

УДК 004.896

А.В. КОТЛЯРОВ<sup>1</sup>, В.А. ПОПОВ<sup>2</sup><sup>1</sup> *ОАО «АО НИИ радиотехнических измерений», Украина*<sup>2</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## АНАЛИЗ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Проведен анализ систем оперативного управления производством, которые ориентированы на информатизацию задач оперативного планирования и управления производством, оптимизацию производственных процессов и производственных ресурсов, контроль и диспетчеризацию выполнения планов производства с минимизацией затрат. Применена теоретико-множественная модель для первичной формализации разрабатываемого предприятия.

**система оперативного управления производством, интегрированная система управления предприятием, АСУ производства, АСУ технологических процессов, Enterprise Resource Planning, Manufacturing Resources Planning, Manufacturing Execution Systems**

### Введение и постановка задачи

На производственном уровне в настоящее время доминирует "лоскутная", "островная" автоматизация. Здесь отсутствует единая информационная среда, которая смогла бы стать основой системы оперативного учета и управления ресурсами производства на уровне участка, цеха и предприятия в целом. В то время как на административно-хозяйственном уровне в рамках системы планирования ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP) осуществляется учет каждой финансовой операции и каждого документа, на уровне производства подобного детального контроля не обеспечивается. А ведь именно на этом уровне рождается прибавочная стоимость, осуществляются основные затраты и скрыты главные источники экономии, обеспечиваются производственный план и нужное качество продукции, а также работают многие другие факторы, определяющие эффективность и рентабельность предприятия. Таким образом, из контура автоматизированного контроля и управления предприятием выпадает основное звено – производство.

Если посмотреть на производство со стороны ERP, то производство в плане контроля, мониторинга и управления представляет собой "черный ящик". Его внутренние процессы информационно и логически не взаимосвязаны и не синхронизированы по

времени с процессами административно-хозяйственной и финансовой деятельности предприятия в целом. При таком подходе к производству получается, что основная задача АСУ производства (АСУП) – своевременно обеспечить поставки сырья и комплектующих, задать производственный план, подготовить склад и отдел сбыта к отгрузке, а затем пассивно ждать появления готовой продукции [1, 2].

При этом руководители производства всех уровней вначале докладывают о том, что план будет выполнен, к середине планового срока начинают говорить о неожиданно возникших проблемах, а в конце срока заявляют директору, что план вообще не может быть выполнен, так как производственные фонды изношены, автоматизация слабая, основная часть станков на непредвиденном ремонте, пресовщик не вышел на работу и т.д. Это происходит не потому, что руководители производства плохие организаторы и неумелые менеджеры, а по той причине, что для решения данных проблем необходима система оперативного управления производственными процессами с учетом фактической ситуации, которая подвержена значительным и быстрым изменениям. Без такой системы, даже при внедренной ERP-системе, задачи управления производством приходится решать посредством интуиции и всевозможных указаний подчиненным (рис. 1).

