

УДК 004.78

**И.В. ШОСТАК, Л.А. ГОРДИЕНКО, Е.П. КИРИЧУК, А.С. ТОПАЛ**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина*

**ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В АВИАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Рассмотрены подходы к созданию производственных систем искусственного интеллекта на основе применения квантового подхода к представлению знаний и мультиагентной технологии. Результаты проведенных исследований проиллюстрированы на примере поддержки принятия решений в технологической подготовке авиационного производства

**принятие решений, искусственный интеллект, мультиагентная технология, авиационное производство, автоматизация, алгоритм**

**Введение**

Современный этап автоматизации машиностроительных предприятий в ведущих странах мира характеризуется интенсивной разработкой и широким внедрением CAD/CAM/CAE/PDM и CALS систем, включающих интеллектуальные компоненты [4]. Такие системы разрабатываются, как правило, по заказу крупных компаний и ориентированы в первую очередь на массовое производство (например основной потребитель системы EUQLID концерн Пежо). Компьютерные версии этих продуктов представлены на рынке программного обеспечения наряду с инструментальными оболочками для создания отдельных, главным образом CAD и CAM модулей (CATIA, ADEM и др.) [1]. Последние, несмотря на доступную для средних предприятий цену, не могут быть использованы при комплексной автоматизации производства.

Функционирование предприятий авиационного профиля, расположенных в Украине и странах СНГ, имеет ряд характерных особенностей, таких как сравнительно небольшие объемы производства, высокий процент ручного труда, частые модификации выпускаемых изделий и изменения их номенклатуры. Указанные особенности должны быть непременно учтены при комплексной авто-

матизации производства, что весьма затруднительно при использовании указанных выше универсальных программно-инструментальных оболочек. Имеющаяся же на рынке CAD/CAM/CAE/PDM система Unigraphics, основная версия которой создана по заказу компании Boeing, ориентированная на авиастроительное производство, не может быть приобретена в полном объеме отечественными предприятиями в силу ее дороговизны.

В данных условиях актуальной проблемой является создание методологии синтеза программно-инструментальных средств для комплексной автоматизации как авиастроительных производств, так и предприятий родственных отраслей (приборостроительных, судостроительных). Указанная проблема предполагает решение следующих теоретических и прикладных задач: выбор наиболее рациональной модели представления знаний, разработка архитектуры и основных принципов функционирования интеллектуальной системы, создание методологии интеллектуальной поддержки принятия решений в авиационном производстве, реализация отдельных функциональных модулей системы в рамках исследовательского прототипа.

В работе [2] разработаны квантовые модели представления знаний, а в [3] показана возможность их

применения для создания производственной системы искусственного интеллекта (ПСИИ). Архитектура и основные принципы работы ПСИИ для авиационного производства описаны в [5].

Поскольку технологическая подготовка производства (ТПП) в авиационной промышленности характеризуется относительно большой долей творческого труда, для этой фазы жизненного цикла изделия были разработаны модели, алгоритмы и программный инструментарий создания следующих функциональных модулей для создания ПСИИ - подсистемы поддержки принятия технологических решений при изготовлении деталей листовой штамповкой [6], а так же подсистемы мониторинга текущего состояния производства [7]. Однако, до сих пор оставалась нерешенной задача интеграции указанных выше подсистем.

Целью данной статьи является разработка путей и методов интеграции разнородных функциональных и структурных модулей в рамках ПСИИ.

### **Разработка подсистемы поддержки принятия решений в ТПП изготовления деталей листовой штамповкой**

Процессы холодной штамповки вследствие высокой производительности и экономической эффективности являются наиболее прогрессивными, благодаря чему они получили широкое применение в различных отраслях промышленности, связанных с металлообработкой.

Широкое использование в производстве процессов холодной листовой штамповки, повышение требований к качеству проектов, необходимость подготовки этих проектов в наиболее короткие сроки – все это явилось причиной для интенсивного развития исследований и научно-технических разработок в области создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений в техно-

логической подготовке листоштамповочного производства. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений помогают технологу принимать решения в условиях многокритериальности выбора и неопределенностей, обусловленных неполнотой и нечеткостью данных, преобладанием качественных характеристик производственных ситуаций. В этих условиях затруднен оптимальный выбор оснастки, оборудования и вариантов его сочетаний в связи с отсутствием систематизированной информации о технологических возможностях и конструктивных особенностях листоштамповочного оборудования и оснастки.

