

УДК 681.5.001.57 + 621

В.С. КРИВЦОВ, В.Е. ЗАЙЦЕВ, И.В. ШОСТАК, А.С. ТОПАЛ, А.Н. УСТИНОВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрены проблемы внедрения информационных технологий в современное авиационное производство, задачи, требующие решения при переводе авиационных предприятий на путь комплексной автоматизации. Предложено решение задач технологической подготовки производства на основе информационных знаниеориентированных технологий

производственные системы с искусственным интеллектом, информационные технологии производства, единое информационное пространство, автоматизация технологической подготовки производства

Введение

Сложность современного производства влечет за собой необходимость интеллектуализации производственных информационных систем и создания производственных систем с искусственным интеллектом (ПСИИ). Наиболее перспективным методом анализа и синтеза таких систем является использование технологии распределенного интеллекта на основе агентной парадигмы [1]. Вместе с тем в существующих мультиагентных системах [2] агентам (интеллектуальным и простым) отводится второстепенная роль “информаторов” центров принятия решений, расположенных на соответствующих уровнях иерархической системы управления предприятием.

Задача исследования – проанализировать проблемы, связанные с построением эффективных ПСИИ, а также описать возможные пути решения этих проблем на основе онтологического подхода и технологии мультиагентных систем.

1. Концепция построения производственных систем управления холонического типа

Нынешний этап эволюции ПСИИ, связанный в первую очередь с концепцией виртуального производства, характеризуется развитием холонических

систем управления (ХСУ) [1]. Указанный тип СУ, в отличие от многоуровневых иерархических систем [3], строится не на принципах “вмешательства” и координации действий нижележащих подсистем элементами вышестоящих уровней, а на принципах переговоров “равных с равными” элементов одного и того же уровня [4].

Основной структурный элемент ХСУ – холон, должен обладать в соответствии с приданным ему статусом известной самостоятельностью и различными чертами социального поведения, например, способностью по собственной инициативе кооперироваться с другими холонами для совместного решения производственных задач [1]. В предельном варианте, соответствующем открытой ХСУ [1], иерархическая структура полностью заменена гетерархией автономных холонов, реализованных в виде интеллектуальных агентов. При этом функции административных элементов системы сведены к наблюдению и информированию. По А. Кёстлеру, полная автономность холонов в гетерархической структуре приводит к холархии [5].

В настоящее время на Западе и в России развивается теория производственных ХСУ, которая строится исходя из предположения, что холоны являются временными образованиями, порожденными конфликтными ситуациями в процессе производства (типичный пример конфликтной пары: объем и сро-

ки заказа – временные и материальные ресурсы производства). Такой взгляд на холоны трактует их зарождение и развитие в пространственно-временном континууме как неких сущностей, бытие которых всецело определяется законом единства и борьбы противоположностей. При этом эволюция ХСУ рассматривается как процесс естественного отбора холонов в ходе конкурентной борьбы за заказы и ресурсы, вплоть до разработки методов принудительного скрещивания «успешных» холонов для получения новых, более совершенных экземпляров, целых поколений и т.п. [4].

2. Проблемы синтеза производственных ХСУ на отечественных машиностроительных предприятиях

Рассмотренный выше подход малоприменим в условиях Украины, где большинство сложных объектов управления (СОУ) на уровне предприятий и отраслей по-прежнему имеет жестко централизованную структуру, что не позволяет в полной мере применять холистические методы к синтезу ПСИИ. Исходя из этого, особую актуальность приобретают проблемы, связанные с разработкой методов анализа и синтеза производственных СУ смешанной структуры, которые сочетали бы в себе стабильность и упорядоченность иерархических структур с гибкостью и динамичностью гетерархии. Структурные элементы таких систем, будучи иерархически упорядоченными, в штатных режимах работы СУ получили бы возможность “горизонтального” и “диагонального” взаимодействия, вплоть до игнорирования некоторой части необязательных к исполнению инструкций, исходящих от элементов вышележащих уровней и препятствующих осуществлению кооперации. В экстремальных же ситуациях (предаварийных, аварийных и катастрофических), приоритет отдавался бы иерархической организации управления, как наиболее эффективной в подобных случаях.

