

# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

**А.А. Островерх,**

*зам. начальника отдела ГКНПЦ имени М.В. Хруничева*

**А.В. Цырков,**

*доктор технических наук, профессор, начальник комплекса ГКНПЦ им. М.В. Хруничева*

**А. А. Криштон,**

*заведующий лабораторией, ГОУ ВПО «МАТИ» – РГТУ имени К.Э. Циолковского*

**Г.А. Цырков,**

*доцент, кандидат технических наук, ГОУ ВПО «МАТИ» – РГТУ им. К.Э. Циолковского*

*Адрес: г. Москва, ул. Новозаводская, д. 18, корп. 39Б*

*E-mail: tias@matias.ru*

*В статье рассматривается комплексное решение в области построения высокопроизводительной вычислительной среды для управления производством сложной технической продукции. Определены требования к формированию решения, а также методы решения задач, обеспечивающие достижение цели модернизации производства*

**Ключевые слова:** межфункциональные организационные структуры, технико-экономическое прогнозирование, интеллектуальная коммуникационная среда, инвариантная информационная модель, параллельные вычислительные процессы.

Одной из задач модернизации современного производства является выпуск изделий, обладающих определенными преимуществами, включая приемлемую себестоимость производства и, соответственно, цену. Также имеет

важное значение такая характеристика, как срок выхода продукта на рынок. Для достижения этих и ряда других целей модернизации необходима рациональная организация производства и управление жизненным циклом изделия.

В решении этих задач существенным звеном является выбор эффективной организационной структуры предприятия и методов управления производственными процессами. Современное развитие информационно-коммуникационных технологий подняло на новый уровень идеи и методы матричного управления предприятием. Но простой перенос старых методов управления на новую технологическую платформу не дает должного эффекта. Необходима комплексная перестройка всего механизма управления производственными процессами. В качестве направлений интенсификации можно выделить создание интеллектуальной коммуникационной среды, обеспечивающей многонаправленные и самоорганизующиеся информационные потоки, а также применение средств активного представления знаний, создающее предпосылки формирования обучающейся организационной структуры. Одной из основных методологических основ построения автоматизированных систем создания продукции, основанных на технологиях информационной поддержки (ИПИ/CALS), являются принципы и идеи организационной и информационной интеграции этапов жизненного цикла (ЖЦ). К ключевым направлениям развития ИПИ-технологий относят реорганизацию производственной деятельности, построение систем менеджмента качества, электронный документооборот и обмен данными, интегрированную логистическую поддержку, параллельное проектирование и применение многопользовательских баз данных. В конфигурацию ИПИ/CALS встраивается сопровождение цикла разработки и производства на уровне технико-экономического анализа и принятия решений в рамках всего предприятия.

При этом существенным моментом является то, что ни одно из перечисленных направлений нельзя рассматривать в отрыве от других [1, 2]. В таких условиях новый импульс развития получают идеи проектного управления и межфункциональных организационных структур на промышленных предприятиях.

Современные условия производства характеризуются ужесточением ограничений на ресурсы в условиях быстро и агрессивно изменяющейся внешней среды. В этих условиях одна из задач глубокой реорганизации производства на базе матричной схемы управления заключается в привязке нового облика бизнес-процессов к контролю бюджетных ограничений и целевому управлению. При этом

все процедуры контроля должны осуществляться в режиме реального времени, поддерживая практику динамического принятия решений (dynamic decision making).

Все сказанное представляется особенно актуальным для управления проектами, посредством которых реализуется программа стратегического развития организации в соответствии с поставленными целями, рыночными требованиями, установленными сроками и выделенного бюджета.

Компьютеризация сопровождения производственных процессов на отечественных предприятиях в последнее время набрала высокие темпы, но если рассматривать в целом проблемы конкурентоспособных производств, создающих сложную техническую продукцию, то можно выделить направления, комплексное решение которых позволит достичь наибольшего эффекта при модернизации. К таким направлениям, в частности, относятся:

- ◆ выбор гибкой, легко перестраиваемой организационной структуры;
- ◆ обеспечение непрерывного технико-экономического прогнозирования, построение интеллектуальной коммуникационной среды;
- ◆ создание унифицированной модельной платформы и организация параллельных вычислительных процессов.