В методическом плане данная разработка опирается на достижения науки в области моделирования умственной деятельности человека, формализации процесса принятия рациональных и оптимальных технологических решений на базе использования теоретических положений РАКЗ, и ВАКЗ-методов и результатов экспертного анализа процесса листовой штамповки.

Исходными данными для проектирования технологического процесса являются чер-теж детали, используемый материал, точность изготовления, указания о характере и условиях предполагаемого производства (годовой программе, наличии специального оборудования, сроков выполнения).

Данная разработка предназначена для проектирования технологических процессов изготовления деталей, штампуемых из листа. Система решает следующие задачи: выбор рационального варианта технологического процесса штамповки; определение вида и размера заготовок; определение рационального раскроя деталей в полосе; выбор типа штампа; расчет усилия и работы; выбор прессы.

С применением РАКЗ и ВАКЗ-методов, решение указанных задач сводится к выявлению слабоструктурированных задач, получению по ним сценарных обучающих примеров решения и генерирования кван-

тов сетей рассуждений, решающих выявленные задачи.

Результат работы системы проектирования ТП – технологическая карта.

Использование интеллектуальной СППР для проектирования технологических процессов штамповки позволяет повысить качество проектов и сократить общее время, требуемое на разработку. Экономическая эффективность интеллектуализации проектирования ТП холодной листовой штамповки определяется в основном сокращением в несколько раз сроков проектирования, повышением качества проектных решений (за счет многовариантного решения задачи), снижения стоимости изготовления проектной документации.

### Выбор оснастки. Постановка задачи.

При проектировании оснастки возникает ряд слабоструктурированных проблем, к которым относятся, например, задачи выбора совмещенности операций в штампе, выбора типа раскроя и прогнозирования износа оснастки в условиях неопределенности. Решение подобных проблем достигается лишь на основе использования экспертных знаний, то есть с помощью подсистем, способных извлекать, обрабатывать и накапливать знания, как это делает человек – эксперт.

Для решения указанных проблем требуется разработать интеллектуальный блок, реализующий синтез сетей рассуждений. Исходными данными для генерирования сетей рассуждений являются: пороговое значение математического ожидания достоверности найденных закономерностей  $M_s$  и обучающая выборка, представляющая собой конечное множество объектов исследуемого класса. Результатом является сеть принятия решений.

### Выбор оснастки. Методология решения

В основе подсистемы выбора оснастки лежит метод равноуровневых алгоритмических квантов знаний (РАКЗ-метод), базирующийся на квантовом подходе [1] к представлению и манипулированию знаниями.

Для указанных слабоформализованных задач спроектированы соответствующие базы знаний.

Применение методов инженерии знаний позволяет за короткий промежуток времени рассмотреть множество вариантов раскроя и выбрать наиболее эффективный из них. При выборе типа раскроя учитываются следующие характеристики:

- конфигурацию детали (простая, Г-образная, ТПШ-образная);
- размер (крупная, средняя, мелкая);
- тип производства (серийное, крупносерийное, массовое).

Целевой характеристикой является тип раскроя (прямой, наклонный, встречный, многорядный).

При выборе типа оснастки нужно учитывать следующие характеристики:

- количество операций (одна, несколько);
- тип производства (серийное, крупносерийное, массовое);
- точность (низкая, средняя, высокая);
- размеры детали (меленькая, средняя, крупная);
- конфигурацию детали (простая, сложная).

Целевой характеристикой является тип штампа (простой, совмещенного действия, последовательного действия).

Для решения этих задач сформированы  $t$ -квантовые базы знаний в виде систем закономерностей.

### Пример работы системы поддержки принятия технологических решений при выборе оснастки

Для задания детали требуется задать чертеж детали и дополнительные данные.