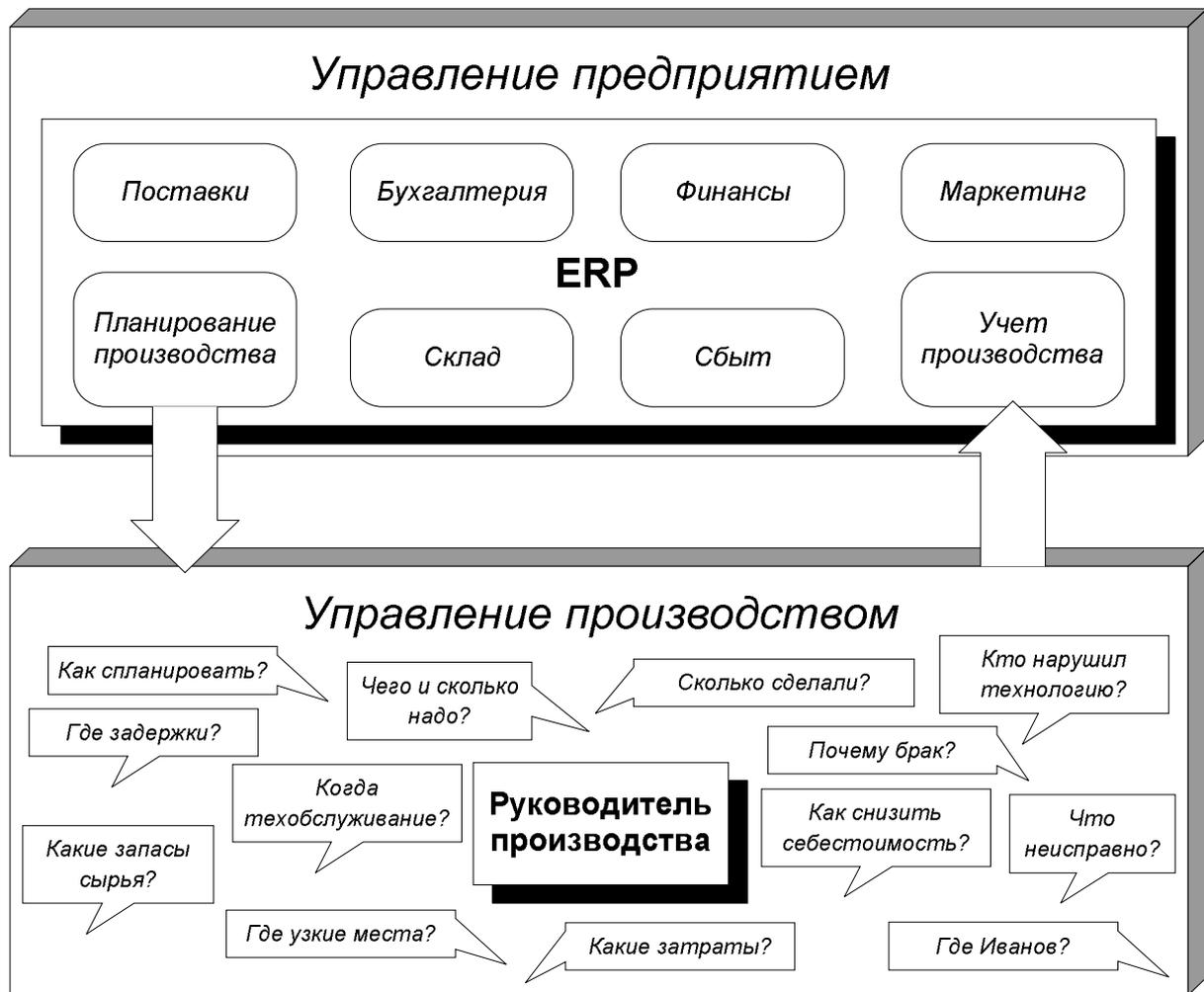


Рис. 1. Взаимодействие системы управления предприятием и системы управления производством

Чтобы процесс производства стал контролируемым и управляемым, нужно решить, по крайней мере, две задачи. Во-первых, необходимо создать систему измерения, обеспечивающую объективный и оперативный контроль текущего состояния технологических и производственных процессов и имеющихся в распоряжении производственных ресурсов. Во-вторых, следует найти адекватный инструмент управления производственными процессами и ресурсами. Для высокой эффективности управления производством необходимо обеспечить соответствующее качество выбранных средств измерения, управления и производственной информации, адекватность системы управления целевой функции управления и качество управленческих решений. В большинстве реализованных проектов, связанных с

созданием интегрированных систем управления промышленными предприятиями в СНГ, существует ряд функций, не обеспечиваемых ни классом ERP, ни классом АСУ технологическими процессами (АСУТП).

На условной модели предприятия (рис. 2) показано, что в большинстве своем ERP-системы не обеспечивают оперативного управления производством, ограничиваясь стратегическим планированием. Это предопределяет существование значительного функционального разрыва между уровнем ERP и уровнем АСУТП. В этом не охваченном информационными технологиями (ИТ) пространстве оперативного управления производством находятся жизненно важные для предприятия производственные процессы, создающие прибавочную стоимость и

оказывающие значимое влияние на эффективность предприятия в целом [3, 4]. В формальном виде это можно выразить так:  $ERP \cap АСУТП = 0$ .

В данной работе проводится анализ взаимосвязи ERP и MES-систем, оказывающих информационную поддержку верхнему и среднему уровням производства.

### **Анализ производственной исполнительской системы**

Для решения данного класса задач ранее использовались АСУ производственных процессов (АСУПП). На сегодняшний день эти задачи решаются с помощью производственных исполнительских систем (Manufacturing Execution Systems, MES), которые ориентированы на информатизацию задач оперативного планирования и управления производством, на оптимизацию производственных процессов и производственных ресурсов, на контроль и диспетчеризацию выполнения планов производства с минимизацией затрат.

Функции, реализуемые в MES-системах, аналогичны методам управления в ERP-системах, но только в иных временных масштабах и с другими объектами контроля и управления. MES – это автоматизированная исполнительская система производственного уровня, предоставляющая ряд возможностей, которые дополняют и расширяют функции ERP-систем. Используя фактические технологические данные, MES-системы поддерживают всю производственную деятельность предприятия в режиме реального времени. Быстрый результативный отклик на изменяющиеся условия и ориентация на снижение издержек помогают эффективно управлять производственными операциями и процессами.

В отличие от MRP (Material Requirements Planning), MES обеспечивает более реалистичную модель производственного процесса с повышенной разрешающей способностью (часы и минуты) за счет реальной оценки потребности необходимых

для производства ресурсов. Это достигается путем точного определения действительного времени выполнения всех производственных операций. При таком планировании становится возможным определить реальные пролеживания и заделы на операциях, повышается точность учета незавершенного производства и запасов. Точное моделирование пропускной способности рабочих центров на реальных временных данных позволяет проводить постоянное уточнение модели всего производственного процесса для получения реальных календарных планов. Таким образом, расширяя и дополняя классический MRPII (Manufacturing Resources Planning), MES синхронизирует планирование уровня предприятия с реальным ходом производственного процесса, позволяя максимально точно управлять производственными ресурсами. Другими словами, MES является расширением и "свежим" взглядом на функцию "Shop Now Control" (оперативное внутрицеховое управление) стандарта MRP II.

Кроме того, MES-системы формируют данные о текущих производственных показателях, необходимые для функционирования ERP-систем. Таким образом, MES-система – это связующее звено между ориентированными на финансово-хозяйственные операции ERP-системами и оперативной производственной деятельностью предприятия на уровне цеха, участка или производственной линии [5].

Рассмотрим основную группу функций MES, согласно классификации международной ассоциации MESA:

1. Контроль состояния и распределение ресурсов (RA&S) – резервирование необходимых мощностей, материалов и прочих ресурсов.
2. Диспетчеризация производства (DP) – обеспечение последовательности выполнения работ.
3. Сбор и хранение данных (DC&A) – накопление операционных производственных данных и данных об оборудовании. Данные могут вводиться вручную или импортироваться из АСУТП.