#### **Межфункциональные организационные структуры**

Ключевое значение для удовлетворения выдвинутых условий имеет повышение гибкости структуры организаций. В настоящее время одной из наиболее гибких и перспективных организационных структур является межфункциональная организационная структура, позволяющая компаниям получать преимущества традиционной функциональной схемы управления при сохранении гибкости, характерной для проектной и матричной структур.

Межфункциональные формы организации (матричные и проектные структуры) позволяют быстро перераспределять человеческие и финансовые ресурсы, для того чтобы наилучшим образом реагировать на постоянно изменяющиеся условия рыночной конкуренции, технологические новшества, политическую обстановку и ожидания потребителей.

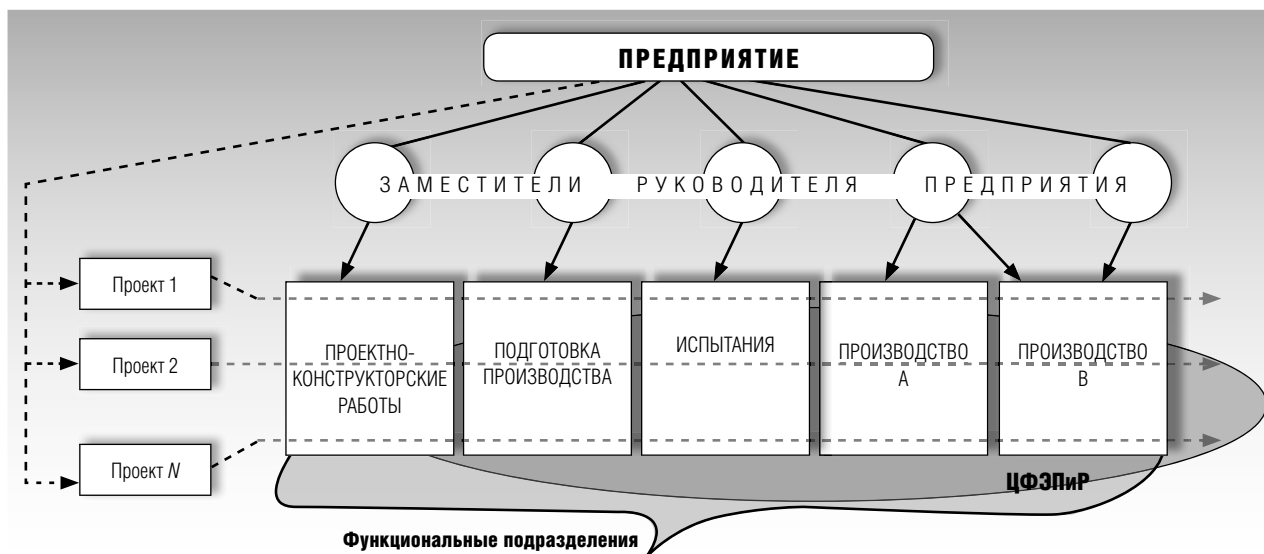


Рис. 1. Матричная организационная структура.

Традиционные иерархические, функционально организованные структуры становятся все менее способными реагировать на тенденции, формирующие современные комплексные и динамичные условия ведения бизнеса, требующими учета требований потребителей, усиления конкуренции и роста количества изменений. Потребители начинают диктовать не только условия поставок, но и цену продукции, побуждая к созданию изделий, обладающих определенными стоимостными параметрами.

Изменения приходится вносить и в изделия, и в процессы, и в структуру организаций. Компании непрерывно стремятся искать и реализовывать возможности проведения изменений в технологиях производства товаров, в технических характеристиках изделий и даже в способах их продаж конечному потребителю.

