



# УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ XXI ВЕКА

Э. Рувинова

## ФАНТАСТИКА И РЕАЛЬНОСТЬ

*Современные прогрессивные формы управления производством базируются на компьютеризации, интеграции и моделировании производственного процесса. В следующем столетии управление производством приобретет глобальный характер. Уже существует проект создания интеллектуальной производственной системы с централизованным управлением через искусственные спутники Земли. А пока широко внедряются средства управления виртуальным предприятием и компьютеризированное интегрированное производство.*

### Интеллектуальная производственная система

Многие зарубежные эксперты начинают осознавать, что в XXI веке экономическое развитие общества невозможно обеспечить локальными усилиями — для этого необходимо международное сотрудничество. Непрерывное увеличение издержек производства (только затраты на ввод в строй нового полупроводникового предприятия превышают 1 млрд. долл.) уже сегодня существенно изменило условия бизнеса в электронной промышленности. Фирмы вынуждены объединять усилия и создавать “временные” организации для решения общих для них проблем. Удачный пример такого объединения — консорциум Sematech, образованный в 1987 году 14 фирмами — изготовителями полупроводниковых приборов при финансовой поддержке правительства США. Главные задачи консорциума — стимулирование НИОКР в области передового технологического оборудования для полупроводникового производства и сохранение лидерства на мировых рынках, которому в тот момент уже серьезно угрожала Япония. С учетом десятилетнего опыта деятельности, направленной на подъем американской полупроводниковой промышленности, планируется расширить Sematech и привлечь зарубежных партнеров, в основном японские и южнокорейские фирмы. Цель такого расширения — не только получить дополнительные инвестиции, но и исключить дублирование разработок в рамках различных национальных программ. Так, с усилением межфирменных контактов формируется менеджмент нового типа, обеспечивающий управление производством в глобальных масштабах.

Для развития обрабатывающей промышленности XXI века международное сотрудничество особенно не-

обходимо в таких сферах, как совершенствование технологии, оборот капитала и охрана окружающей среды. Сегодня уже действует несколько международных проектов глобализации производства, начатых в основном по инициативе Японии. Наибольший интерес представляет японский проект под названием “Интеллектуальная производственная система” (Intelligent Manufacturing System, IMS), который при всей своей профессиональной разработке воспринимается как фантастика. Проект прежде всего направлен на глобальное технологическое развитие, хотя безусловно имеет прямое отношение и к двум другим сферам.

При обсуждении проекта IMS высказывались мнения, что участие в нем противоречит принципам свободного рынка, а используемый подход может замедлить темпы технологического развития. Несмотря на это был создан международный консорциум, назначение которого — научные исследования по проблемам глобального производства. Помимо Японии в консорциум вошли страны ЕС, США, Канада, Австралия, а также Европейская ассоциация свободной торговли (ЕФТА). Партнеры договорились о том, что все планы, представляемые каждым из них, будут передаваться административным управлениям других участников.

К 1995 году был подготовлен план реализации IMS, согласно которому работы по проекту продлятся 10 лет, а затраты составят от 1 до 5 млрд. долл. В структуру системы управления проектом входят международные, межрегиональные и региональные комитеты. К первым относится технологический комитет, занимающийся вопросами глобального производства, его интеграцией, технологией системных компонентов, чистым производством,

перспективными материалами и управлением персоналом.

Проект IMS направлен на создание производственных систем совершенно нового типа. Как представляют авторы проекта компоненты будущих промышленных предприятий и связь между ними? Через искусственный спутник Земли центральный компьютер конкретного предприятия включен в глобальную коммуникационную сеть, по которой получает руководящие программы и может связываться с локальными сетями субподрядчиков. Сам центральный компьютер предприятия выдает команды отделению НИОКР, интеллектуальной системе управления производством, подразделению материально-технического обеспечения, а также сети розничной торговли. Интеллектуальная система управления производством в свою очередь управляет интеллектуальными производственными ячейками (автономные роботы, обрабатывающие центры, самоходные транспортные средства) (рис.).

Основные цели проекта — высокий уровень технологии, создание новых изделий, минимизация производственных расходов, замкнутый цикл производства, восстановление окружающей среды, улучшение условий производства, эффективная глобализация производства, расширение рынков, повышение квалификации персонала и преемственность. Этим целям подчинены конкретные технические разделы IMS: изучение жизненного цикла продукции, технологические операции ее производства, средства стратегии/планирования/проектирования, проблемы виртуального предприятия и взаимоотношений между человеком, фирмой и обществом.

