

# Проблемы создания информационной системы управления производством в отечественном машиностроении

Речь пойдет о создании информационной системы для управления производством на машиностроительном предприятии. В статье мы проанализируем проблемы управления производством, оценим готовность исходных данных о конфигурации изделий и производственных процессах к внедрению комплексной информационной системы (ERP/MES) и исследуем влияние степени достоверности данных о времени выполнения операций, производственных центрах и конфигурации изделия на качество производственного плана. Кроме того, дадим рекомендации о способах сокращения ошибок и о постановке процесса управления конфигурацией.

**Юрий Зеленков**

директор по информационным технологиям «НПО «Сатурн».



**В**зарубежных машиностроительных компаниях комплексные информационные системы стали обязательным компонентом эффективной организации управления предприятием в целом и его производственными подразделениями в частности. Как правило, для этой цели иностранцы внедряют тиражируемые коммерческие программные продукты, поддерживающие несколько моделей управления производством и включающие функционал по управлению закупками, финансами, персоналом и т.д. (системы класса ERP и MES). Многие компании с успехом используют ERP/MES-проекты. Например, французская Snecma<sup>1</sup>, специализирующаяся на проектировании и производстве газотурбинных двигателей. Однако примеров удачного внедрения производственных модулей таких систем на отечественных машиностроительных предприятиях (особенно для мелкосерийного производства высокотехнологичной продукции) практически нет. Постараемся определить причины этого отставания и возможные пути изменения сложившейся ситуации.

### Проблемы управления производством

Чтобы в корне изменить основные составляющие производственного процесса на машиностроительных предприятиях мелкосерийного производства, необходимо (см., например, работу Б. Големенцева<sup>2</sup>):

- усовершенствовать систему планирования;
- усовершенствовать систему оплаты;
- усовершенствовать систему контроля исполнения;
- техническое перевооружение производства.
- Использование ERP/MES-системы предполагает лучшее планирование и кон-

<sup>1</sup> ERP – PDM. Bilan et perspectives. Carnet de bord 10. Numero 10 – Juin 2003. Hors-Serie, Snecma Moteurs.

<sup>2</sup> Големенцев Б.В. Глубокая модернизация высокотехнологичных машиностроительных предприятий мелкосерийного производства. // Вестник УГТУ – УПИ: Серия «Экономика и управление». № 9 (80) 2006.

<sup>3</sup> Минцберг Г. Структура в кулаке. Создание эффективной организации. – СПб.: Питер, 2003.

<sup>4</sup> Woodward, Joan. Industrial Organization: Theory and Practice. Second Edition. Oxford; New York: Oxford University Press, 1982.

троль за исполнением. Как следствие, повышается мотивация работников, в том числе и за счет создания более справедливой и прозрачной системы оплаты труда. Однако большинство крупных отечественных предприятий, созданных еще в СССР, по-прежнему остаются в рамках организационной модели, которую можно охарактеризовать как «механистическая бюрократия»<sup>3</sup>. Превратить ее в органическую структуру возможно, только автоматизировав операционные процессы<sup>4</sup>. Таким образом, может показаться, что внедрение информационной системы ERP/MES обеспечит российским предприятиям значительный эффект при гораздо меньших затратах, чем полное техническое перевооружение. Тем не менее, анализ различий в организации производства на российских и зарубежных предприятиях показывает, что есть очевидные ограничения применимости ERP/MES-систем в отечественном машиностроении. Они в значительной степени связаны с несовершенством технической инфраструктуры. Можно выделить две основные проблемы.

**Проблема 1. Подготовка и поддержание в актуальном состоянии данных для планирования и учета производства.** Единицей планирования и учета является производственная операция, к которой привязаны оборудование, оснастка, нормы времени и расхода материалов и т.д. Чем точнее эти данные (наряду с данными о конфигурации (составе) изделия), тем точнее расчет производственного плана. Однако существует целый ряд факторов, значительно снижающих достоверность данных для планирования и учета производства.