Новая система управления и организации производства должна поддерживать производственный процесс с поставками «точно в срок» (just-in-time) для сокращения издержек и повышения качества, она должна быть организована более гибко, чем производственная структура, применяющая традиционные методы работы.

При создании межфункциональных форм организации традиционная вертикальная иерархия дополняется определенными типами поперечных, горизонтальных полномочий, влияний и коммуникаций [3]. Горизонтальная составляющая обычно формируется из проектных или продуктовых форм (рис. 1). Таким образом, в матричной фор-

ме межфункциональной структуры формируется наиболее существенная особенность – двойная схема полномочий, ответственности и подотчетности, нарушающая традиционный принцип единоначалия, причем именно эта особенность является ключевой характеристикой матричного управления.

#### Центр финансово-экономического прогнозирования и рисков

Исследования производственных процессов создания сложных технических систем (СТС) показывают, что при неизменной конструкции, технологии и трудоемкости изготовления длительность производственного процесса может изменяться почти в три раза. По мере изменения длительности изменяются объемы незавершенного производства, а, следовательно, и объемы финансовых кредитов, необходимых для производства [1].

При создании новых изделий ракетно-космической техники (РКТ), освоении производства, а также эксплуатации РКТ необходимо управление всеми основными группами рисков. Критические риски связаны со снижением спроса или даже отказа от изделия, например, в результате финансово-политических потрясений или стихийного бедствия. Что же касается некритических рисков, то они могут повлиять на сроки и качество производства, вызвать нарушение сроков поставки, невыплату процентов по кредитам и займам. Также

имеют место риски, связанные с прочими финансовыми инструментами, вплоть до рисков по проекту в целом.

Решением проблемы может стать создание подразделения, осуществляющего непрерывное технико-экономическое прогнозирование всей цепочки процессов создания СТС. Вариантом решения является создание специализированного подразделения – центра финансово-экономического прогнозирования и рисков (ЦФЭПиР, *рис. 1*). Принципы и схема работы ЦФЭПиР во взаимодействии с функциональными подразделениями предприятия рассмотрены в [5]. Внедрение ЦФЭПиР позволит не только правильно оценить технические и финансовые риски, что, в свою очередь, приведет к грамотному управлению ими по нескольким направлениям (таким как физические и технические модели снижения рисков), но и даст возможность со временем организовать единый централизованный фонд, из которого будут покрываться затраты в случае происшествий различного характера, что позволит финансировать производство. Основными элементами структуры (подразделения) являются координационный модуль, модуль аналитического учета, прогнозный модуль и модуль управления риск-активами.

ЦФЭПиР органично входит в состав межфункциональной матричной структуры, ориентированной на сочетание в себе достоинств функциональной и продуктовой структур за счет обеспечения надлежащей координации проектных работ и в то же время сохранения непрерывности связей с достижениями в отдельных функциональных областях.

Можно считать, что матричная структура приведет к синергетическому эффекту, благодаря объединению программной ориентации проектной группы с узкоспециальной ориентацией персонала функциональных подразделений в форме новых взаимоотношений.

Наиболее существенным недостатком матричных организационных структур являются значительные затраты на обеспечение расширенной структуры коммуникаций. Элементом уменьшающим, либо устраняющим воздействие этого фактора, может стать построение *интеллектуальной коммуникационной среды*, организующей:

- ◆ мультиплексный обмен данными между функциональными подразделениями;
- ◆ накопление и последующее применение зна-

ний о процессах и формируемых решениях на основе унифицированной модельной платформы;

- ◆ элементы самообучения системы;
- ◆ высокую скорость выполнения расчетов функциональных задач.

### Мультиплексная информационная среда

Термин «мультиплексная информационная среда» (МИС) определен в ряде работ [2, 6] как образ организации многосвязанного пространства с изменяемым направлением информационных потоков. Эта технология может охватывать весь процесс становления и развития определенной технической системы, в рамках которой создается изделие, и предназначена для управления этим процессом с целью обеспечения наибольшей эффективности использования сил и средств при решении поставленных задач на каждом этапе жизненного цикла изделия.