Проблема создания производственных ХСУ с учетом особенностей отечественного производства требует решения следующих теоретических задач:

- 1) разработка и обоснование архитектуры ХСУ:
 - иерархической части структуры ХСУ с использованием методов вертикальной декомпозиции многоуровневых систем [3];
 - холонической части структуры ХСУ на основе теории эволюционных систем управления [4];
- 2) формализованное описание типовых холонов и их семейств в составе производственной ХСУ методами теории категорий и концептуального проектирования [6]:
 - описание единичных холонов;
 - описание условий существования семейств холонов в ХСУ;
- 3) исследование системных свойств ХСУ: управляемости, наблюдаемости, устойчивости, целостности, открытости.

Реализация указанных выше теоретических положений в виде особой компьютерной среды требует решения комплекса прикладных задач, что в свою очередь образует эпистемологическую базу теории производственных ХСУ [4]:

- 1) создание онтологий структуры управления машиностроительным предприятием как иерархии, идентичной структуре ХСУ, при этом каждый структурный элемент общей онтологии является соответствующей его функциям предметной онтологией:
 - разработка множеств предметных онтологий;
 - объединение их в общую онтологию с помощью специальных алгебр [2];
- 2) разработка ситуационного эмпирического базиса ХСУ на основе гипотезы о монотонности пространства решений [8]:
 - организация в форме Data Warehouse хранилища прецедентов или ситуаций, имевших место ранее и служащих обоснованием для формируемых решений;
 - интеллектуальная обработка данных информационного эмпирического базиса (с привлечением технологий Data Mining и Knowledge Discovery) для приобретения новых знаний о поведении СОУ;
- 3) описание системы ограничений на решения по управлению в виде микротеорий, являющихся

частными моделями производства и описываемых следующими псевдофизическими логиками [8]:

- временной (темпоральной);
- пространственной;
- причинно-следственной (каузальной);
- логикой действий;

4) выбор исчисления теории ХСУ как набора формальных процедур представления и манипулирования знаниями:

- процедур управления знаниями (Knowledge Management) для реализации задач верхнего уровня принятия решений в ХСУ;
- процедур решения функциональных задач в процессе управления СОУ;
- процедур коллективного взаимодействия различных центров обработки знаний в ХСУ на основе концепции мультиагентных систем [2].

Из перечисленных выше задач, наиболее важными являются: в теоретическом плане – разработка и обоснование иерархической части структуры ПСИИ с использованием методов вертикальной декомпозиции многоуровневых систем [3]; в прикладном – создание онтологий структуры управления машиностроительным предприятием как иерархии, идентичной структуре ПСИИ.

Проиллюстрируем решение указанных задач в предметной области «Технологическая подготовка производства на авиастроительном предприятии».

3. Синтез фрагмента «Технологическая служба» архитектуры ПСИИ авиастроительного предприятия с использованием методов вертикальной декомпозиции

Технологическая служба (ТС) авиастроительного предприятия, в рамках которой осуществляется технологическая подготовка производства (ТПП), включает главного технолога, отдел главного технолога (ОГТ) с различными службами (ТБМО, КБМО, БППП и др.), функционально подчиненные ОГТ производственные подразделения (инструментальный цех, механический цех и т.д.). Таким образом, ТС авиастроительного предприятия относится к ка-

тегории сложных, многоцелевых систем организационно-технического типа. Для описания таких систем наиболее пригодно иерархическое многоуровневое представление [6].

При таком подходе система представляется совокупностью моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения различных уровней абстрагирования. Такие системы называют системами со стратифицированным описанием. Уровни абстрагирования, принятые при таком описании, называют стратами [3].

Для стратификации ТС авиастроительного предприятия целесообразно выделить пять уровней, верхний из которых носит название проекта, а далее следуют технологические процессы, технологические операции, переходы, компоненты.

Проектом в ТС авиастроительного производства называется совокупность технологических процессов, относящихся к производству конкретной модели (или модификации) самолета.

Для обозначения нижележащих страт воспользуемся определениями в соответствии с [9].

Технологический процесс (ТП) – часть производственного процесса, соединяющая целенаправленные действия по изменению состояния предмета труда.

Технологическая операция – законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте.

Переход – часть работ, выполняемых за одну установку изделия в станке.