**Первый фактор – объем производственных операций.** Производственные мощности российских компаний унаследованы из советского периода и ни на одном из крупных предприятий еще не обновлены радикально (средний возраст оборудования составляет в лучшем случае 20–25 лет). Значит, в среднем у нас деталь изготавливается за большее

количество операций, чем на Западе. По оценкам автора, это соотношение составляет 1:4–1:10. Дополнительная проблема – специализация производственных участков по видам обработки (механическая, термическая и т.д.), из-за чего деталь «путешествует» между разными корпусами завода. Число та-

ких перемещений может достигать 15–20. Эти транспортировочные операции занимают существенное время в производственном цикле, стало быть, их тоже надо планировать и учитывать.

**Второй фактор – количество внешних поставщиков.** Зарубежные предприятия, производящие мелкосерийную высокотехнологичную продукцию, самостоятельно изготавливают только около 10–20% номенклатуры всех деталей, поступающих на сборку, – всё остальное приобретает у поставщиков второго уровня, которые обеспечивают гораздо большую эффективность. Отечественные же предприятия практически 100% деталей для сборки изготавливают сами. В таблице 1 дан сравнительный анализ объемов данных, необходимых для обеспечения производственного планирования и учета, которыми оперируют два предприятия авиадвигателестроительной отрасли (одно – российское, другое – зарубежное) с примерно одинаковым объемом выпуска.

**Таблица 1.**

Сравнительный анализ объемов данных, необходимых для производственного планирования и учета.

	Зарубежное предприятие авиастроения	Российское предприятие авиастроения
Номенклатура деталей для сборки	36 000	36 000
Количество деталей собственного производства	6 000	30 000
Число операций для изготовления детали собственного производства	20	80
Количество информационных объектов (операций), актуальность которых надо поддерживать	120 000	2 400 000

Из таблицы следует, что объем необходимых данных для управления производством на российском предприятии примерно в 20 раз больше, чем на зарубежном, обладающем более эффективной производственной инфраструктурой. Собрать такой гигантский объем данных, избежав ошибок, практически невозможно. Поэтому на большинстве предприятий используются системы АСУП собственной разработки, работающие каким-то образом с недостоверной информацией. Результат – низкое качество планов, большой объем ручного диспетчирования, недостоверные и противоречивые сведения о фактической ситуации с изготовлением изделий.

**Проблема 2. Получение точных данных о конфигурации изготавливаемого продукта.** Под конфигурацией в данном случае понимается описание всех входящих в состав конечного изделия узлов, деталей и покупных комплектующих. Для мелкосерийного производства высокотехнологичной продукции характерно непрерывное изменение этого состава, поскольку конструкция изделия все время уточняется либо по результатам эксплуатации, либо в соответствии с требованиями конкретного заказчика. Для каждой конфигурационной единицы, входящей в состав продукта, указывается



## Несовершенство технологической инфраструктуры резко увеличивает объем производственных операций, а отставание в организационных процессах, таких как управление конфигурацией, приводит к недостоверности данных о составе продукта

ее применимость: она может использоваться либо в изделиях, выпущенных в определенный промежуток времени, либо в изделиях, имеющих индивидуальные номера.