Процесс естественного накопления информации об объекте анализа требует создания эволюционных моделей, фиксирующих последовательные улучшения (усложнения) системы. Этапами изменения такой производственно-технологической модели для летательного аппарата могут быть:

- учет функциональных характеристик на уровне весового расчета и анализ производственно-технологических показателей (ПТП) на единицу массы летательного аппарата;
- учет конструктивных характеристик на уровне спецификаций и анализ ПТП для процессов сборки и изготовления агрегатов по количеству деталей и нормалей (длине швов);
- учет геометрических характеристик конструкции и анализ ПТП по маршрутным и операционным процессам сборки и изготовления деталей и расчет потребности основных и вспомогательных материальных ресурсов.

Поддержка таких сложных и развивающихся объектов, способных реагировать на изменение входных структурных, логических и количественных характеристик, показывает комплексность и многоплановость рассматриваемой проблемы, что объясняет необходимость применения соответствующих моделей, основанных на общей теории систем и математическом аппарате.

Другая проблема МИС состоит в том, что современный уровень развития информационных про-

изводственных технологий требует поддержки и развития решений по управлению знаниями. Такие решения должны:

♦ способствовать приобретению знаний, способствовать применению знаний, повышающих эффективность деятельности организации;

♦ обеспечивать их хранение, распределение и преобразование в форму, удобную для внутрифирменного пользования.

Эта проблема решается путем тщательной проработки концепции централизации и практического использования накопленных знаний. В интересах управления знаниями для образованных межфункциональных проектных групп могут создаваться специальные компьютерные системы, однако более эффективным решением представляется создание унифицированной модельной платформы, обеспечивающей построение интеллектуальной коммуникационной среды.

#### Унифицированная модельная платформа

Для организации мультиплексной информационной среды может быть использован аппарат структурно-параметрического моделирования [2, 6]. Следует отметить, что этот аппарат прошел разностороннюю апробацию и признан полезным для решения многих практических инженерных задач. Ядро моделирующего комплекса, – структурно-параметрический моделлер (СП-моделлер), – ориентировано на построение моделей объектов корпоративной информационной системы. Его функциональность апробирована при решении задач формирования и обработки объектов проектно-производственных стадий ЖЦ сложных технических систем: конструкторских и технологических спецификациях, производственных системах, маршрутных и операционных технологических процессах, производственных сетях, комплексах ресурсных характеристик [7]. В основу СП-моделлера положена инвариантная информационная модель (ИИМ). Концепция ИИМ определяет модель объекта проектирования следующим образом:

$$S(A) = \{ A, \Phi, R \}, \quad (1)$$

где  $A$  – отображение элементов объекта;

$\Phi$  – отображение свойств (свойство является экспликацией таких понятий, как признак, характеристика, параметр, контур и т.п.);

$R$  – отображение отношений между элементами, элементами и свойствами.

Элементы реальной системы, будучи материальными объектами, обладают разнородными, но органически связанными друг с другом свойствами. Эти связи различаются по их роли в назначении и функционировании объекта, по природе, по уровню абстрагирования при математическом моделировании и т.д. Основными связями являются структурные и причинно-следственные связи, характеризующие взаимосвязь объектов и параметров.

Структурные связи обусловлены отношениями принадлежности объектов, их элементов и свойств к определенным множествам, отношениями иерархической подчиненности, а также отношениями инцидентности, смежности и порядка. В ИИМ определяются: связи, отражающие конструктивную, либо функциональную иерархию объекта; функциональные взаимосвязи; пространственные и временные связи; причинно-следственные связи, отражающие последовательность изменения состояний объекта или его свойств; с учетом состояния других, не обязательно смежных с ним объектов. Для моделирования причинно-следственных связей множество свойств объекта моделирования разделены на два подмножества  $F$  и  $N$

$$\Phi = F \cup N, \quad (2)$$

где:  $F = \{ f_1, \dots, f_m \}$  – множество контуров (свойств) элементов на логическом уровне представления;  $N = \{ n_1, \dots, n_j \}$  – множество параметров (свойств) элементов на количественном уровне представления. Между множествами  $F$  и  $N$  также устанавливается связь.