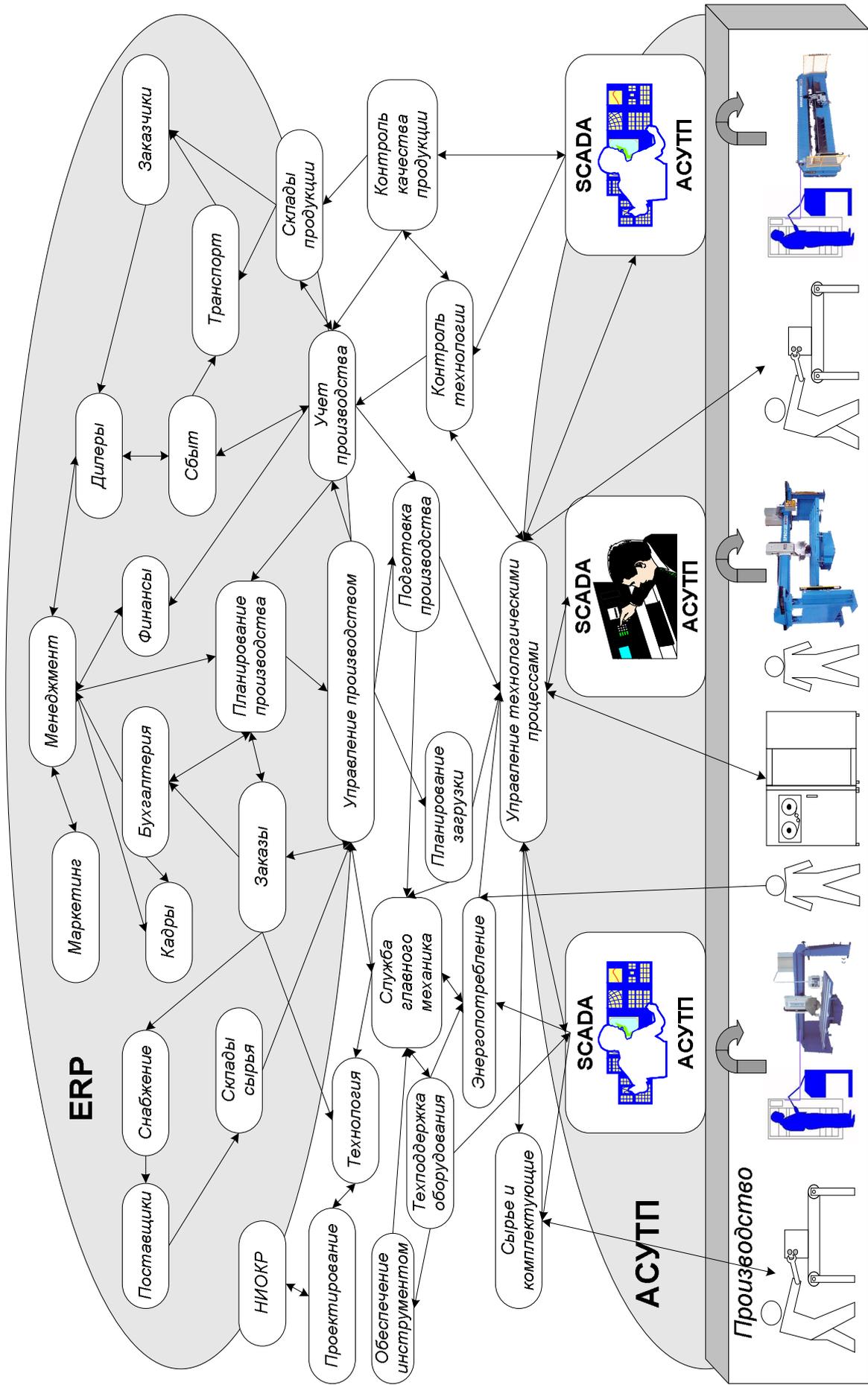


Рис. 2. Функциональный разрыв между ERP и АСУТТ

4. Управление качеством продукции (QM) – сбор в режиме реального времени производственных данных о качестве.

5. Управление производственными процессами (PM) – мониторинг производственного процесса с выдачей рекомендаций персоналу.

6. Планирование и сопровождения производства (PP&T) – информация о состоянии производства и работ.

7. Анализ производительности (PA) – отчеты о выполнении операций, коэффициенты использования ресурсов.

8. Составление подетального календарного графика (Q&DS) – операционное планирование, основанное на приоритетах и очередях, расчет точного времени загрузки/выгрузки оборудования внутри смены.

9. Управление документами (DC) – контроль прохождения организационно-технической документации.

10. Управление персоналом (LM) – табель работ, учет по нарядам.

11. Управление производственными фондами и техобслуживание (MM) – планирование планово-предупредительных ремонтов (ППР), мониторинг технического состояния.

Если модель современного разрабатывающего предприятия (РП) представить в виде пирамиды, то в ней можно выделить, по меньшей мере, четыре уровня, функционирование которых обеспечивается производственными и ИТ (рис. 3).

Основанием, первым уровнем, является производство; на втором осуществляется конструкторско-технологическая подготовка производства; третий уровень составляют службы управления проектами и предприятием в целом, а на верхнем, четвертом уровне определяется стратегия развития предприятия. Продолжая аналогию с пирамидой, можно утверждать, что если все уровни предприятия пропорционально развиты и тесно взаимосвязаны, то его

конструкция устойчива и оно может успешно осуществлять свой бизнес.

