

УДК 004.415.2

**С. Г. Сиромля**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039, Украина

✉ e-mail: siromlya@rambler.ru

## МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*В статье рассматриваются особенности технологической подготовки предприятия (ТПП) в условиях виртуального предприятия (ВП) энергетического машиностроения. Основными путями развития технологической подготовки предприятия является комплексная автоматизация на основе повышения уровня интеллектуальности АС технологической подготовки предприятия. Интеграция системы в условиях ВП происходит на основе CALS-технологий, которые обеспечивают взаимосвязь с различными бизнес-процессами. В качестве основы для построения подобной системы была выбрана мультиагентная парадигма. Для построения архитектуры АС ТПП наиболее приемлемым решением является использование агентно-ориентированной архитектуры в качестве каркаса системы, разделенной на интеллектуальные агенты.*

**Ключевые слова:** Мультиагентная система; Виртуальное предприятие; Технологическая подготовка предприятия; Архитектура многоагентной системы.

**С. Г. Сиромля**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна

✉ e-mail: siromlya@rambler.ru

## МУЛЬТИАГЕНТНА СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРТУАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

*У статті розглядаються особливості технологічної підготовки підприємства (ТПП) в умовах віртуального підприємства (ВП) енергетичного машинобудування. Основними шляхами розвитку ТПП є комплексна автоматизація на основі підвищення рівня інтелектуальності АС ТПП. Інтеграція системи в умовах ВП відбувається на основі CALS-технологій, що забезпечує взаємозв'язок з різними бізнес-процесами. В якості основи для побудови подібної системи була обрана мультиагентна парадигма. Для побудови архітектури АС ТПП найбільш прийнятним рішенням є використання агентно-орієнтованої архітектури в якості каркасу системи, розділеної на інтелектуальні агенти.*

**Ключові слова:** Мультиагентна система; Віртуальне підприємство; Технологічна підготовка підприємства; Архітектура багатоагентної системи.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### I. ВВЕДЕНИЕ

Особенности современной геоэкономики требуют от предприятий энергомашиностроения выпуска высококачественной сложной техники в условиях ее постоянного обновления и учета индивидуальных запросов потребителей. Для производства конечной продукции в этих условиях требуется кооперация большого числа предприятий, изготавливающих как отдельные компоненты изделия, так выполняющих отдельные бизнес-процессы, являющиеся составной частью жизненного цикла изделия. Существуют различные формы кооперации, такие как кластеры, расширенные и виртуальные предприятия (ВП). Создание ВП сегодня рассматривается как один из путей оптимизации промышленного производства. Это рассмотрение приводит к определенной системе взглядов на то, как обычное предприятие должно использовать свои возможности [1,2].

В этих условиях, организация производства на

промышленных предприятиях, немыслима без CALS-технологий, обеспечивающих сопровождение жизненного цикла изделия. Повышение эффективности деятельности предприятия также тесно связано с их комплексной автоматизацией на основе CAD/CAM/CAE/PLM систем [1].

Реализация такого подхода требует постоянной координации усилий большого числа специалистов, обеспечивающих различные этапы жизненного цикла изделий. При этом неперенным условием эффективной координации работ специалистов при соблюдении единой стратегии является наличие гомогенной информационной среды в рамках отдельного предприятия или концерна. Такая среда призвана не только обеспечить автоматизацию выполнения отдельных подзадач, но и обеспечить обмен информацией между отдельными пользователями для координации их работы по поиску глобально оптимального или близко к таковому решения. Единое информационное пространство (ЕИП) формируется по средствам PDM-

системы, к которой должен быть возможен доступ всех участников кооперации.

Одним из ключевых бизнес-процессов жизненного цикла изделия является технологическая подготовка производства (ТПП), уровень которой во многом определяет качество производимого изделия, сроки его выхода на рынок и, в конечном счете, конкурентоспособность предприятия в целом.

Задача исследования – проанализировать проблемы, связанные с построением эффективных средств автоматизации ТПП в условиях ВП в ЕИП на основе CALS-технологий, а также описать возможные пути решения этих проблем на основе агентных технологий.

## II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРЕДПРИЯТИЯ КАК АГЕНТ КОРПОРАТИВНОЙ CALS-СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

По мере участия в конкурентной борьбе компании принимают различные организационные формы, такие как цепи поставок, виртуальные предприятия (ВП), предприятия, основанные на технологии Интернет, производственные сети, электронный бизнес, кластеры и многие другие. С точки зрения методики организации взаимодействия на уровне совместного использования информации о продукте принципиальных отличий между описанными выше видами коопераций нет, поэтому в дальнейшем будем рассматривать данные понятия как синонимы.