Компонент – любая функционально значимая в ТПП часть производственных ресурсов.

Компонентами являются исполнители (рабочие-станочники), станки, инструменты, заготовки, технологическая оснастка и т.д.

В общем случае одному переходу могут соответствовать различные наборы компонентов, однако выполнение перехода невозможно при отсутствии хотя бы одного полного набора компонентов.

Важным свойством стратифицированной системы является сокращение информации, идущей вверх по иерархии: для вышестоящих уровней многие воздействия от нижних страт несут одинаковую ин-

формацию [6]. Исключение дублирующей информации и ее агрегирование в верхних стратах определяет уменьшение числа решающих элементов снизу вверх вплоть до единственного элемента на самом верхнем уровне иерархической структуры.

Приведенные выше соображения указывают на целесообразность дополнения стратифицированного описания системы вертикальной декомпозицией на эшелоны, т.е. построения многоэшелонной иерархии организационного типа.

Выделение уровней организационного типа (эшелона) в структуре ТС авиастроительного предприятия естественным образом вытекает из традиционного деления производства на следующие элементы: участки (нижний эшелон), цеха, ОГТ, главный технолог (верхний эшелон). При этом эшелону «Участок» соответствуют страты «Компоненты» и «Переходы», эшелону «Цех» – страты «Технологические операции» и «Технологические процессы», эшелону «ОГТ» и «Главный технолог» – страт «Проекты».

В связи с тем, что сложность процессов принятия решений на различных уровнях реализации ТПП зачастую не позволяет использовать аналитические модели, единственным эффективным средством является организация интеллектуальной поддержки принятия технологических решений на основе знаниеориентированных методов. Исходя из этого, многоуровневое описание архитектуры ТС авиастроительного предприятия целесообразно дополнить функциональной иерархией принятия решений в условиях неопределенности. Эта иерархия возникает в связи с тремя основными аспектами проблемы принятия решений в условиях неопределенности:

- 1) выбором стратегии, которая должна быть использована в процессе решения;
- 2) поиском оптимального или рационального образа действий в заранее заданных условиях;
- 3) уменьшением или исключением неопределенности.

Исходя из изложенных выше соображений, целесообразно представить ТС авиастроительного пред-

приятия в виде трех слоев принятия решений: слоя «Ресурсы», слоя «Задачи» и слоя «Стратегии».

Слой «Ресурсы» включает решающие элементы (блоки), расположенные на эшелоне «Участок» и оперирующие понятиями из двух страт: «Компоненты» и «Переходы».

На слое «Задачи», соответствующем эшелону «Цех», находятся решающие блоки, использующие понятия страт «Технологические операции» и «Технологические процессы».

Слой «Стратегии» охватывает два элемента («Главный технолог» и «ОГТ») и соответствует стратифицированному описанию уровня «Проекты».

Таким образом, использование трех типов иерархии для многоуровневого описания ТС дает возможность синтезировать архитектуру фрагмента «Технологическая служба» ПСИИ авиастроительного предприятия в виде, представленном на рис. 1. Приведенная на рис. 1 многоуровневая структура ПСИИ может быть дополнена горизонтальной декомпозицией на модули, каждый из которых отразит процессы формирования и принятия технологических решений в определенной подобласти предметной области (ПрО) «ТПП авиастроительного предприятия». Например, модуль «Механообработка» описывается триадой «КБМО, ТБМО» – $R_{МО}^{(2)}$ – $R_{ТОК}^{(1)}$, $R_{ФРЕЗ}^{(1)}$, $R_{СВ}^{(1)}$. Горизонтальная декомпозиция дает возможность отразить в модели ИИСПП «КВАНТ+» специализацию подсистем и позиционировать блоки принятия решений по отношению к структуре ПрО.

Рассмотренное описание ПСИИ представляет собой типичную концептуальную модель, поскольку ее элементы – решающие блоки, представлены в виде «черных ящиков». Преобразование данной модели из дескриптивной в перспективную состоит в ее последовательной конкретизации. Рассмотрим первый этап конкретизации концептуальной модели ПСИИ, состоящий в разработке структур типовых решающих блоков: «Главный технолог», «Технолог цеха», «Мастер производственного участка».