Ход развития мировой промышленности показывает, что технологии производства присуща систематизи-

рованная структура, а потому она может изучаться как отдельная дисциплина. Исходя из концепции интеллектуальной производственной системы авторы проекта выработали новый подход к изучению производства.

Одно из основополагающих понятий нового подхода — **глобальная производительность**. Под ним понимают отношение объема выпущенной продукции к ущербу, нанесенному экосистеме (издержки за жизненный цикл). При низкой глобальной производительности экосистеме наносится огромный ущерб, тогда как при высокой нарушение ее стабильности незначительно. В соответствии с проектом IMS достижение максимальной глобальной производительности — необходимое условие стабильного развития промышленного производства.

С точки зрения глобальной производительности современная система свободной конкуренции далеко не идеальна. Торговые разногласия, вызванные острой конкуренцией, быстрая смена технологий, излишне широкая номенклатура изделий, формирование чрезмерных потребностей покупателя, избыточное качество — все это мешает достижению оптимальной глобальной производительности и тормозит развитие обрабатывающей промышленности.

Усиление конкуренции создает серьезные проблемы для развития современного производства. Среди них можно выделить четыре важнейшие.

**“Двойные” инвестиции в НИОКР.** В борьбе за технологическое превосходство компании параллельно проводят и инвестируют аналогичные НИОКР. Масштабы инвестиций в такие НИОКР растут, поскольку технология становится все более совершенной, а продукция — все более сложной. Конечно, в условиях “здоровой” конкуренции параллельные инвестиции в какой-то

степени нужны. Однако рост числа конкурирующих фирм, сокращение жизненного цикла продукции, ужесточение требований к неразглашению сведений и другие связанные с этим явления существенно увеличивают затраты, что снижает глобальную производительность.

**Дифференциация продукции.** В ходе острой борьбы за рынки сбыта фирмы не пытаются вносить фундаментальные изменения в технологию изготовления изделий. Поэтому сегодня на рынке появляется большое число изделий, лишь незначительно отлича-

способности фирмы вынуждены постоянно осваивать передовые технологии. Например, если фирма специализируется в области автоматизации, очевидный ключ к успеху — увеличение степени автоматизации. Однако такой подход при всей своей прогрессивности вызывает и немалые проблемы, в частности рост социальных издержек, появление так называемых “автоматизированных островов”, возникающих из-за автоматизации в первую очередь тех операций, которые наиболее легко ей поддаются. Кроме того, усиливается поляризация авто-

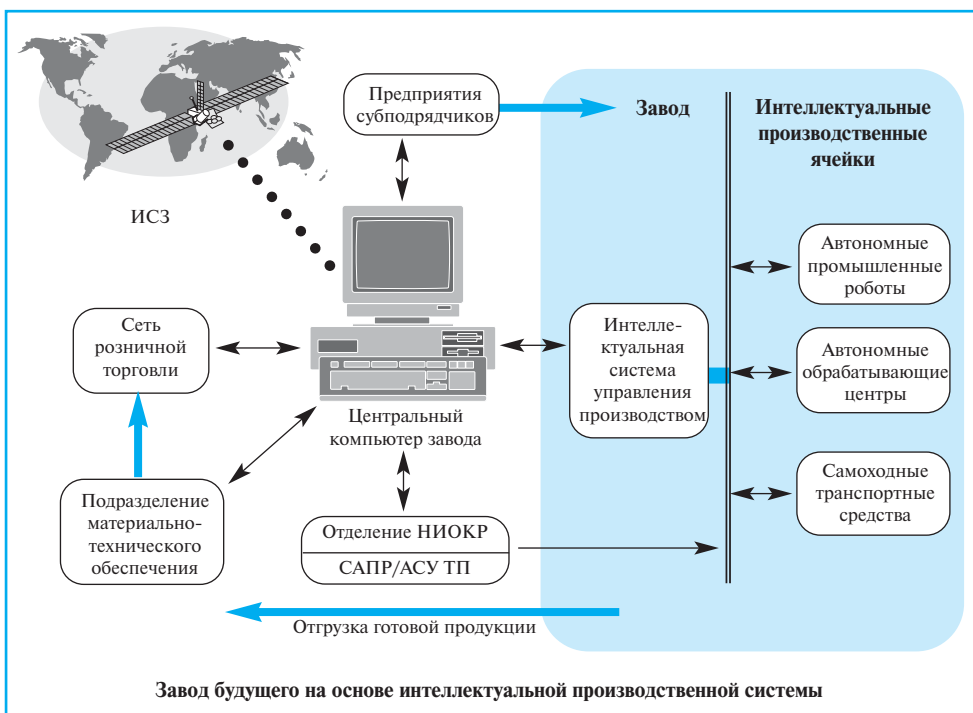
матизированных и ручных операций, растут расходы на повышение квалификации персонала, ремонт и техническое обслуживание, замедляются темпы технологического развития. Все это также приводит к снижению глобальной производительности.