Укрупнив данное представление (объединив два верхних и два нижних уровня), получаем управленческий и производственный уровни предприятия.

В общем виде интегрированную систему управления предприятием (ИСУП) ( $S$ ) можно представить как совокупность отдельных подсистем:

$$S_i \in S; \bigcup_i S_i = S,$$

где  $S_i$  – система управления (СУ)  $i$ -го уровня;  $\bigcup$  – знак объединения (интеграции) СУ.

Применительно к рис. 3 получаем  $S = S_1 \cup S_2$ , где  $S_1$  – СУ управленческого уровня;  $S_2$  – СУ производственного уровня.

Каждая из СУ  $S_i$  может иметь несколько подсистем управления  $\bigcup_j S_{ij} = S_i$ .

### Пример производственного уровня разрабатывающего предприятия

Практическая реализация производственного уровня разрабатывающего предприятия (подготовка производства и собственно производство) показаны на рис. 4 и 5.

Ядром комплексной автоматизированной системы проектирования и изготовления (КАСПИ) изделий на данном РП является система Lotsia PDM Plus. В электронном архиве (ЭА) Lotsia PDM Plus хранится вся конструкторско-технологическая документация на разрабатываемые на предприятии изделия.

Разработка технологической документации производится в системе автоматизированного проектирования (САПР) КОМПАС-Автопроект. Вся разработанная документация хранится в системе управления базами данных (СУБД) Interbase. InterBase – СУ реляционными БД, поставляемая корпорацией BORLAND для построения приложений с архитектурой "клиент-сервер" произвольного масштаба. В

дальнейшем планируется всю разработанную технологическую документацию хранить в ЭА Lotsia PDM Plus, которая работает под MS SQL.

Разработка библиотек электрических радиоэлементов (ЭРЭ) выполняется в САПР PCAD 2002. Схемное и конструкторское проектирование происходит в PCAD 2002, КОМПАС-3D, Solidworks, Autodesk Inventor Pro. Файлы, разработанные в Solidworks, переводятся в формат КОМПАС-3D для передачи данных на следующий этап – подготовки производства и выпуска управляющих программ (УП).

При разработке новых изделий, в большинстве случаев, в качестве аналога используются имеющиеся разработки, хранящиеся в ЭА Lotsia PDM Plus. Также, производя схемное и конструкторское проектирование, разработчики используют в процессе работы информацию из баз данных (БД) библиотек и компонентов ЭРЭ. Если необходимая информация не была найдена в БД библиотек и ком-

понентов ЭРЭ, то составляется заявка на разработку библиотечных компонентов (схемных образов и конструкторских образов). Вновь разработанные библиотеки ЭРЭ и новая информация по компонентам ЭРЭ помещаются в БД. После схемного и конструктивного проектирования следует этап подготовки производства и выпуска УП. Все разработанные УП хранятся на сервере предприятия (с двухкратным резервированием), а также еженедельно сохраняются на CD-RW. Планируется в будущем хранить все разработанные УП в ЭА Lotsia PDM Plus.

Подготовка производства и выпуск управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) выполняется в системе Гемма-3D. Разработанные УП передаются на сервер, откуда они загружаются в память станков с ЧПУ. Участок производственного уровня, выделенный на рис. 4 серым прямоугольником, более детально представлен на рис. 5.