Каждый решающий блок, являясь по своей природе человекомашинной системой, включает лицо,

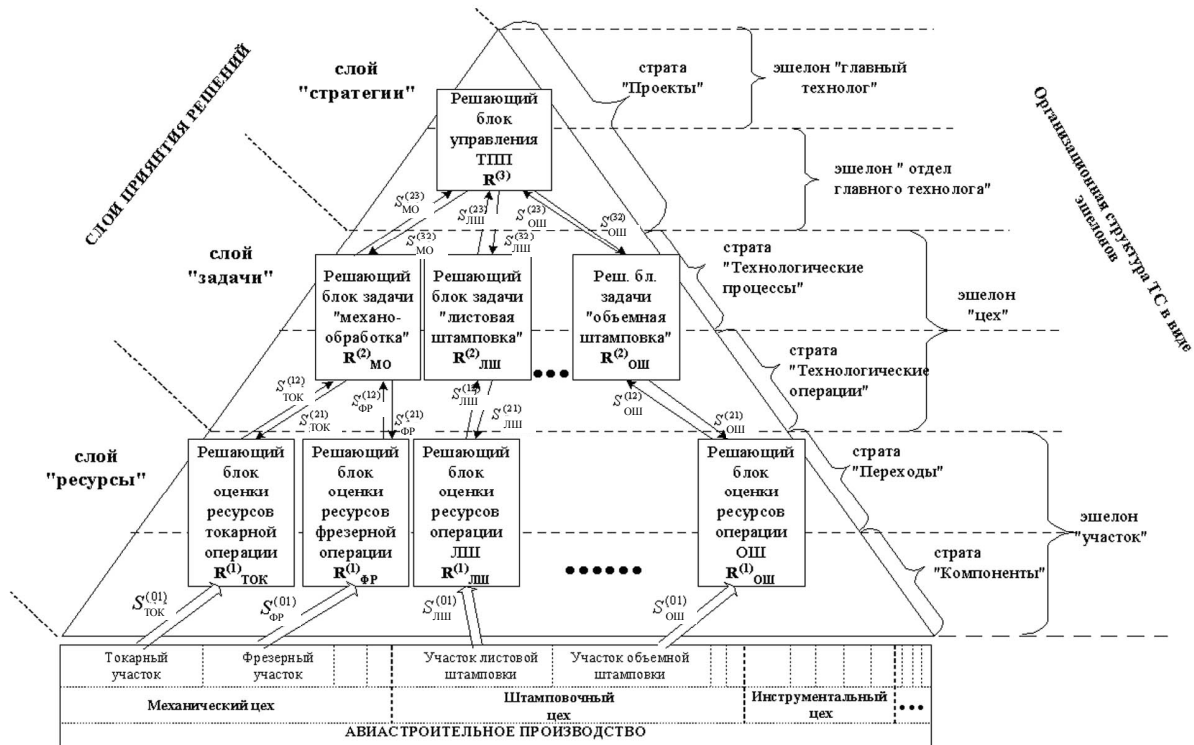


Рис. 1. Стратифицированное многослойное представление ПСИИ с вложенной эшелонной структурой для реализации ТПП авиастроительного предприятия

принимающее решения (ЛПР), информационную компоненту, интеллектуальную компоненту.

В структуре решающего блока «Главный технолог», представленной на рис. 2, информационной компонентой является автоматизированная информационная система (АИС) ОГТ. В АИС ОГТ выделены подразделения: МЦ – множительный центр; БППП – бюро планирования подготовки производства; специализированные КБ и ТБ. Указанные на рис. 2 информационные потоки отражают следующее: $S_{КД}$ – комплект конструкторской документации на изделие (например, чертежи и спецификации самолета АН-140, разработанные на АНТК «Антонов»); потоки с двойной системой индексации указывают направление потока (верхний индекс) и тип взаимодействующих элементов (нижний индекс).

На рис. 3 представлена структура типового решающего блока слоя «Задачи», для примера взята задача «Механообработка».

Структура типового решающего блока слоя принятия решений «Задачи» имеет в своем составе: ЛПР; интеллектуальную компоненту в форме ИСППР на основе квантовой модели представления

знаний; информационную компоненту (САМ-модуль); интеллектуальные агенты (ИА) двух типов – ИА «САМ», осуществляющий интеллектуальную обработку данных о производственных ресурсах, ИА «Мониторинг», предназначенный для снабжения квантовой ИСППР данными о текущем состоянии ресурсов соответствующего производственного подразделения.