Из сказанного следует, что между факторами, определяющими конкурентоспособ-

ность и глобальную производительность, есть серьезные противоречия. По концепции проекта IMS, кооперация компаний при создании технологий будущего должна существенно смягчить их. При этом совместные работы вовсе не противопоставляются конкуренции — они лишь предлагают конструктивный путь ее нормализации. По мнению авторов проекта, задачу максимизации глобальной производительности как необходимого условия развития промышленного производства можно решить только путем кооперации, охватывающей все страны и все сектора промышленности.

### Виртуальное предприятие

Важнейшими элементами глобализации управления производством сегодня становятся развитие процессов моделирования, приближающих нас к созданию виртуальных предприятий,



Завод будущего на основе интеллектуальной производственной системы

щихся друг от друга. Такая поверхностная дифференциация только отвлекает инвестиции, не приводя к повышению глобальной производительности.

**Издержки, связанные с чрезмерно коротким жизненным циклом продукции.** Как известно, успех на рынке напрямую связан с оперативным освоением производства новой продукции, удовлетворяющей потребности покупателя. Само по себе это логично и разумно, однако в условиях сильной конкуренции у изготовителей появляется искушение создавать новую продукцию раньше, чем изменяются запросы потребителей. В результате формируется рынок, управляемый производством. В этом случае потребности не являются реальными, и глобальная производительность падает.

**Излишнее совершенствование технологий.** Для поддержания конкуренто-

и активная интегрированная компьютеризация всех сфер деятельности — от разработки и изготовления продукции до контроля качества и маркетинга. Еще недавно процессы моделирования воспринимались как новое явление, сейчас эти работы приобретают широкий размах. Особенно сильно данная тенденция проявляется в полупроводниковой промышленности. В условиях перехода к обработке 300-мм пластин по технологии с 0,35-мкм проектными нормами и стремительного увеличения затрат на строительство современных предприятий значительные процессы моделирования, дающих существенную экономию средств как при планировании новых, так и при имитации существующих производств, становится огромным.

Моделирование позволяет прогнозировать “узкие места”, ограничивающие производительность предприятия; определять объем технологического оборудования, необходимый для выпуска данной продукции; планировать производство изделий; управлять незавершенным производством; проводить анализ производственных мощностей и технологических операций; вести профилактическое техническое обслуживание. Постепенно вопросами моделирования как ИС, так и технологических процессов их изготовления, стали заниматься производственные отделы, а не исследовательские подразделения. Наступило время, когда инженерам-технологам необходимо моделировать весь производственный процесс, а также последующие процедуры электрического контроля, что приводит к появлению огромного числа взаимозависимых индивидуальных моделей и данных. Все это требует чрезвычайно высокого уровня интеграции программных средств, а также автоматизации процессов сбора, хранения и управления данными.

Одно из решений этой задачи — предложенная американской фирмой Technology Modeling Associates новая среда пользователя CAESAR. С помощью комплекта развитых и высокоинтегрированных графических средств она позволяет моделировать работу полупроводникового предприятия в соответствии с требованиями заказчика и обеспечивает интеграцию всех этапов разработки и изготовления ИС. Система CAESAR представляет собой концепцию виртуального полупроводникового предприятия. Ее задача —

достичь требуемых параметров ИС, выбрать оптимальный цикл производства, минимизировать себестоимость продукции и т.п. для различных технологических режимов. Благодаря моделированию существенно снижаются объемы реальных физических экспериментов, что дает значительную экономию средств, а также сокращает период освоения производства и выпуска на рынок новой продукции.

Входные данные системы CAESAR — описания технологических процессов и процедур электрического контроля выпускаемого изделия, а также характеристики технологического оборудования. Некоторые важные параметры технологических процессов и электрического контроля задаются как контрольные. Результатами моделирования на виртуальном предприятии являются:

- структурные данные (глубина  $p$ - $n$ -перехода, толщина оксидного слоя и т.п.);
- электрические параметры приборов (пороговое напряжение, емкость структур, коэффициент усиления по току и т.п.);
- параметры схемы (время задержки вентиля, а также нарастания и спада сигнала и т.п.);
- общие критерии технологического процесса (выход годных и т.п.);
- производственные параметры (издержки и производительность).