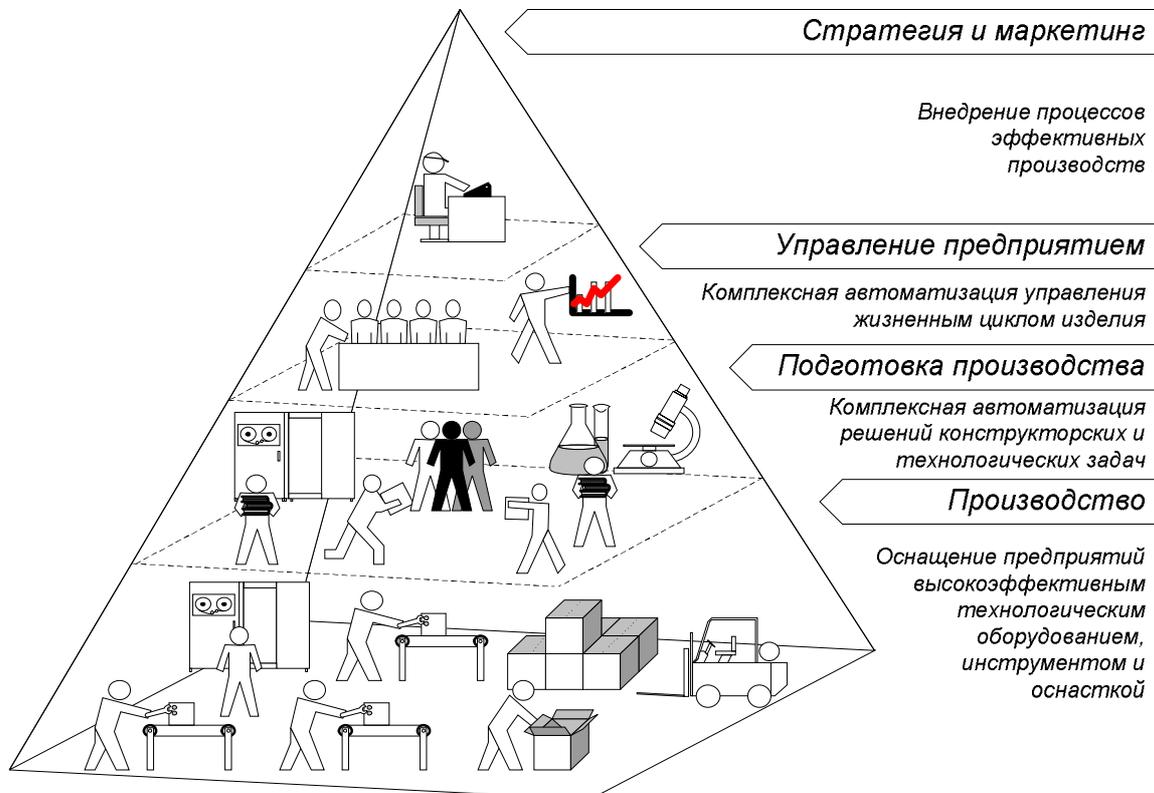


Рис. 3. Четырехуровневое представление современного предприятия

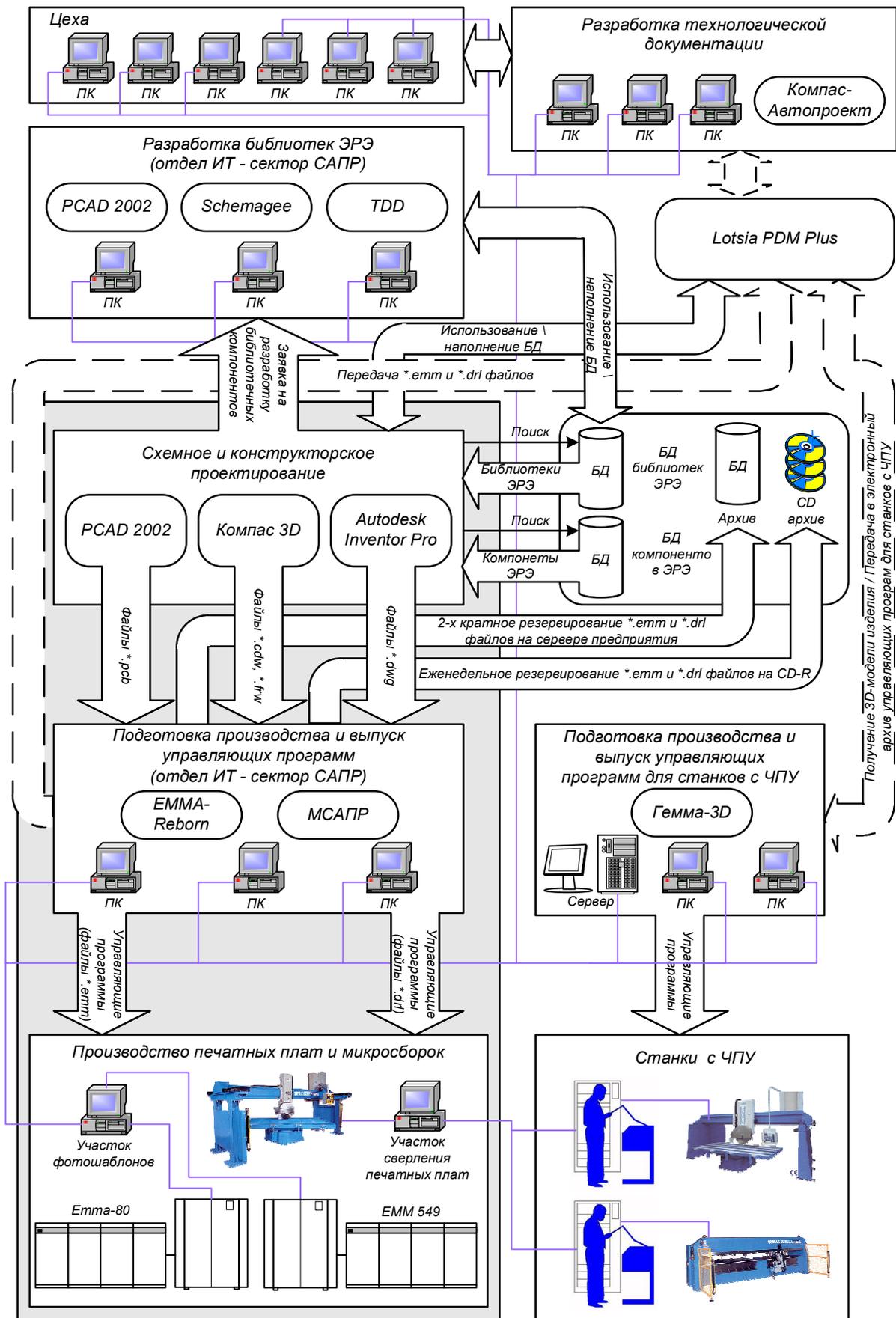


Рис. 4. Автоматизация производственного уровня разрабатывающего предприятия

Из Autodesk Inventor Pro или КОМПАС-3D разработанные файлы передаются в систему МСАПР. Далее созданная УП в формате \*.pat передается в производство на участок микросборок. Из КОМПАС-3D с помощью драйвера принтера DPM-52 plt-файлы сначала обрабатываются с помощью программы NewEmm, затем, используя утилиту Correct, производится коррекция засветок. Далее созданная УП в формате \*.emm передается в производство на участок фотошаблонов. Разработанные в PCAD 2002 Gerber-файлы обрабатываются в программе EMMA-Reborn. Далее созданная УП в формате \*.emm передается в производство на участок фото-

шаблонов. Разработанные в PCAD 2002 pcb-файлы обрабатываются с помощью утилит DM и DRLCONV. Далее созданная УП в формате \*.drl передается в производство на участок сверления печатных плат.