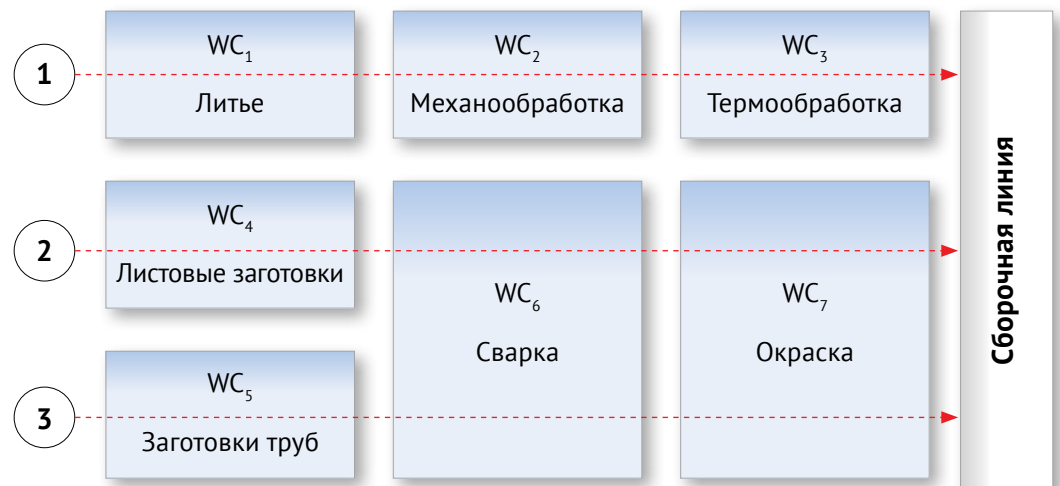
Управление изменением конфигурацией осуществляется с помощью специального процесса (один из вариантов его построения будет рассмотрен ниже). Сложность заключается в том, что на отечественных предприятиях данный процесс не автоматизирован полностью. Более того, существующая нормативная база (ЕСКД) допускает несколько видов документов, изменяющих конфигурацию изделия (извещения на изменения, служебные записки, технические условия на сборку и т.д.), и каждый из них имеет свои особенности. Определение конфигурации ведется в ручном режиме на основании бумажных документов, что неминуемо ведет к ошибкам. Изучение передовых практик зарубежных предприятий показывает, что информационные системы обеспечивают процесс управления конфигурацией на основе только одного документа: извещение на изменение, или ECO – Engineering Change Order.

### Оценка влияния недостоверности информации на производственный план

Чтобы оценить степень влияния недостоверности информации о конфигурации изделия и производственных операциях на качество производственного плана, рассмотрим упрощенную модель машиностроительного предприятия (рис. 1).

**Модель машиностроительного предприятия.** Предположим, что предприятие выпускает один продукт, состоящий из 4-х узлов, включающих соответственно 7, 5, 6 и 6 деталей (всего 24 детали). Предприятие имеет 7 производственных центров и одну линию сборки, на которой собираются как узлы, так и готовое изделие. Причем по технологическому маршруту № 1, показанному на рис. 1 (литье – механообработка – термообработка), изготавливаются 11 деталей, по технологическому маршруту № 2 – 6 деталей, остальные детали – по маршруту № 3. Минимальное время обработки детали на одном рабочем центре (такт деятельности предприятия, или дискрета планирования) равно 1/4 смены, включая затраты на перемещение между рабочими центрами. Ежедневный выпуск изделия стабилен и составляет 5 штук в день.

**Рис 1.**  
Модель  
машиностроительного  
предприятия.



Чтобы построить математическую модель производства обозначим:

$WC_i, i=1 \dots 7$  – производственные центры;

$T = p_k | 0$  – производственное задание;

$p_k$  – обозначение детали, подлежащей обработке в рамках данного задания,  $k=1 \dots 24$ ;

$L_{ij} = \{T, T, \dots\}$  – множество заданий для  $i$ -го производственного центра в момент времени, соответствующий  $j$ -ой дискрете планирования;

$r_k = \{(WC_i, t_1), (WC_i, t_2), (WC_i, t_3)\}$  – маршрут обработки каждой детали  $p_k$  (множество упорядоченных пар  $(WC_i, t_i)$ );

$t_m$  – время обработки детали на соответствующем рабочем центре,  $m=1 \dots 3$ . Отметим, что максимальное значение  $m$  определяется структурой производства. В рассматриваемом случае, как следует из рис. 1, все детали имеют маршруты, включающие ровно три обрабатывающих центра.