На рис. 1 приведен пример работы подсистемы при выборе оснастки. В представленном примере интеллектуальный блок был выполнен дважды: для выбора

типа раскроя и для выбора совмещенности операций в штампе. Подсистема выбора оснастки автоматически генерирует промежуточную технологическую карту листовой штамповки для заданной детали. В поля «марка материала», «вес», «название детали» и «количество деталей на одно изделие» заносит заданные данные; заносит размеры выбранной заготовки и вычисленные процент отходов, вес заготовки на одну деталь и вес отходов на одну деталь в соответствующие поля. В поля «эскиз детали» и «эскиз раскроя» заносит соответствующие сгенерированные системой эскизы. Строчки, назначающие операции, заполняются подсистемой выбора оборудования.

### Выбор оборудования

Подсистема выбора оборудования в методическом плане опирается на метод вероятностных алгоритмических квантов знаний (ВАКЗ-метод) [2] и результаты экспертного анализа процесса листовой штамповки.

Подсистема решает следующие задачи: выбор рационального варианта технологического процесса штамповки; расчет усилия и работы; выбор пресса.

С применением ВАКЗ-метода, решение указанных задач сводится к выявлению слабоструктурированных задач, получению по ним сценарных обучающих примеров решения и генерирования квантовых сетей рассуждений, решающих выявленные задачи.

Результат работы системы проектирования ТП – технологическая карта.