Основные характерные черты таких организаций включают: стремление участников к кооперированию, распределенные процессы, а также высокий уровень координации. Эти особенности привели к возникновению тенденций перехода от капиталоемкой бизнес-среды к бизнес-среде, основанной на знаниях.

Создание ВП сегодня рассматривается как один из путей оптимизации промышленного производства. Это рассмотрение приводит к определенной системе взглядов на то, как обычное предприятие должно использовать свои возможности [3].

Виртуальным предприятием называется временная организация, основанная географически распределенными партнерами по рынку, на время выполнения совместного заказа. Виртуальное предприятие не является предприятием, физически объединяющим необходимые ресурсы в определенной географической точке для достижения своих бизнес-целей, а является распределенной организацией, использующей удаленные ресурсы. Многопрофильные участники команды объединены на основе информационных технологий посредством компьютерных сетей, таких как Интернет или экстранет.

Обобщенная схема виртуального предприятия (рисунок 1) выглядит как система предприятий – участников виртуального предприятия, – выполняющих отдельные комплексы операций технологического процесса изготовления изделия. Таким образом, отправной точкой при формировании виртуального предприятия является выпуск изделия, как правило, нового, а затем, выполняется разбиение технологического процесса на комплексы операций, которые мо-

гут выполняться на различных предприятиях. На этапе определения потенциальных участников виртуального предприятия среди множества предприятий, способных выполнять необходимые комплексы технологических операций, выбираются наиболее подходящие.

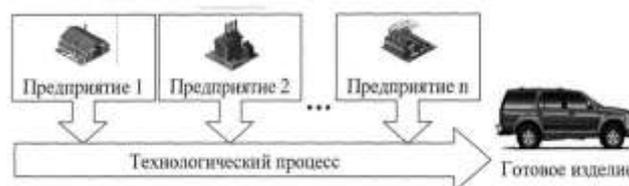


Рисунок 1 – Обобщенная схема виртуального предприятия

Жизненный цикл (ЖЦ) изделия, включающий проектирование, производство и эксплуатацию подразделяется на ряд стадий и этапов. Эффективная взаимосвязь этапов обеспечивается при следовании идеологии CALS (непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции). В рамках единого информационного пространства предприятия накапливается информация о состоянии изделия на всех этапах его ЖЦ, а также производственных возможностях выполненных задачах всех участников кооперации.

Технологическая подготовка производства (ТПП), находясь на стыке проектирования и производства является ядром ЖЦ и во многом определяет качество производимого изделия, сроки его выхода на рынок и уровень кооперации участников ВП[4].

Одним из главных направлений совершенствования ТПП изделий является создание АСТПП. Анализ проблем автоматизации ТПП показывает, что для современных систем АСТПП характерно следующее:

1. в АСТПП используются как универсальные (CAD/CAE/CAM/CAPP – системы), так и специализированные комплексы, направленные на решение узких технологических задач;
2. в АСТПП начинают использовать PDM для поддержки жизненного цикла изделия и организации единого информационного пространства;
3. наблюдается тенденция к виртуализации ТПП на основе аутсорсинга, что особенно важно в условиях виртуализации самого производства изделий;
4. подсистемы АСТПП имеют разный уровень автоматизации и слабо интегрированы как между собой, так и с ERP-системами.

В современных системах АСТПП должны использоваться как универсальные, так и специализированные подсистемы ТПП. Они должны интегрироваться между собой в единую систему. Сложность создания специализированных подсистем ТПП заключается, главным образом, в необходимости учета специфики всех участников ВП и высокой динамики развития.

Таким образом, АСТПП представляет собой сложную и неоднородную информационную систему и для повышения эффективности технологической подготовки производства необходимо построить методологическую основу для создания АСТПП, отве-

чающей современным и весьма сложным требованиям, чтобы впоследствии такую систему можно было использовать в различных производственных средах и при любых уровнях кооперации предприятий.

Учитывая структуру технологической службы современного предприятия (а именно функциональную специализацию подразделений, а также деление их по видам выполняемых работ), а также изложенное выше описание подходов к организации коллективного взаимодействия можно сделать вывод о принципиальной возможности применения именно мультиагентной технологии при синтезе систем поддержки принятия координирующих решений на предприятии. В пользу этого также говорит постановка задач для

подразделений технологической службы: расщепка делает возможной параллельную работу подразделений и независимость на определенном этапе локальных решений между собой [5]. Их использование позволяет повысить уровень интеллектуальности АСТПП, при этом агенты, хотя и не зависят друг от друга, но имеют возможность взаимодействовать между собой и предлагать технологу варианты решения технологических задач [6].

На рисунке 2 приведена структурная модель мультиагентной системы ТПП основными элементами, которой являются бизнес-агентные подсистемы реализующие концептуальные бизнес-процессы технологической подготовки производства.