Для данного предприятия был рассчитан производственный план на 50 рабочих смен (при этом предполагалось, что доступные мощности позволяют выполнить указанную программу производства и она обеспечена запасами покупных материалов и комплектующих). Для оценки влияния достоверности исходных данных на качество производственного плана рассмотрим три варианта ошибок в данных о технологических процессах и конфигурации изделия:

- ошибки в определении времени выполнения производственной операции  $t_m$ ;
- ошибки в назначении рабочего центра для выполнения операции  $WC_i$ ;
- ошибки в определении конфигурации (в составе узла произвольная деталь заменяется на деталь из другого узла).

Количество ошибок в производственном плане будем оценивать следующим образом

$$E = \frac{\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{200} e_{ij}}{Q} (\%), \quad e_{ij} = \begin{cases} 1, & L_{ij} \neq L_{ij}^m \\ 0, & L_{ij} = L_{ij}^m \end{cases}$$

где:

$L_{ij}^m$  – производственное задание для  $i$ -го производственного центра в момент времени, соответствующий  $j$ -ой дискрете планирования, рассчитанное на основании исходных данных с ошибками одного из перечисленных выше видов;

$Q$  – общее количество непустых производственных заданий.

## Результаты оценки по модели

Полученные результаты оценки представлены на рис. 2:

- кривая 1 представляет влияние ошибок в определении времени выполнения операций;

- кривая 2 – влияние ошибок в назначении рабочих центров;
- кривая 3 – влияние ошибок в определении конфигурации.
- Анализ показывает, что при ошибке в определении времени  $t_m$  для каждой десятой производственной операции (10% ошибок) уже 65% производственных заданий назначаются неверно (кривая 1). Количество ошибок в производственном плане достигает своего максимального значения в 92% при ошибке в определении  $t_m$  для 45% операций. Тем не менее, отметим, что в данном случае величина количества ошибок в производственном плане никогда не достигает значения 100%, поскольку назначение первой операции в маршруте обработки всегда производится правильно.

При ошибках в определении рабочих центров (кривая 2) количество неправильно спланированных рабочих заданий увеличивается гораздо интенсивнее и достигает 100% уже при уровне недоверности исходных данных в 30%. Из характера кривой 3 делаем вывод, что даже незначительные ошибки в данных о конфигурации продукта приводят практически к полной недоверности производственного плана.

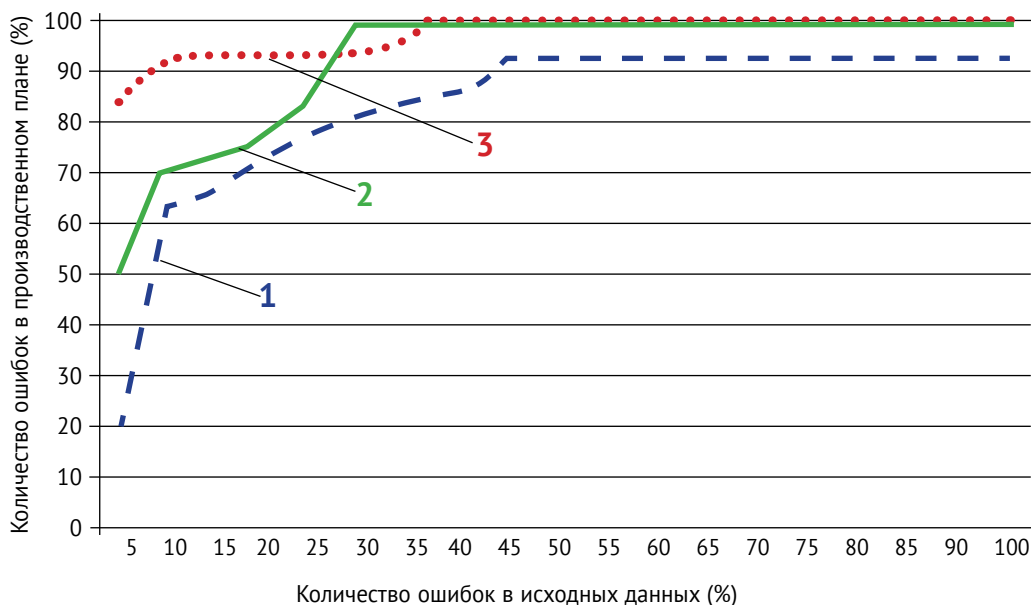


Рис. 2.