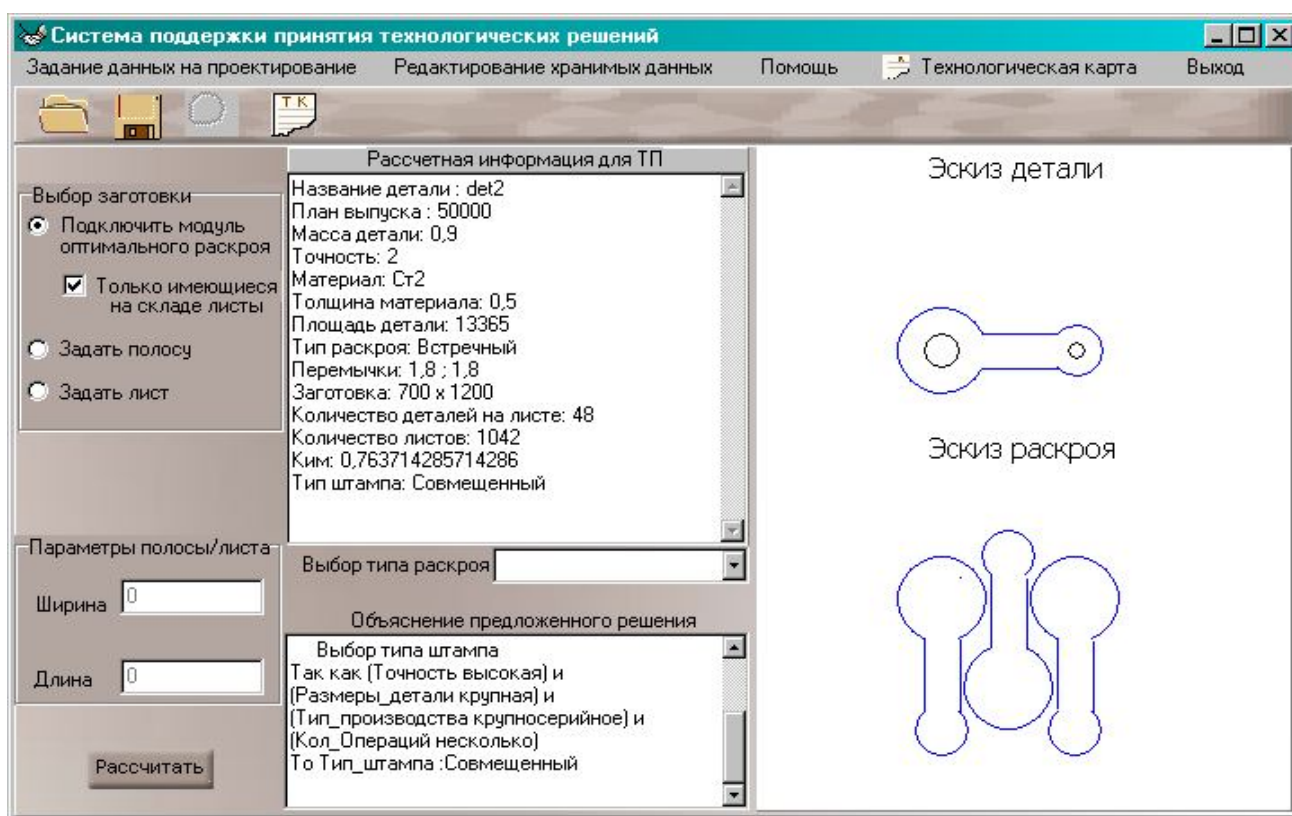


Рис. 1. Пример выполнения подсистемы при выборе оснастки

Для решения всех поставленных выше задач были разработаны расчетные алгоритмы и спроектированы следующие БЗ:

- БЗ для проектирования ТП;
- БЗ для выбора оборудования для резки листа на полосы;

- БЗ для выбора оборудования для полосы на штучные заготовки;

- БЗ для выбора оборудования для чистовой вырубki, пробивки;

- БЗ для выбора оборудования для вырубki, пробивки;

- БЗ для выбора оборудования для зачистки.

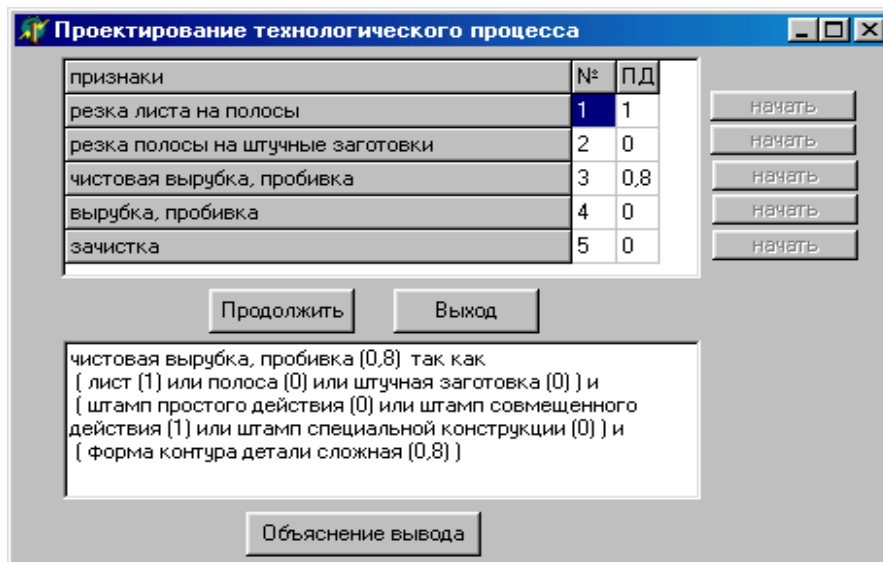


Рис. 2. Спроектированный технологический процесс.

Необходимо создать технологическую карту для заданной детали при следующих производственных условиях: форма контура детали сложная с показателем достоверности (ПД) 0,8, заказ срочный, резка на штучные заготовки не нужна. Остальные данные получены из подсистемы выбора оснастки. Система спроектировала технологический процесс, представленный на рис.2.

Как видно из рисунка, технологический процесс будет состоять из двух операций: резка листа на полосы и чистовая вырубка, пробивка, так как их ПД высокие. Далее система выбирает оборудование для резки листа на полосы.

Для резки листа на полосы можно использовать как дисковые, так и гильотинные ножницы. Выберем гильотинные ножницы.

Для чистовой вырубки пробивки при заданных производственных условиях можно использовать автомат тройного действия. После этого система предлагает пользователю просмотреть все модели оборудования, выбранного типа, рассчитанные усилия и работу.

После нажатия на кнопку «Р, А, Н<sub>закр.шт.</sub>» система оставит только те модели прессов, которые соответ-

ствуют по усилию, работе и закрытой высоте пресса. После нажатия на кнопку «ДЭС» система оставит только те модели прессов, которые есть в наличии, исправны, не заняты и для которых есть рабочих. Результат работы представлен на рис.3.