Иерархия системы моделирования интегрированного виртуального предприятия CAESAR включает модули — технически различные части процесса моделирования; шаги, линейная последовательность которых и образует модуль; команды, последовательность которых образует шаг. В результате выполнения команд достигаются заданные параметры. Обычно модули ставят задачу и определяют, “что делать” вне зависимости от технологии. Например, модулем может быть задача “создать  $n$ -карман” или “сформировать поликристаллический затвор”. Шаги описывают технологические этапы, которые необходимо выполнить (имплантация, отжиг, маскирование, травление и т.п.) и отвечают на вопрос: “как делать”. И, наконец, команды — это просто разбивка шагов на языке моделирования.

Модули хранятся в библиотеках данных и используются в различных процессах моделирования в произвольном порядке, определяемом техническими условиями. Они легко перепрограммируются для получения

различных моделей. Пользователь (изготовитель ИС) обычно формирует поток данных моделирования, используя предварительно проверенные модули из библиотек поставщиков или заказчиков. Физические и численные параметры моделей регулируются с помощью “редактора модуля” или “редактора шага”.

Средства управления данными в системе CAESAR могут объединяться с системами визуализации, позволяющими воспроизводить распределение электрических потенциалов в МОП-структуре, концентрации носителей и легирующих примесей, температурные поля и т.п. При этом пользователь получает возможность модифицировать геометрию прибора, создавать новые области в подложке, изменять тип материала в такой области и т.п.

Итак, средства CAESAR, поддерживающие виртуальное полупроводниковое предприятие, — это гибкая, открытая, интегрированная система, обеспечивающая иерархический принцип моделирования и выделение деталей технологического характера. Высокий уровень поддержки системы позволяет применять огромное число моделирующих программ и решать критические проблемы управления производством.

Важную роль в совершенствовании полупроводникового производства должны сыграть **программы виртуального обучения персонала**. Такие крупные корпорации, как Intel, Motorola, Rockwell Semiconductor Systems, Samsung Semiconductor, SGS-Thomson Microelectronics и консорциум Sematech, приобрели у недавно образованной американской фирмы Modis Training Technologies, специализирующейся в области компьютерного обучения, пакеты программ виртуального обучения, правильно ориентирующие изготовителей ИС при использовании виртуальной реальности в инженерной практике. Специализированный пакет программ воссоздает конкретное предприятие в трехмерном изображении вплоть до малейших деталей и обучает операторов навыкам работы в условиях ультратонких коммат так, чтобы в реальной работе они не делали ошибок. При этом период обучения сокращается с трех недель до одной.

Разработанные для фирмы Motorola программы моделируют камеры ионной имплантации, последовательно рассматривая все стадии процесса. Виртуальная система отображает даже

руки роботов, используемых для загрузки-разгрузки пластин, переключатель электрического питания и другие детали. Благодаря использованию программ моделирования на заводе фирмы время технического обслуживания сокращено на 20%, а простой оборудования — на 15%.

Аналогичные пакеты программ Modis поставляют и другим корпорациям. Так, программы для фирмы Samsung моделируют последовательность переобучения операторов в спецодежду перед входом в чистую комнату класса 1; в виртуальной реальности отображаются гардеробы вплоть до их цвета. Программы позволяют также оптимизировать планы размещения технологического оборудования в цехах. Руководство фирмы Modis полагает, что предлагаемые программы экономят клиентам сотни тысяч долларов.

В последнее время некоторые крупные электронные фирмы, в том числе Motorola и Sun Microsystem, стали создавать виртуальные корпорации, что позволило ускорить внедрение технологических инноваций и усилить позиции на рынке. Обычно цели и методы их достижения едины для всех фирм, входящих в виртуальные предприятия, тогда как отдельные фирмы концентрируют свои усилия на вопросах, где их опыт и уровень знаний максимальны.