Влияние ошибок в исходных данных на точность производственного планирования.

Из вышеизложенного следует, что на отечественных предприятиях высокотехнологичного машиностроения созданию эффективных систем управления производством, опирающихся на информационные технологии, мешает несовершенство как технологической, так и управленческой инфраструктур. Несοвершенство технологической инфраструктуры резко увеличивает объем производственных операций, а отставание в организационных процессах, таких как управление конфигурацией, приводит к недоверности данных о составе продукта, что еще более плачевно сказывается на качестве планирования. И заметьте: в отличие от технологических процессов, объем данных о конфигурации продуктов примерно одинаков для российских и зарубежных аналогов.

### Об источниках передовых практик управления производством

Отметим, что за рубежом создана развитая система выявления, анализа и теоретического обобщения передовых практик управления производством. Частью этой системы являются, например, ассоциации APICS, Supply Chain Management Council, MESA и др. Значительный объем исследовательской работы ведется в университетах, ежегодно выходит большое количество публикаций, в том числе и в специализированных журналах. В России такая практика отсутствует. Основные носители знаний о передовых методах управления производством – специалисты по тем или иным информационным системам (ERP, MES, PDM...), почти всегда ограниченные набором тех бизнес-моделей, которые поддерживаются соответствующим продуктом. Особенно это справедливо для такой сложной области, как управление конфигурацией, без которой невозможно управление проектированием и производством сложной высокотехнологичной продукции. Если в области управления производством еще можно перечислить ряд публикаций на русском языке<sup>5,6</sup>, то каких-либо серьезных источников по управлению конфигурацией я назвать не могу.

<sup>5</sup> Гаврилов Д. Управление производством на базе стандарта MRP II. – СПб.: Питер, 2008.

<sup>6</sup> Исаев Д.В., Оладов Н.А., Питеркин С.В. Точно вовремя для России: Практика применения ERP-систем. М.: Альпина Бизнес Бук, 2010.



### Пути сокращения объема информации

Что же следует изменить в организации и инфраструктуре российских предприятий в ходе программы внедрения ERP/MES-системы как части стратегии повышения конкурентоспособности? В первую очередь, необходимо сократить объем информации

о производственных операциях и техпроцессах, чтобы обеспечить его достоверность. Очевидно, добиться этого поможет техническое переоснащение предприятия. Новый станок увеличит обработку за одну установку детали, сократит количество потребной оснастки, уменьшит время на перенастройку оборудования и т.д. Но, к сожалению, любое серьезное техни-

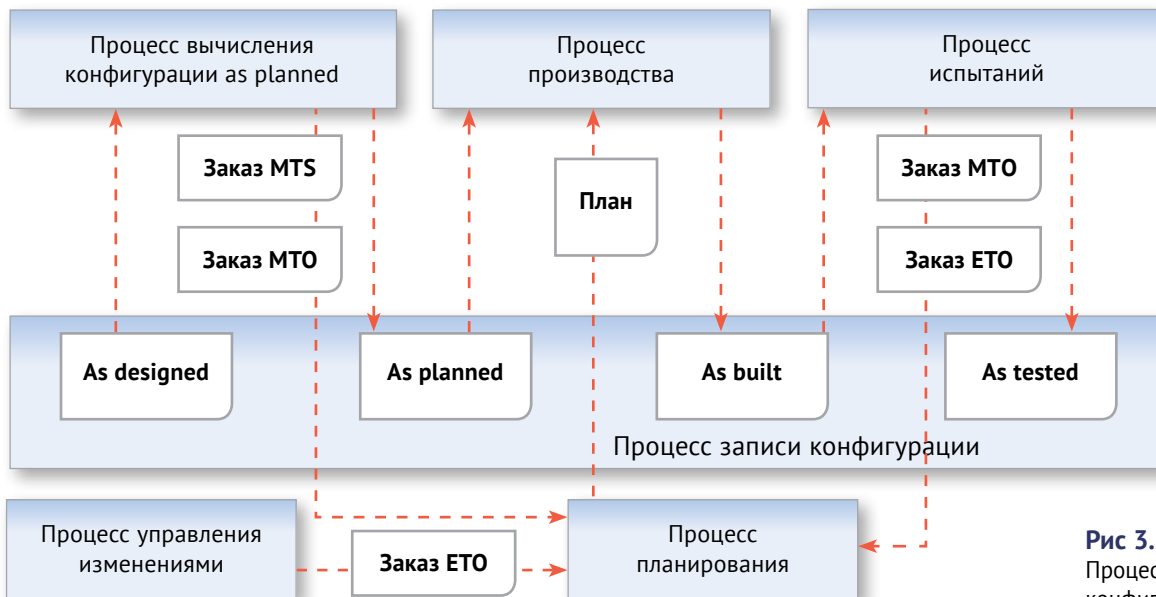
**При внедрении ERP/MES-системы в первую очередь, необходимо сократить объем информации о производственных операциях и техпроцессах, чтобы обеспечить его достоверность.**