Автоматически сгенерированная системой технологическая карта представлена на рис.4.

### Мультиагентная технология интеграции подсистем интеллектуальной ПСИИ

Одним из конструктивных путей объединения функциональных модулей в рамках ПСИИ является создание интеллектуального агентства. Концепция интеллектуального агентства предполагает выделение в рамках предметной области «зон действия» агентов и выбора типов агентов, наиболее соответствующих определенным зонам.

В работе [8] обсуждается концепция мультиагентной ПСИИ, а в [5] – архитектура системы а также принципы функционирования и конструктивные особенности интеллектуального агента для связи с САМ-модулем.

На рисунке 5 приведена структурная схема фрагмента ПСИИ, интеграция элементов которой осуществляется с помощью интеллектуальных агентов.

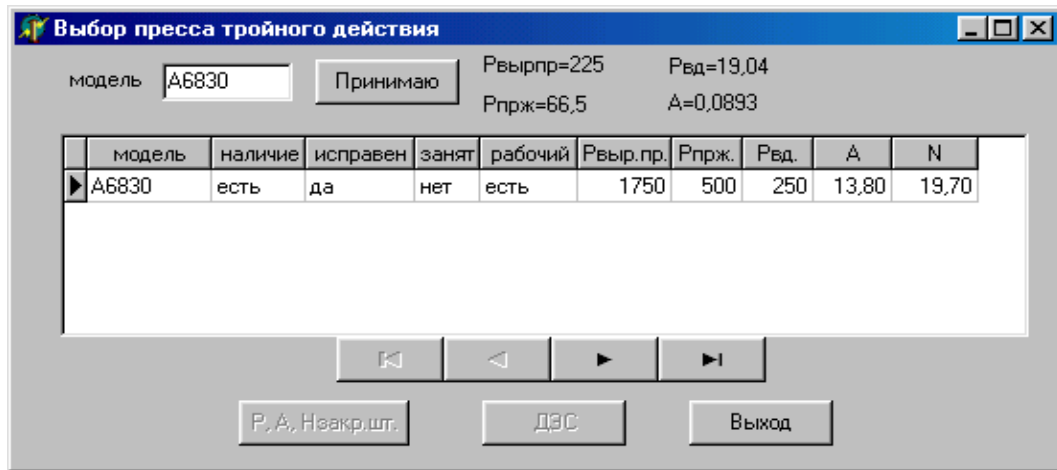


Рис. 3. Выбор автомата тройного действия

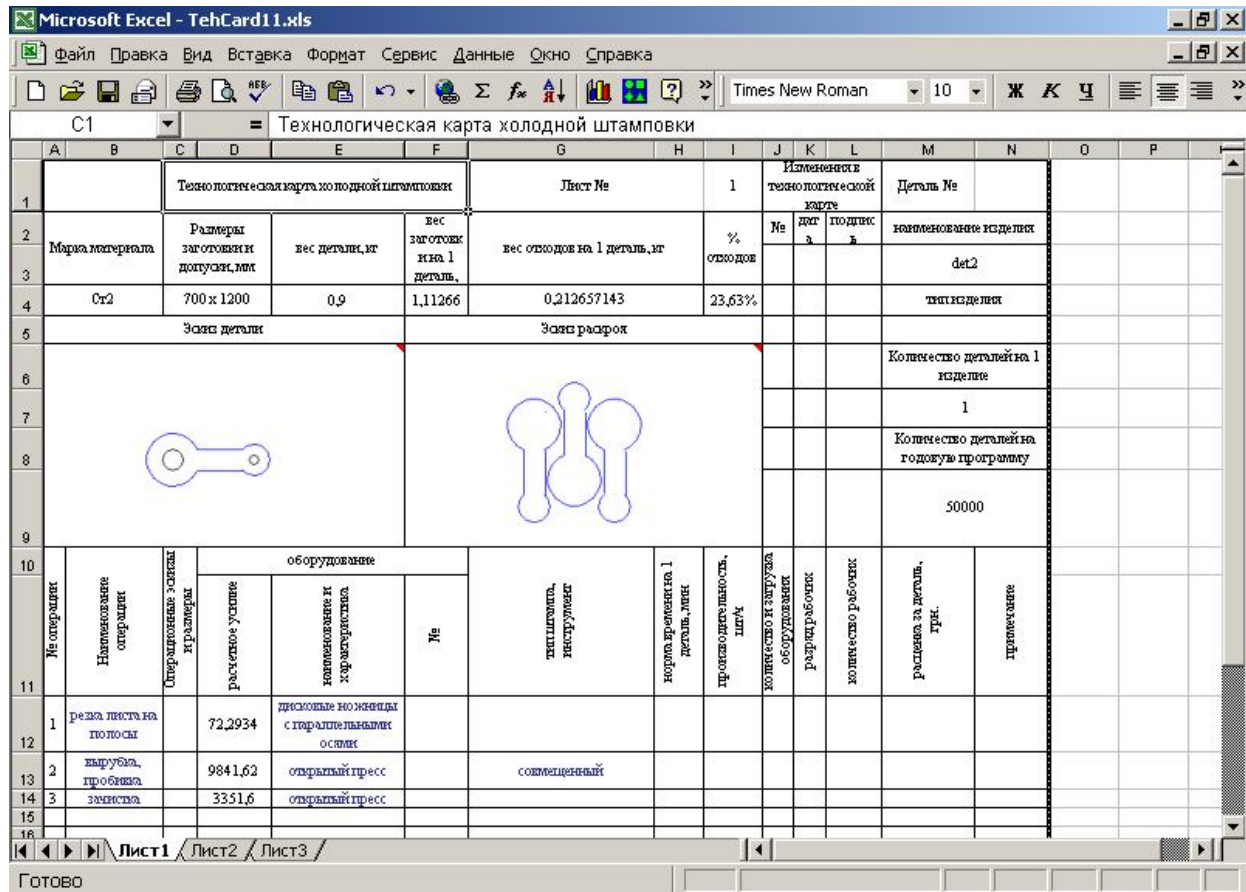


Рис.4. Технологическая карта

В перспективе предполагается разработка интеллектуального агента высшего уровня, способного осуществлять поддержку принятия решений на основе использования всего интеллектуального ресурса ПСИИ.

Данная статья отражает результаты работ по созданию интеллектуального агента, реализующего отображение данных системы мониторинга в базах знаний и базах данных для ПСИИ.

Функционирование агента сводится к выполнению следующих действий:

1. Периодически или по запросу считывание файла с текущими данными из каталога обмена (определив предварительно наличие этого файла).

