\sigma, 3\sigma); \end{cases}$$

$$F_2(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \forall j \in (i, i-2) \mid |y(x_j)| \in (2\sigma, 3\sigma), \\ 0, & \text{if } \exists j \in (i, i-2) \mid |y(x_j)| \notin (2\sigma, 3\sigma); \end{cases}$$

$$F_3(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \forall j \in (i, i-4) \mid y(x_j) \in (1\sigma, 2\sigma), \\ 1, & \text{if } \forall j \in (i, i-4) \mid y(x_j) \in (-1\sigma, -2\sigma), \\ 0, & \text{if } \exists j \in (i, i-4) \mid |y(x_j)| \notin (1\sigma, 2\sigma), \\ 0, & \text{if } \exists j \in (i, i-4) \mid \text{sgn}(y(x_j)) \neq \text{sgn}(y(x_i)); \end{cases}$$

$$F_4(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \forall j \in (i, i-7) \mid \text{sgn}(y(x_j)) = \text{sgn}(y(x_i)), \\ 0, & \text{if } \exists j \in (i, i-7) \mid \text{sgn}(y(x_j)) \neq \text{sgn}(y(x_i)), \end{cases}$$

где i – номер текущей точки; $F_1(i)$, $F_2(i)$, $F_3(i)$, $F_4(i)$ – соответственно, «выход одной точки за границы 3σ », «две из трех последовательных точек, лежащих по одну сторону от средней линии, находятся в зоне 3σ », «четыре из пяти последовательных точек, лежащих по одну сторону от средней линии, находятся в зоне 2σ », «семь точек по одну сторону от средней линии»; $y(x_i)$ – значение x_i точки контрольной карты; σ , 2σ , 3σ – зоны контрольной карты.

Использованная методология построения интегрированной системы управления производством кабельной продукции позволяет реализовать следующую функциональность АРМ.

АРМ старшего мастера

1. Мониторинг выполнения технологических операций (представление на экране схем рабочих центров с текущими значениями технологических параметров).
2. Отслеживание выполнения заказов, объемов, партий (предоставление для просмотра протоколов нарушений).
3. Подключение справочников из корпоративной информационной системы.
4. Поддержка и визуализация заявок на производство продукции.
5. Архивирование технологических и расчетных параметров, событий и действий операторов.
6. Представление оперативному персоналу данных о выполнении сменных заданий и о состоянии оборудования.
7. Обеспечение контроля действий оперативного и обслуживающего персонала.
8. Подготовка отчетов об учете цеховой продукции, полуфабрикатов и исходного материала и о фактическом использовании оборудования (первичная отчетность).

АРМ руководителя производства кабельного цеха

1. Отслеживание выполнения заказов, объемов, партий. Обеспечение просмотра протоколов нарушений.
2. Предоставление возможности контроля в реальном времени выполнения работ в соответствии с планом.
3. Отслеживание занятости оборудования. Отображение состояния технологического оборудования и всего комплекса аппаратных средств ПТК.
4. Формирование отчетной документации на основании данных, собираемых технологическим комплексом в виде:
 - сводного сменного отчета о работе производства (обобщенных данных о работе цеха или участка за смену, о почасовой выработке продукции, об объеме произведенной продукции за смену, от начала декады, от начала месяца);
 - отчетов о закрытых нарядах;
 - отчетов об интенсивности использования оборудования (производительности);
 - отчетов о простоях оборудования;
 - расчетов таксировок по работе каждой машине и технологического механизма (данный отчет выполняется в конце отчетных периодов).
5. Представление данных измерений о качестве продукции, в том числе и в режиме реального времени, собранных с производственного уровня.

АРМ технолога

1. Мониторинг информации о ходе технологического процесса и данных по качеству продукции.
2. Оповещение об аварийных, нестандартных и штатных событиях, происходящих в системе.
3. Отображение состояния и занятости технологического оборудования и всего комплекса аппаратных средств ПТК.
4. Коррекция настроечных параметров задач (параметров настройки автоматических регуляторов, уставок аналоговых параметров и др.).
5. Мониторинг справочников.
6. Отслеживание истории продукта.

АРМ диспетчера по обслуживанию оборудования

1. Отображение состояния технологического оборудования и всего комплекса аппаратных средств ПТК.
2. Отслеживание наработки оборудования.
3. Отображение графика ремонтов. Формирование заданий на ремонт. Контроль в реальном времени выполнения ремонтных работ в соответствии с планом.
4. Отслеживание аварийных ситуаций в технологическом процессе.

АРМ менеджера-логиста

1. Поддержка и визуализация заявок на производство продукции.
2. Контроль производственной логистики:
 - отслеживание графика изготовления продукции по каждому контракту;
 - контроль номенклатуры и объемов полуфабрикатной продукции в незавершенном производстве;
 - контроль планирования и отслеживание выполнения планов по производству.

Функции управления на этих АРМ поддерживаются сервисами интегрированной системы управления, реализованными в виде подсистем.

Подсистема ведения нормативно-справочной информации обеспечивает ведение справочника:

- выпускаемой продукции и групп выпускаемой продукции;
- полуфабрикатов и групп полуфабрикатов;
- сырья и видов сырья;
- технологических операций и групп технологических операций;
- оборудования;
- технологических процессов производства;
- спецификаций производимых изделий с указанием количества потребляемых исходных материалов и полуфабрикатов и получаемых продуктов, времени выполнения операций, используемого оборудования;
- переналадки оборудования (матрица переналадок).

Подсистема взаимодействия со смежными информационными системами обеспечивает импорт информации:

- о спецификации изделий;
- о заказах на производство продукции;
- об оборудовании;
- о номенклатуре производства;
- о доступных остатках исходных материалов;
- об операциях;
- о незавершенном производстве.

Подсистема управления производством обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- выполнение объемного планирования производства, в том числе: расчет необходимого ко-

личества сырья и вспомогательных материалов, необходимых для выполнения всех заказов, входящих в портфель заказов;

- расчет планового фонда работ для каждой единицы оборудования, поддержка принятия решений о возможности выполнения всех заказов, входящих в портфель, в установленные сроки;

Подсистема календарного планирования производства обеспечивает:

- расчет оптимизированного календарного плана производства в соответствии с выбранными правилами предпочтения;
- редактирование календарного плана производства, редактирование партий запуска с возможностью автоматического пересчета календарного плана производства;
- печать графика загрузки оборудования с указанием технологических операций, выполняемых в каждый момент времени;
- печать графика перемещения полуфабрикатов между единицами оборудования.

Заключение

Интегрированная система управления кабельным производством, включающая SCADA-систему для сбора оперативной технологической и учетной информации и компоненты MES-системы, предназначенные для управления производственными процессами, обеспечивает производителей и технологов кабельного предприятия фактической информацией и достаточной сервисной поддержкой управленческих действий. При внедрении системы достигается:

- сбор, обработка и систематизация данных измерений и учета продукции с предоставлением данных для дальнейшего анализа, в частности, в ИС-систему;
- оперативный контроль технологических линий на основании укрупненной и логически обработанной информации;
- обеспечение операторов и мастеров детальной информацией, необходимой при принятии решений по изменению режимов работы;
- обеспечение руководства и эксплуатационного персонала достоверной и полноценной оперативной информацией о параметрах технологических процессов, состоянии технологических установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров М. Технология RFID – радиочастотная идентификация. Опыт использования и перспективные направления // Компоненты и технологии. – 2005. – № 9. – С. 6–8.
2. ГОСТ Р 51814.3-2001. Системы качества в автомобилестроении. Методы статистического управления процессами. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 33 с.

Поступила 22.04.2009 г.