Применение ИИМ и структурно-параметрического моделлера позволяет строить распределенную систему расчета технических и организационно-экономических характеристик моделируемых объектов.

#### Параллельные вычислительные процессы

В ходе организации матричной платформы организации и производства на базе ЦФЭПиР планируется разработка параллельных методов и алгоритмов обработки информации.

Распараллеливание решения любой задачи многовариантно: для одной и той же математической модели можно построить различные параллельные

алгоритмы, а для каждого из этих алгоритмов – различные параллельные программы. В связи с этой многовариантностью одной из центральных проблем в области параллельных вычислений является проблема оценки эффективности алгоритмов для данной параллельной вычислительной системы или для класса таких систем. Выделяют следующие типы параллелизма [8, 9]: параллелизм данных, функциональный параллелизм, геометрический параллелизм, алгоритмический параллелизм, конвейерный параллелизм, «беспорядочный» параллелизм.

Параллелизмом данных обладают задачи, которые включают в себя неоднократное выполнение одного и того же алгоритма с различными исходными данными. Такие вычисления могут производиться параллельно. Распараллеливание на основе параллелизма данных называется декомпозицией по данным.

Функциональный параллелизм – это параллелизм групп операций, объединенных по функциональному признаку. Тривиальным примером функциональной декомпозиции является декомпозиция задачи на три следующих подзадачи: ввод исходных данных, обработка, вывод результатов, визуализация результатов. Параллелизм при этом достигается параллельным выполнением трех указанных подзадач и созданием «конвейера» (последовательного или последовательно параллельного) между ними. При моделировании летательного аппарата декомпозиции и выделению подлежат все основные подзадачи по его конструкции, условиям эксплуатации и полета. Одновременно в цикл моделирования включаются компоненты технико-экономического характера. Важно следующее обстоятельство: при функциональной декомпозиции задачи число используемых процессоров определяется числом подзадач. Увеличить число процессоров с целью увеличения скорости решения задачи при таком подходе затруднительно. Фактически, программа, использующая функциональный параллелизм, не является масштабируемой.

Для построения эффективной вычислительно-коммуникационной среды СП-моделлер обеспечивает: организацию распределенной высокопроизводительной вычислительной среды; управление информационными потоками.

Наиболее естественным решением при организации построения структуры взаимосвязи развиваю-

щихся элементов МИС является использование функциональной иерархии моделируемого объекта (рис. 2). Ветви структуры соответствуют основным потокам данных в процедурах параметрических расчетов. Это свойство структуры позволяет организовывать базовое распараллеливание процесса обработки ИИМ. Началом расчетов может являться обработка параметрической модели объекта «А», при которой задействуется процессор 1. Последовательная обработка элементов этого объекта открывает возможность передачи на обработку процессору 2 подчиненного объекта «Б». По завершении обработки объекта «А» процессор 1 может быть переключен на обработку объекта «В» и т.д. Максимальное количество параллельных процессов обработки при реализации такой схемы вычислений ограничивается лишь мощностью структуры моделируемого объекта.

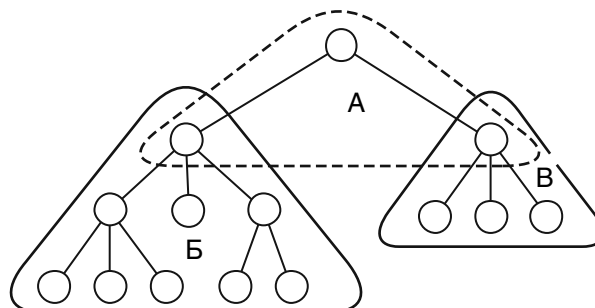


Рис. 2. Структура взаимосвязи объектов МИС.