2. Синтаксический разбор считанного файла, удаление комментариев, возможных ошибок, считывание команд (пока что в стадии разработки), получение данных о текущем состоянии (формат согласовывается с системой мониторинга), запись их во внутренний формат агента.

3. Обработка каждой записи данных текущего состояния состоит в изменении предикатов баз знаний соответствующих подсистем и производится на основе правил, которыми заполняется база агента (таким образом, реализуется полная независимость данных от кода и гибкость настройки агента под конкретную базу знаний). Основные действия агента:

3.1 Определение подсистемы, в которой производится обновление текущего состояния.

3.2 Поиск необходимой базы данных (как структурной составляющей базы знаний соответствующей подсистемы).

3.3 Идентификация изменяемого объекта.

3.4 Выполнение необходимых действий над объектом (обновление, добавление, удаление).

3.5 Запись каждого обновления в общую базу данных текущего состояния с указанием даты и времени поступления данных (формирование базы данных текущего состояния с историей изменений).

3.6 Запись результатов действий в файл отчета.

3.7 Если агент был вызван по запросу программы, осуществляющей мониторинг, посылка этой программе сообщения о результатах обработки полученных данных.

### Конструктивные особенности интеллектуального агента для мониторинга текущего состояния производства

Конструктивно агент состоит из одного модуля, который осуществляет все выше указанные действия. Возможна доработка агента, позволяющая ему запускать одновременно несколько процессов, осу-

ществляющих обработку данных (при возросшей нагрузке на один модуль), а также разделение его на несколько модулей, для обеспечения функционирования подсистем на физически различных платформах.