Рассмотрим структуру типового решающего блока оценки ресурсов выполнения операции (слой принятия решений «Ресурсы»). Этот блок включает в себя: ЛПР, в качестве которого выступает мастер производственного участка; интеллектуальный агент, осуществляющий непосредственный сбор и интеллектуальную обработку данных о текущем состоянии производственных ресурсов. Интеллектуальная обработка данных заключается в решении задач двух типов: идентификационных, позволяющих, например, установить характер отклонений от штатных режимов ТПП и прогнозных, которые дают возможность количественно определить временные, финансовые и прочие потери в результате этих отклонений.

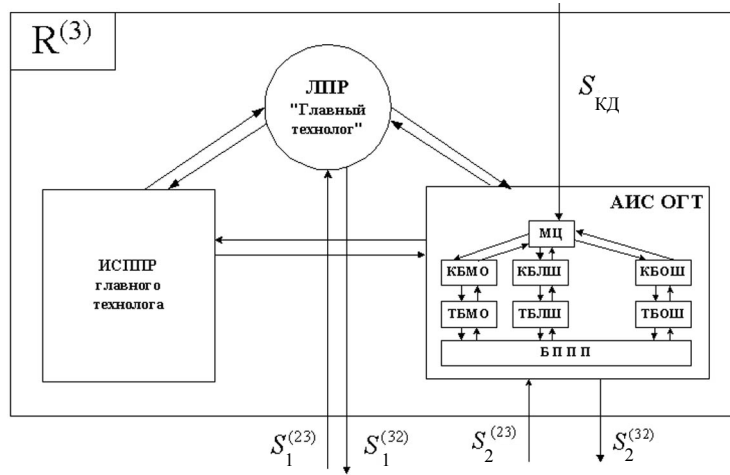


Рис. 2. Структура блока принятия решений «Главный технолог»

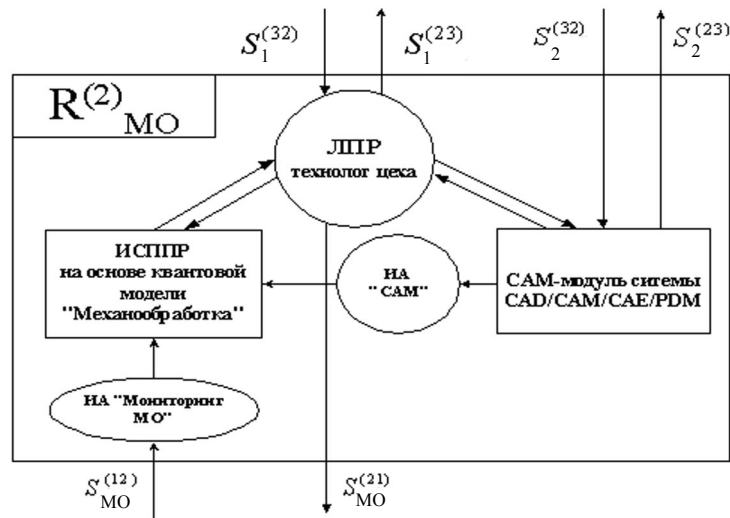


Рис. 3. Структура блока принятия решений «Механообработка»

Входные информационные потоки (рис. 4): $S_{MO}^{(01)}$ – факты о состоянии ресурсов производства и $S_{MI}^{(21)}$ – поток информации от технолога, в том числе изменения и уточнения техпроцессов; $S_{MO}^{(12)}$ – поток информации о текущем состоянии производства для ИА «Мониторинг».