#### **Компьютеризированное интегрированное производство**

К концу XX столетия на предприятиях электронной промышленности, как и многих других обрабатывающих отраслей, сложились прогрессивные формы управления, основанные на компьютеризированном интегрированном производстве (Computer-Integrated Manufacturing, CIM). За последние 10 лет такое производство внедрено и успешно освоено на предприятиях многих зарубежных электронных фирм. CIM обеспечивает гибкость производства, сокращает производственный цикл, незавершенное производство и производственные площади, позволяет организовать производство по принципу “точно вовремя” (Just-In-Time, JIT), повышает качество продукции, увеличивает выход годных и снижает затраты. Некоторые электронные фирмы благодаря введению CIM сократили производственный цикл с семи дней до нескольких часов при резком повышении качества продукции. Одна из компью-

терных фирм сумела увеличить объем выпуска продукции на 500% и сократить производственные площади на 40%. Однако по утверждению специалистов, даже столь внушительные показатели не отражают огромных потенциальных возможностей CIM.

Как показала практика, успех или неудача при использовании CIM не зависит от размера фирмы или ее ресурсов. Главное здесь — правильное планирование и умение избегать ошибок. Для успешного внедрения CIM рекомендуется еще до финансирования работ определить долгосрочные цели и составить четкий план действий, в котором стратегические потребности фирмы должны быть согласованы с особенностями выбранной технологии CIM. Необходимо также тщательно проанализировать конкретный производственный процесс, определив взаимосвязь интегрируемых средств автоматизации и задач производства, разработать модель интеграции и пути ее реализации. Задолго до внедрения CIM следует обучить персонал, выбрать поставщиков, создать эффективную внутрифирменную сеть для обмена информацией между службами проектирования, производства и маркетинга.

**Пример компьютеризированного производства печатных узлов.** Как известно, современные предприятия по изготовлению печатных узлов ориентируются на мелкосерийное многоменклатурное производство с высокой гибкостью. Такую стратегию диктуют регулярно возникающие в электронной промышленности ситуации, когда необходимо быстро модифицировать производство или перейти на выпуск совершенно новой продукции. Подобные ситуации возникают под воздействием как внешних обстоятельств, например изменений запросов рынка, так и внутренних, связанных с внедрением технологических инноваций. В этих условиях предприятия по сборке электронной аппаратуры, которые первыми начали успешно применять концепцию CIM, получают значительные преимущества перед конкурентами.

Среди фирм, принявших этот путь развития, следует отметить американскую компанию Starkey Labs, которая малыми партиями выпускает до 40 различных видов электронной продукции. Фирма работает по JIT-принципу, который позволяет управлять качеством благодаря выявлению дефектов на самом низком уровне системы

и на начальной стадии ее создания. Он также предусматривает отказ от создания запасов за счет четко организованного поступления требуемых полуфабрикатов, компонентов и деталей в нужный момент. Непрерывное изменение производственных задач, в решении которых в соответствии с JIT-принципом участвует весь персонал, вызывает необходимость в постоянном обучении и тренировке работников фирмы.

Фирма использует разнообразные методы сборки, а также большой ассортимент электронных компонентов — от бескорпусных ИС до приборов в плоских квадратных корпусах. К тому же ей приходится постоянно модифицировать свою продукцию. Быстро осуществлять этот процесс помогает система управления данными, куда по сети обратной связи поступают сведения о результатах контроля производственного процесса. САПР, непосредственно связанная с центральной базой данных, автоматически генерирует программы отдельных станков и производственных линий. Программы обеспечивают оптимальное размещение компонентов на печатной плате, рассчитывают необходимую конфигурацию питателей и укладочной головки. Автоматическая генерация программ укладки компонентов снижает риск ошибок и минимизирует сроки освоения новой продукции.

В результате оборудование способно обрабатывать все типы компонентов, питатели взаимозаменяемы и пригодны для перемещения упаковок компонентов различных видов (ленточные, трубчатые магазины, лотки, “навалом”). Ширина транспортера легко адаптируется к ширине печатной платы. Производственные линии имеют модульную конструкцию, их можно размещать на различных производственных площадках. В результате производительность оборудования по укладке поверхностно монтируемых компонентов возросла в три раза.

*Technological Forecasting and Social Change, 1995, v.49, N2, p.195–213*  
*Semiconductor International, 1997, v.20, N8, p.289–292*  
*Microelectronics Journal, 1995, v.26, N2/3, p.191–202*  
*Electronic Engineering Times, 1997, N946, p.27,33*  
*Aviation Week & Space Technology, 1997, v.9, N1, p.86,87*  
*Computers in Industry, 1996, v.29, N3, p.225–227*  
*Control, 1996, v.22, N5, p.27–30*  
*New Technology Japan, 1996, v.23, N10, p.2–5.*