### Трехуровневая модель разрабатывающего предприятия

ИСУП можно также представить в виде трех взаимосвязанных уровней управления (рис. 6), каждый из которых выполняет свою основную управленческую функцию [6]:

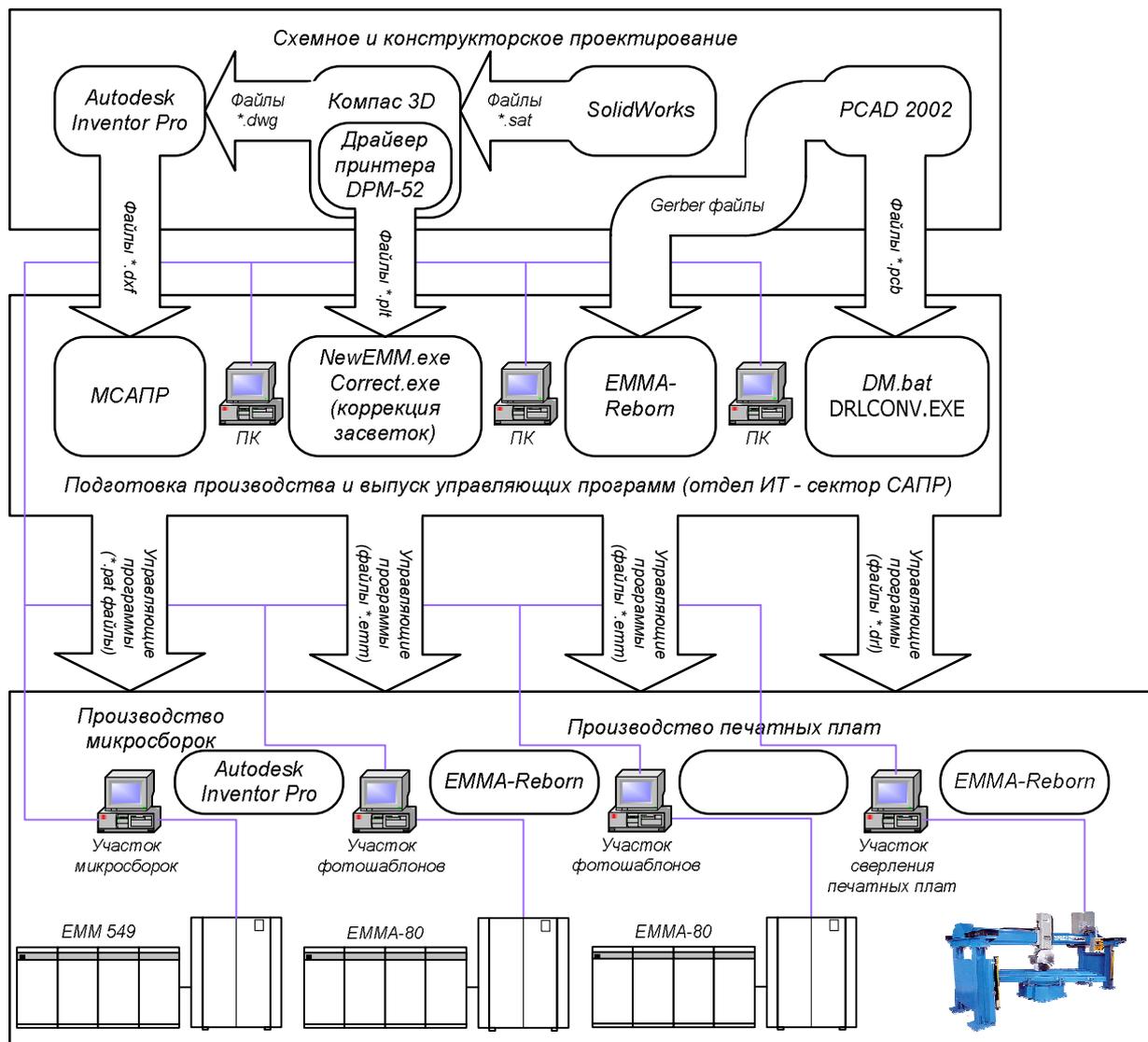


Рис. 5. Детальное представление автоматизации одного из участков производственного уровня разрабатывающего предприятия