Описанная структура фрагмента ПСИИ авиационного предприятия отражает эпистемологическую составляющую интеллектуальной технологии. Вместе с тем, процессы формирования решений в ПСИИ связаны с необходимостью учета ряда стандартов (международных, отраслевых, СТП и т.д.), инструкций, а также общепринятых технологий. Эти знания по своей природе образуют систему ограничений принятия решений, сравнительно редко

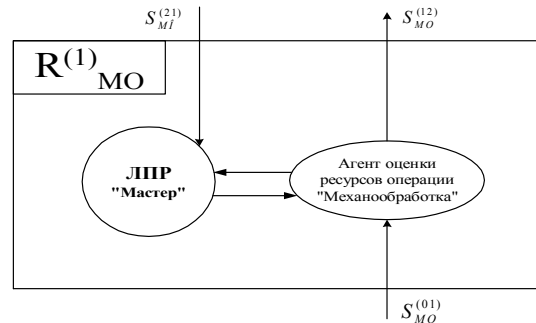


Рис. 4. Структура решающего блока оценки ресурсов операции «Механообработка» (уровень участка)

изменяются и используются многократно. Эту разновидность знаний целесообразно организовать в виде онтологической системы [10]. Онтологическая часть ПСИИ по своей структуре идентична архитектуре, рассмотренной на рис. 1, поскольку каждый решающий блок включает в себя онтологическую компоненту.

4. Фрагмент онтологии структуры управления авиастроительным предприятием на этапе ТПП

Среди перечисленных выше прикладных задач одной из наиболее важных является создание онтологии структуры управления предприятием.

Проиллюстрируем создание онтологии структуры управления на примере технологической подготовки производства авиастроительного предприятия с использованием инструментальной среды построения онтологий Protégé 2000 (рис. 5). На рис. 6 показана структура классов, описывающая базовые понятия предметной области «ТПП авиастроительного производства». Каждый класс представляется в виде фрейма, связь между различными классами реализуется записями в соответствующих слотах фрейма. Например, связь с фреймом «Участок цеха» реализуется через соответствующую запись слота «Состоит из». Классовая организация также задает определенные связи между фреймами. Так как одно понятие может иметь несколько родительских классов, то в онтологии (рис. 5) такие понятия повторяются. Так, для класса «Цех» (рис. 6) имеются конкретные подклассы: «Сборочный цех», «Цех механообработки», «Кузнечно-прессовый цех», «Заготовительный цех», «Летно-испытательная станция».

Для базового понятия «Участок цеха» онтологии структуры управления авиастроительным предприятием на этапе ТПП может быть построена своя онтология (рис. 7).

Выводы

В итоге проведенных исследований и моделирования структуры ТС авиационного производства были выделены путем вертикальной декомпозиции слои принятия решений в структуре ТС и увязаны с организационной (эшелонирование) и дескриптивной (стратификация) формами представления управляющей системы принятыми при многоуровневом подходе [6].

Разработаны структуры типовых решающих блоков для каждого слоя принятия решений как человеко-машинных подсистем, в состав которых входят ЛПР, информационные и интеллектуальные компоненты. Интеллектуальные компоненты ре-

шающих блоков имеют в составе интеллектуальные агенты, как особые программные сущности, способные к автономному решению прикладных задач.

Разработан фрагмент онтологической системы ПСИИ авиастроительного предприятия, описывающий функционирование ТС.