В такой постановке задача обладает параллелизмом данных. Соответствующую параллельную программу целесообразно организовать в виде совокупности одинаковых программ, каждая из которых выполняется на своем подчиненном процессоре, и из основной программы, которая выполняется на мастер-процессоре. Декомпозиция по данным может быть статической и динамической. При статической декомпозиции по данным каждому процессу заранее назначается его доля данных. При динамической декомпозиции по данным мастер-процесс распределяет блоки данных по процессам в ходе решения задачи по мере появления данных и освобождения соответствующих процессоров [8].

Для повышения производительности вычислительной среды при обработке моделей системы управления производственными процессами возможна реорганизация взаимосвязей объектов МИС.

Например, информационный элемент (рис. 3), образуемый процедурой «Сечение» [3] формирует дополнительную «точку входа» для обработки ИИМ, объединяя (комплексирова) для обработки изначально не связанные элементы объекта. При использовании вновь включенного элемента и построенных отношений в качестве нового корня (точки входа) структуры можно изменить первоначально установленный порядок обработки модели. Такое новое образование можно использовать для согласования результатов обработки однотипных задач при управлении производственными процессами по различным элементам.

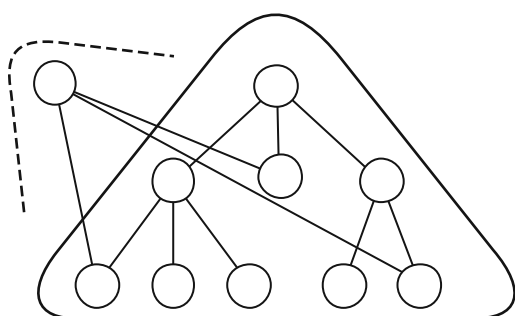


Рис. 3. Формирование дополнительных «точек входа» для обработки.

Другим способом распараллеливания процесса можно является размещение модели системы в распределенной информационной среде. Основой построения таких объектов МИС является процедура «Управляемая декомпозиция» [3]. Процедура осуществляет выделение объекта «А», его размещение как самостоятельно обрабатываемого элемента МИС и установление связей с объектом «Б» посредством образования новой модели «В», выполняющей функции согласования (рис. 4). Это позволяет строить распределенную информационную среду. Выделение моделей, выполняющих функции согласования, приводит к необходимости создания специальных процедур обработки. Согласующие модели (модели-коннекторы) строятся также на основе ИИМ, а процедуры обработки организуют доступ к обособленным объектам в распределенных вычислительных сетях. Таким образом, во множестве  $A$  элементов МИС можно выделить подмножество элементов-коннекторов, решающих задачи согласования информации в распределенной среде

$$A = A' \cup B. \quad (2)$$

Здесь  $A'$  – собственные элементы моделей задач системы;  $B$  – элементы-коннекторы.

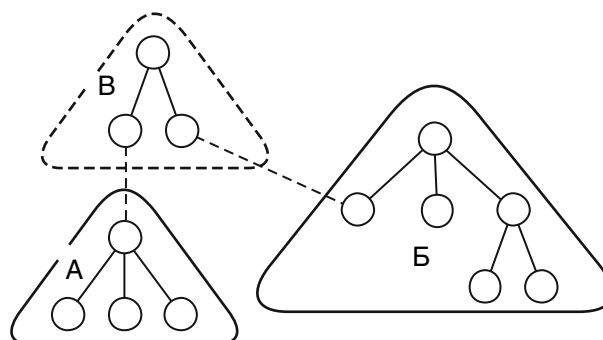


Рис. 4. Декомпозиция информационной среды.