ческое перевооружение требует объема инвестиций, который отечественные предприятия не могут себе позволить. В таких условиях можно предложить два варианта:

1. Передача части производимой номенклатуры на аутсорсинг. При этом ключевые компетенции и сборку готового продукта необходимо сохранить внутри предприятия.
2. Объединение нескольких операций техпроцесса в более крупные единицы планирования и контроля – назовем их «ключевые операции». Каждая такая ключевая операция может включать несколько традиционных, таких как транспортировка, подготовка рабочего места, обработка, промывка после обработки и т.д. Но при этом возникает ряд проблем, связанных, в частности, с использованием системы сдельной оплаты труда. Если части ключевой операции выполняются разными рабочими, невозможно зафиксировать выполнение задания каждым из них, поскольку предполагается, что ключевая операция является атомарным объектом учета.

### Постановка процесса управления конфигурацией

Второе обязательное действие – постановка процесса управления конфигурацией. На рис. 3 представлена связь процесса записи данных о конфигурации с другими процессами на стадии разработки продукта (использованы элементы нотации BPMN 1.2). В прямоугольниках отображены процессы; сообщения, которыми они обмениваются, – пунктирными линиями со стрелочкой, указывающей направление передачи сообщения; элементы данных – изображением документа.



**Рис 3.** Процессы управления конфигурацией продукта.

Создание новых и изменение существующих элементов продукта происходит с помощью процесса управления изменениями. Каждое изменение включает несколько этапов:

- определение и утверждение необходимости изменения;
- выпуск и утверждение конструкторской документации;
- анализ целесообразности закупки данной детали либо самостоятельного ее производства;
- выбор поставщиков;
- разработка процесса изготовления и необходимой оснастки;
- производство и контроль первой годной детали.

В результате формируется конфигурация *as designed* («как спроектировано»), которая описывает все возможные варианты изделия. Также в этом процессе формируются производственные заказы типа ETO (Engineering To Order – «проектирование на заказ»). Эти заказы инициируют процесс технологической подготовки (разработка техпроцесса, оснастки) и собственно производства.

Если нужно изготовить конкретный экземпляр изделия, его конфигурация *as planned* («как запланировано») вычисляется специальным процессом. Он учитывает указания о применении каждого элемента конструкции (например, использование детали может быть разрешено только для изделий в определенном диапазоне серийных номеров или в определенный период времени). Этот же процесс формирует производственные заказы типа MTO (Manufacturing To Order – «изготовление на заказ») и MTS (Manufacturing To Stock – «изготовление на склад»). Первый тип заказа открывается для достаточно дорогих деталей, которые изготавливаются только тогда, когда в них есть потребность (т.е. они входят в конфигурацию *as planned*). При этом техпроцесс изготовления должен быть уже разработан в рамках заказа ETO на эту деталь. Второй тип заказа применяется для относительно дешевых деталей и открывается, когда их запас на складе опускается ниже определенного уровня.