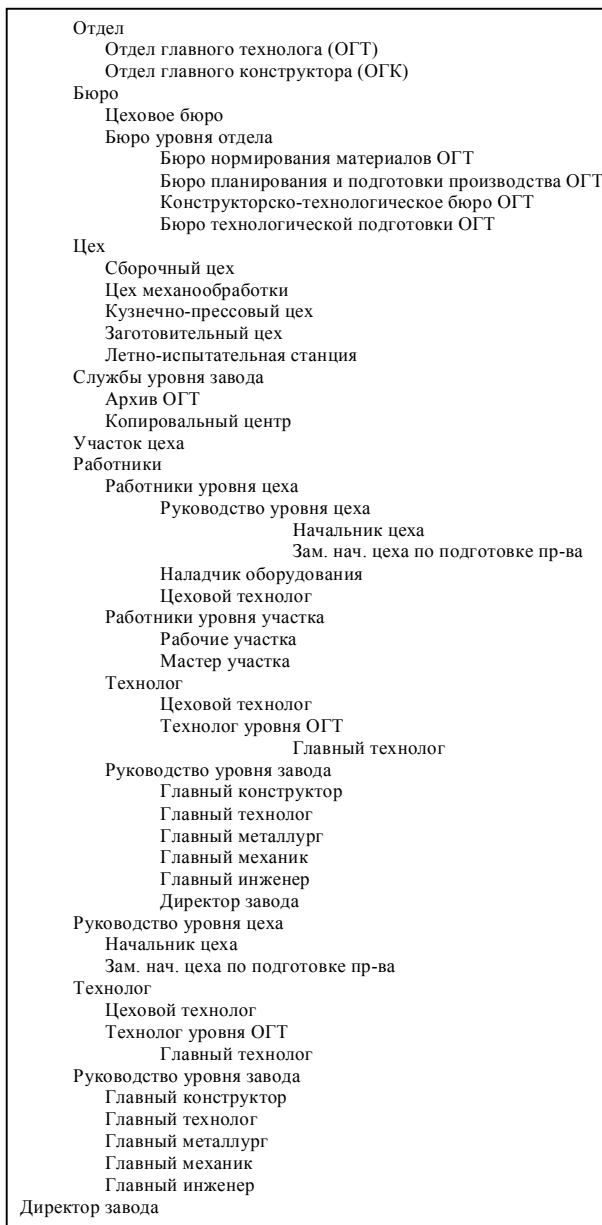


Рис. 5. Фрагмент онтологии структуры управления авиастроительным предприятием на этапе ТПП

Имя фрейма	Цех (Абстрактный класс)
Имя слота	Запись слота
Управляется	Начальник цеха
Состоит из	Участок цеха
Содержит	Бюро уровня отдела

Рис. 6. Прототип фрейма описания класса «Цех»

Участок цеха
Персонал участка
Мастер
Рабочие
Наладчики
Оборудование
Станки с ЧПУ
Ножницы
Транспортные тележки
Инструмент
Приспособления
Материал
Кладовая инструментов, приспособлений, материалов
Изготавливаемые детали

Рис. 7. Фрагмент онтологии структуры управления участком цеха авиастроительного предприятия

Блоки принятия решений и соответствующие им фрагменты онтологической системы были позиционированы путем горизонтальной декомпозиции по отношению к структуре авиастроительного производства.

На основе приведенных выше результатов можно сделать следующие выводы.

1. Построенная концептуальная модель ПСИИ на примере ТС авиастроительного предприятия характеризует данную систему как систему с распределенным интеллектом, поскольку выполнены два необходимых условия [1]: специализация центров обработки знаний (горизонтальная декомпозиция системы на модули); интеграция знаний путем их агрегирования в соответствии с многоуровневым представлением [7].

2. Наличие в системе интеллектуальных агентов дает возможность наделять решающие блоки чертами социального поведения для обеспечения внутриуровневых взаимодействий, что обуславливает в дальнейшем возможность перехода к холоническому представлению структуры системы.

3. Дополнение разработанной модели ПСИИ онтологической компонентой открывает перспективы организации хранилища прецедентов в форме Data Warehouse. На этой основе в дальнейшем предполагается создать корпоративную память ТС авиационного производства и, таким образом, реализовать основной этап технологии Knowledge Management [2, 10].

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые разработана концептуальная модель ПСИИ управления производственным предприятием на основе онтологического подхода к представлению знаний с использованием методов вертикальной декомпозиции. Данный подход позволяет на практике осуществлять синтез и анализ ПСИИ холонической структуры, адаптированных к особенностям отечественного авиастроительного производства.

Литература

1. Виттих В.А. Эволюционное управление сложными системами // Известия Самарского научного центра РАН. – 2000. – Т. 2, № 1. – С. 53 – 65.
2. Хорошевский В.Ф. Методы и средства проектирования и реализации мультиагентных систем // Материалы семинара «Проблемы искусственного интеллекта». – ИПУ РАН. – 1999.
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 345 с.
4. Виттих В.А. Управление открытыми системами на основе интеграции знаний // Автометрия. – 1998. – № 3. – С. 38 – 49.
5. Kostler A. The Ghost in the Machine. – London: Arcana books, 1989. – 445 p.
6. Месарович М., Такахара И. Общая теория систем: математические основы. – М.: Мир, 1978. – 337 с.
7. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
8. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
9. ГОСТ 3.1109-82. «ЕСТД. Термины и определения основных понятий».
10. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – С.-Пб.: Питер, 2001. – 170 с.

Поступила в редакцию 17.08.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.