Задача поддержки мультиплексной информационной среды требует разработки механизма управления информационными потоками при выполнении, прежде всего, вычислительных процедур. Установить заранее приоритеты в этом процессе, и тем самым предопределить структуру и направления потоков, сложно. Неопределенность состояния системы побуждается следующими факторами:

А). Процесс разработки моделей СТС предполагает постепенное наращивание возможностей, закладываемых в модели, что приводит к необходимости распределения технических знаний и связанных с ними вычислений в различных фрагментах модели объекта.

Б). Работу системы управления производственными процессами создания СТС трудно прогнозировать, вследствие возникновения множества нештатных ситуаций, связанных с устранениями несоответствий продукции. Поэтому можно принять, что появление информации подчиняется вероятностным законам распределения.

В). В структуру параметрической модели включаются параметры элементов-коннекторов, т.е. вычислительная среда становится распределенной, что также усложняет процесс решения задачи.

Перечисленные факторы требуют создания механизма согласования локальных решений. Базовые алгоритмы обработки ИИМ удовлетворяют этим требованиям, обрабатывая отношения взаимосвязей параметров таким образом, что распространение значений (информационные потоки) направляются не только от корней структуры, но и в противоположенном направлении. Система параметризации ИИМ ориентирована на построение параллельной вычислительной среды: она построена на принципах выделения функционального подобия процессов и определяет возможность

организации многосторонней направленности информационных потоков, а также инициирует итерации в процессе обработки модели.

На примерах решения задач подготовки и управления производством в масштабах распределенной производственной структуры машиностроительного холдинга, показана принципиальная возможность построения высокопроизводительной вычислительной среды системы организационно-технологического сопровождения процессов создания сложной технической продукции [1, 2, 7]. Следующий шаг развития направлен на повышение эффективности работы системы. Немаловажным аспектом в этом отношении является повышение скорости расчетов при решении задач, которая может быть повышена как за счет применения элементов современной вычислительной архитектуры, так и за счет построения распределенного информационного пространства.

В вычислительных системах параллельной архитектуры время решения задач в значительной степени зависит от того, какова внутренняя структура алгоритма и в каком порядке выполняются его операции. Дополнительное ускорение обработки прикладных задач на таких системах может быть достигнуто за счет анализа и выявления параллелизма данных и функциональных структур объектов, определения элементов модели объекта, которые могут одновременно обрабатываться. Формирование распределенной системы вычислений на предприятии позволяет проводить исследования относительно структуры алгоритмов и информационных взаимосвязей между моделями объектов, а также осуществлять разработку оптимальной архитектуры и компоновки программно-аппаратных средств с учетом технологий управления базами данных и аналитических экспертных систем и основных стандартов комплексной автоматизации предприятия. ■

#### Литература

1. Сычев В.Н., Цырков А.В. Моделирование организационно-технологических решений в производстве технических систем. Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. / ФГУП «ВИМИ», 2009, №2. — С. 12-18.
2. Островерх А.И., Цырков Г.А. Информационно-алгоритмическая среда системы подготовки производства. Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. / ФГУП «ВИМИ», 2009, №2. — С. 3-12.
3. Мильнер Б.З. Теория организации: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2000. — 480с.
4. Капустин Н.М., Дьяконова Н.П., Кузнецов П.М. Комплексная автоматизация в машиностроении: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. Н.М. Капустина. — М.: издательский центр Академия, 2005. — 368 с.
5. Цырков А.В., Островерх А.А., Мокеев М.А. Механизмы организационно-технологической поддержки комплексных проектов создания сложных технических систем. Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. / ФГУП «ВИМИ», 2010, №4. — С. 9-16.
6. Цырков А.В. Методология проектирования в мультиплексной информационной среде. — М.: ВИМИ, 1998. — 281 с.
7. Технологии интегрированных автоматизированных систем в науке, производстве и образовании: Сборник статей. Выпуски №№1-4 / Под ред. проф. Цыркова А.В. — М.: Издательско-типографский центр МАТИ, 2005 — 240 с., 2006 — 186 с., 2007 — 236 с., 2010 — 44 с.
8. Богачев Н.Ю. Основы параллельного программирования. — М.: Бином, 2003.
9. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.