В процессе производства могут возникнуть различные отклонения. Документы, фиксирующие эти отклонения, а также записи о серийных номерах отслеживаемых деталей формируют конфигурацию *as built* («как изготовлено»).

Во время испытаний детали могут быть повреждены, а значит, их надо заменить. Все изменения в процессе испытаний записываются в конфигурации *as tested* («как испытано»).



## Рекомендации по использованию информационных систем для управления производством

Предприятиям, желающим улучшить управление производством за счет внедрения ERP/MES-системы, можно порекомендовать следующий обязательный набор действий по подготовке проекта:

1. Оценить объем информации, актуальность которой необходимо поддерживать; провести ревизию и формализацию процессов создания и обновления данных о конфигурации изделий и техпроцессах.
2. Включить в проект внедрения ERP/MES-системы деятельность по автоматизации процессов обновления данных о конфигурации и ключевых операциях. Эту задачу решит PDM-система, либо, если связь с данными геометрического моделирования необязательна, система класса BPMS/BAM (Business Process Management System/Business Activity Monitoring).
3. Оценить перспективы доведения количества операций, которые будут основными единицами планирования и контроля (ключевых операций), до разумных для данного предприятия пределов. Можно рассмотреть различные комбинации сценариев технического перевооружения, производственного аутсорсинга, укрупнения операций и т.д. В проектную группу по внедрению ERP/MES-системы включить специалистов по подготовке данных о ключевых операциях
4. Оценить изменения, которые придется сделать в сложившейся практике предприятия при переходе на управление и контроль по ключевым операциям (например, изменение схем оплаты труда). В проектную группу по внедрению ERP/MES системы включить соответствующих специалистов.

Результатом этих действий станет комплексный план модернизации предприятия.

### Опыт «НПО «Сатурн»

Расскажу об опыте преодоления проблем, о которых шла речь в статье, в «НПО «Сатурн» – ведущем российском разработчике и производителе авиационных газотурбинных двигателей и промышленных установок на их базе. Бизнес-стратегия компании на 2001–2010 годы предусматривала овладение компетенцией проектирования газотурбинных двигателей на уровне ведущих западных компаний, создание ряда новых продуктов для отечественного и зарубежного рынков. Такими продуктами стали двигатель SaM146 для российского регионального самолета «Сухой СуперДжет-100», разработанный совместно с компанией Snecma, двигатель AL-55 для индийского учебно-тренировочного самолета NT-36 и др.

На достижение этих целей направили и стратегию развития информационных систем компании. В результате была создана виртуальная среда проектирования масштаба корпорации, поддерживающая управление всеми данными сложного мультидисциплинарного проекта по созданию нового газотурбинного двигателя.

В 2010 году компания должна была запустить новые двигатели в серийное производство. Это потребовало и модернизации информационных систем управления производством. Тогда-то и были зафиксированы все перечисленные в статье проблемы и, чтобы преодолеть их, разработаны описанные решения (техническое перевооружение, передача на аутсорсинг некритической номенклатуры, переход на планирование и контроль по ключевым операциям, управление конфигурацией в соответствие с описанной выше моделью). Кроме того, мы перестроили систему планирования, в которой теперь выделяем три уровня с различным горизонтом: стратегический (10 лет), перспективный (5 лет) и оперативный. Перспективный и стратегический уровни обеспечивают планирование развития мощностей и соответствующих инвестиций под прогнозную программу выпуска. Реализовав на практике эти мероприятия, мы сформулировали условия успешного внедрения ERP/MES-системы в производство. Параллельно велось моделирование новых практик и бизнес-процессов на базе существующей АСУП. Выделение ключевых операций, пересмотр механизмов мотивации и другие изменения бизнес-процессов являются обязательной частью проекта внедрения ERP/MES-системы в производство.