Принципиально возможно получение данных от других источников (АРМ, система учета на складе и проч.), для этого необходима настройка базы правил агента и согласование формата обмена данными.

База правил агента структурирована относительно подсистем, поэтому обновление может происходить параллельно, не вызывая задержек и коллизий.

Результат работы агента: любые изменения текущего состояния, получаемые от системы мониторинга, или из других источников сразу же отражаются в подсистемах ПСИИ, которые имеют возможность постоянно оперировать актуальными данными.

Использование мультиагентной технологии при синтезе интегрированной ПСИИ обеспечивает возможность достижения нового качества в обработке данных и знаний, а именно синергетический эффект за счет использования всего интеллектуального ресурса ПСИИ при формировании решений.

В основу процесса разработки мультиагентной системы целесообразно заложить методы проектирования баз знаний. В соответствии с этим подходом, необходима реализация следующих прикладных задач[8]:

- эксплицитное представление в базе знаний архитектуры проектируемой системы;

- создание спецификации отдельных типов агентов в рамках ПСИИ;

- синтез специализированных баз знаний, необходимых каждому агенту для реализации поставленных перед ним целей;

- установление однозначного соответствия между элементами архитектуры мультиагентной ПСИИ и программными единицами, реализующими эти элементы;

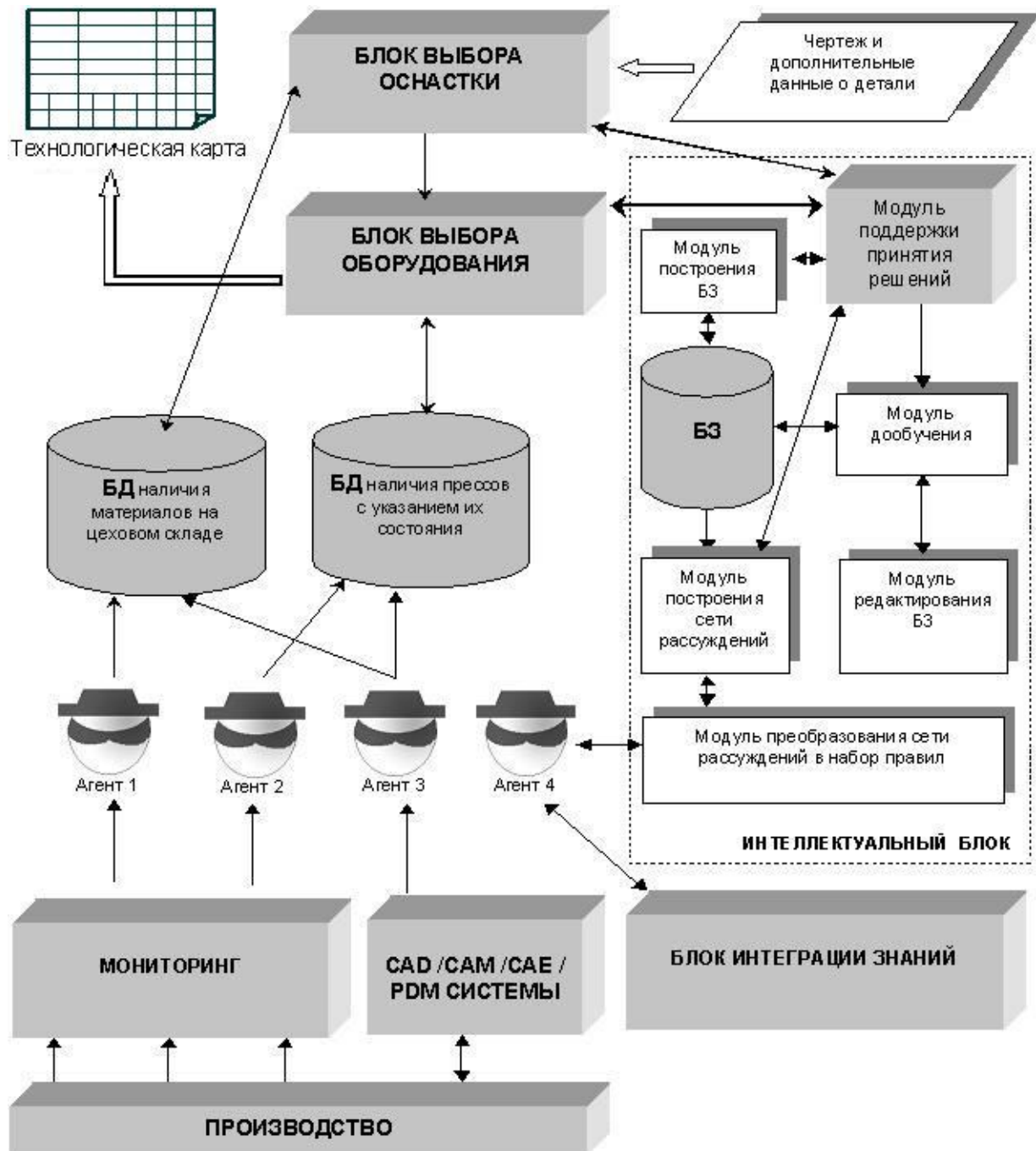


Рис. 5. Обобщенная структура мультиагентной интеллектуальной интегрированной ПСИИ

– создание специальной машины вывода для реализации мультиагентной системы.

Описанный подход позволяет создать специализированную динамическую экспертную систему, предметной областью которой является автоматизация проектирования и реализации производственных мультиагентных систем.

## Выводы

1. Разработана t-квантовая модель представления знаний для выбора оснастки при ТПП изготовления деталей листовой штамповкой.
2. Разработана v-квантовая модель представления знаний в области выбора оборудования для ТПП изготовления деталей листовой штамповкой.



3. Созданы исследовательские прототипы подсистем выбора оснастки и выбора оборудования в составе ПСИИ для ТПП авиационного производства.

4. Показан механизм сбора информации для описанных подсистем путем мониторинга текущего состояния производства.