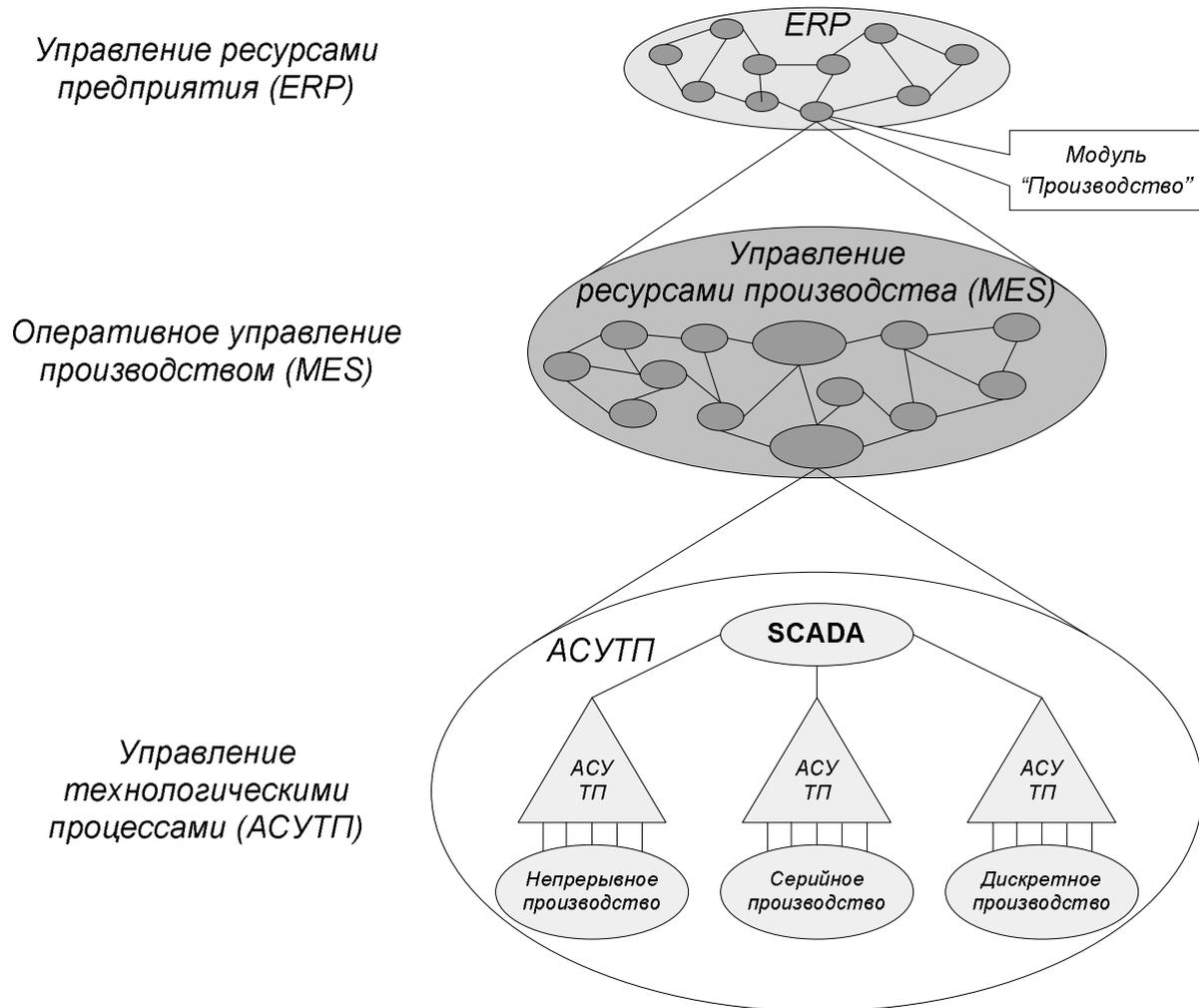


Рис. 6. Три уровня управления интегрированным предприятием

- верхний уровень управления предприятием (административно-хозяйственный) решает стратегические задачи, а соответствующая ERP-система обеспечивает управление ресурсами в масштабе предприятия, включая часть функций поддержки производства (долгосрочное планирование и стратегическое управление в масштабе: годовое, квартальное, месячное);
- средний уровень управления (производственный) решает задачи оперативного управления процессом производства, а соответствующая автоматизированная система обеспечивает эффективное использование ресурсов (сырье, энергоносители, производственные средства, персонал), а также оптимальное исполнение плановых заданий (сменное, суточное, декадное, месячное) на уровне участка, цеха, предприятия;

- низшие уровни технологического управления решают традиционные задачи управления технологическими процессами.

В формульном виде это можно выразить так:

$$ERP \cap MES \neq 0, \quad MES \cap АСУТП \neq 0.$$

Предприятия не сразу приходят к пониманию необходимости внедрения MES. Управленческая культура (и информационная культура как её объективная составляющая) должна подойти к определенной "критической точке" для того, чтобы производственный менеджмент предприятия был готов использовать все преимущества MES-систем.

При передаче части функций управления от систем ERP в MES-системы на производственный уровень (руководству производства, цеха, производственного участка, технологу, начальнику службы

експлуатации и т.д.) происходит рациональная сегментация контуров управления предприятием в целом (рис. 7) [7]. Каждый контур управления характеризуется соответствующим уровнем интенсивности циркулирующей в нем информации, своим масштабом времени и своим набором функций:

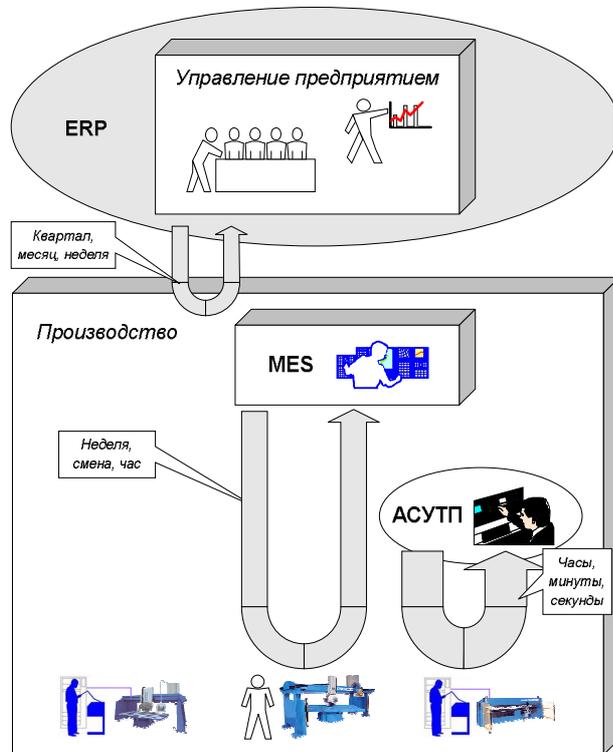


Рис. 7. Сегментация контура управления предприятием

- контур управления АСУТП (технологический) является самым интенсивным по объему информации и самым жестким по времени реакции, которое может составлять секунды и даже миллисекунды. В этом уровне – в SCADA-системах (Supervisor Control And Data Acquisition) происходит накопление и обработка большого числа технологических параметров и создается информационная база исходных данных для MES-уровня;

- контур управления уровня MES (оперативно-производственный) опирается на отфильтрованную и обработанную информацию, поступающую как от АСУТП, так и от других служб производства (снабжения, технической поддержки, технологических, планово-производственных и т.д.). Интенсив-

ность информационных потоков здесь существенно ниже и связана с задачами оптимизации заданных производственных показателей (качество продукции, производительность, энергосбережение, себестоимость и т.д.). Типовые времена циклов управления составляют минуты, часы, смены, сутки. Оперативное управление производством в этом контуре управления осуществляется специалистами, которые более детально, чем высшее руководство, владеют производственной ситуацией (руководители производственных цехов, участков, главные технологи, энергетики, механики и др.). В связи с этим следует повышать качество и эффективность принимаемых решений в пределах делегированных полномочий;

- контур управлений уровня ERP (стратегический) освобождается от решения оперативных задач производства и обеспечивает поддержку бизнес-процессов предприятия в целом. Поток информации от производственного блока становится минимальным и включает агрегированную управляющую и отчетную информацию по стандартам ERP с типовыми временами контроля (декада, месяц, квартал), а также аварийные сигналы, требующие немедленного вмешательства высшего руководства предприятия.

## Заключение

Очевидно, что при комплексной автоматизации практически любого предприятия существует потребность в обеспечении того или иного набора MES-функций средствами автоматизаций. Возможны разные варианты:

- интегрированная MES-система;
- функции MES-системы, реализованные в рамках ERP-системы;
- автономная (не интегрированная) MES-система или ее отдельные функции.

Нужно отметить, что автоматизация всех уровней управления везде и сразу не является обязатель-

ной – возможны поэтапная автоматизация предприятия или управление на уровне MES-системы с дополнением ее учетными средствами автоматизации административно-хозяйственной деятельности предприятия.

Внедрение MES-систем – насущная потребность производства в целях повышения эффективности и рентабельности РП. Доказательствами этого утверждения служат следующие обстоятельства.

1. Классификация MES-функций определяет их четкую ориентацию на достижение заданных реальных целей повышения эффективности производства с учетом организационной структуры РП.

2. MES-системы, как правило, уже интегрированы с источниками физических данных уровня АСУТП – программируемыми логическими контроллерами, SCADA-системами, с одной стороны, и с ERP-системами, с другой стороны, что обеспечивает интеграцию всех уровней КАСПИ.

3. Методология внедрения MES не требует серьезной реорганизации РП и подстройки его под конкретное решение, а основывается на выборе оптимального набора продуктов, решающих конкретные задачи повышения эффективности производства конкретного предприятия.

Внедрение систем управления производством – жизненно важный этап реализации общей стратегии бизнеса в плане решения как организационно-хозяйственных, так и технических задач. Эти системы могут стать одним из основных элементов повышения конкурентоспособности производственного предприятия и устранить разрыв между производственными и административными уровнями управления. Выгода от внедрения систем управления производством может многократно повысить расходы на их разработку и дать весьма ощутитель-

ные результаты с точки зрения рентабельности и возможностей дальнейшего развития предприятия.

## Литература

1. Вайнберг А., Березк В. Прозрачное эффективное предприятие реального времени // Мир компьютерной автоматизации. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mka.ru/?p=42016>.
2. Киселев А.Г. Экспериментальные исследования в ERP-системе промышленного предприятия // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – № 7. – 2004. – С. 8 – 12.
3. Современное производство: самые трудные задачи // Мир компьютерной автоматизации. – № 6. – 2004. – С. 4 – 9.
4. Синенко О.В., Куцевич Н.А. Подход к анализу производственных процессов и созданию комплексных систем управления ресурсами // Мир компьютерной автоматизации – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mka.ru/?p=42773>.
5. Михайлов В.В. MES: управление производством в реальном времени // Корпоративные системы. – № 2. – 2005. – С. 37 – 42.
6. Дыхне Т., Ромаш В., Усманов Р., Чегодаев В. Конкурентоспособность и интеграция // Директор ИС. – № 2. – 2005. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/cio/2005/02/042.htm>.
7. Агапов А., Баринберг В. О временных границах и о планировании // Директор ИС. – № 2. – 2005. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/cio/2005/02/036.htm>.

*Поступила в редакцию 7.07.2005*

**Рецензент:** канд. техн. наук А.П. Карюк, ОАО "АО НИИРИ", Харьков.