5. Описаны конструктивные особенности и алгоритм функционирования интеллектуального агента, ориентированного на информационную поддержку подсистем ПСИИ актуальными данными о текущем состоянии производства.

Использование ПСИИ позволяет повысить качество проектов и сократить общее время разработки ТП. Экономическая эффективность интеллектуализации проектирования ТП листовой штамповки определяется сокращением в несколько раз сроков проектирования, повышением качества решений, снижением себестоимости изготовления документации.

Перспективным направлением исследований, которым посвящена данная работа, является с одной стороны создание функциональных подсистем для других задач ТПП, и фаз жизненного цикла изделий авиационного производства, а с другой – создание мультиагентной технологии интеграции отдельных подсистем в рамках ПСИИ.

Изложенный подход также может быть использован в других предметных областях, где необходимы знания экспертов, например судостроении, приборостроении и др.

### Литература

1. Шостак И.В., Пьянков А.В. Особенности применения интеллектуальной компоненты в CALS-системах // Авиационно-космическая техника и технология. - Вып. 32, Харьков, 2002, с. 301-306.

2. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. Киев 2002 Наукова думка

3. Сироджа И.Б. Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке и нечеткости данных. Киев 2000.

4. Шостак И.В. Управление сложными объектами в реальном времени на основе динамических экспертных систем //Авиационно-космическая техника и технология. - Вып. 10, Харьков, 1999, с 204 - 210.

5. Шостак И.В., Топал А.С. Интеллектуализация процессов технологической подготовки производства на основе мультиагентной технологии // Вестник двигателестроения – №2, Запорожье, 2003, с. 187-191.

6. Гордиенко Л.А. Интеллектуальная подсистема поддержки принятия технологических решений при проектировании оснастки в заготовительно-штамповочном производстве // Проблемы бионики 2002 – Вып. 57, с. 55-60.

7. Киричук Е.П. Индуктивный подход к построению квантовой базы знаний для поддержки принятия технологических решений // Міжнародна конференція з індуктивного моделювання МКІТ 2002, с. 55-59

8. Хорошевский В.Ф., Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2002.

*Поступила в редакцию 23.09.2003 г.*

**Рецензент:** д-р. техн. наук, проф. Буслик Н.Н., Харьковский национальный университет радиоэлектроники