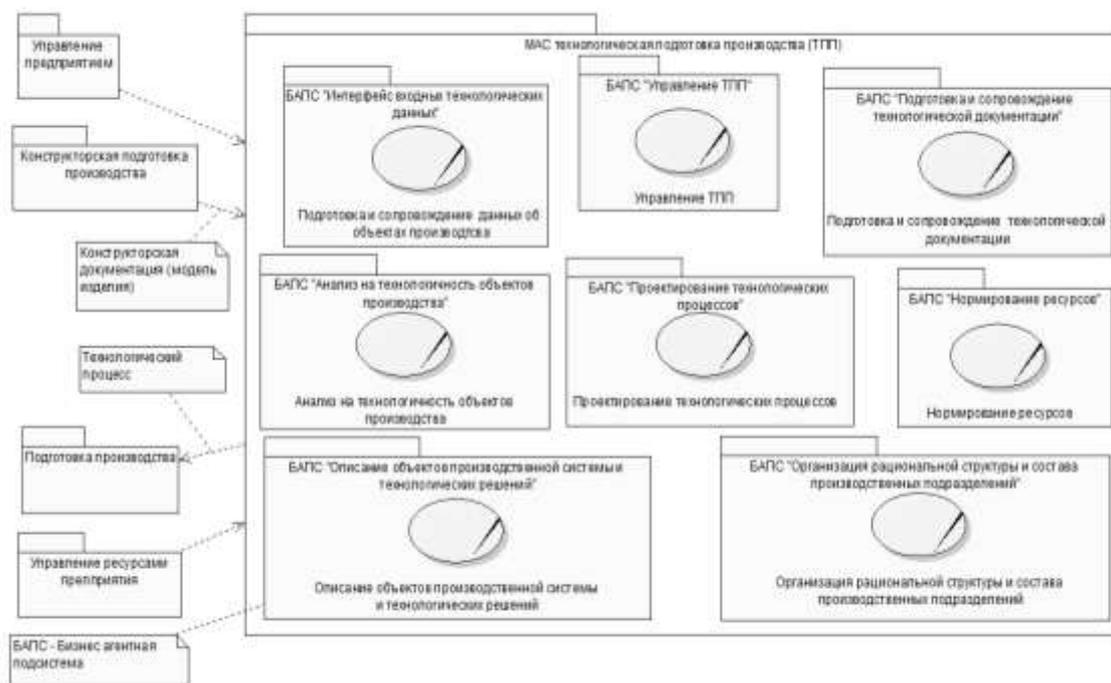


Рисунок 2 – Структурная бизнес-модель мультиагентной системы ТПП

Большинство современных систем АСТПП разработаны как клиентские приложения. Их использование с установкой на разных предприятиях может быть нецелесообразно, так как базы данных и базы знаний постоянно пополняются, и может происходить довольно быстрое устаревание данных в таких системах. Поэтому целесообразно использовать общую систему АСТПП, основанной на многоуровневой распределенной архитектуре, использующей как INTRANET-технологии, так средства WEB-технологий, что даст следующие преимущества:

1. Единая база данных и база знаний технологических заданий.
2. Единая система взаимодействия с PDM-системой.
3. Обновление системы доступно сразу и для всех предприятий.
4. Интеллектуальные подсистемы обучаются быстрее, так как их использует множество предприятий (коопераций). Возрастает автоматизация системы при проектировании технологических процессов.

5. Система доступна из сети (интернет), что дает использовать АСТПП, когда это необходимо без установки программного обеспечения на ЭВМ пользователя.

Основной задачей исследования является создание модели мультиагентной автоматизированной системы (АС) ТПП, представляющую собой сложную и неоднородную информационную систему, эффективно работающую в условиях ВП с использованием CALS- методологий. Для этого необходимо построить методологическую основу для создания АС ТПП, отвечающей современным и весьма сложным требованиям, чтобы впоследствии такую систему можно было использовать в различных производственных средах и при любых уровнях кооперации предприятий. В основу методологии составляют обобщенная модель технологического процесса, универсальная модель бизнес-процесса ТПП, интегративная модель ТПП как части жизненного цикла изделия. Так же важной задачей является повышение уровня интеллектуальности АС ТПП на основе технологий инженерии знаний.

### III. МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КАК ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ CALS-СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Можно выделить три основные проблемы, возникающие при проектировании комплексной информационно-управляющей платформы автоматизации технологической подготовки производства:

- проблема сложности;
- проблема несовместимости;
- проблема избыточности.

Применяемые на данный момент методы интеграции не способны в полной мере решить вышеуказанные проблемы, т. к. предполагают использование либо коммуникационных модулей («чёрных ящиков»), осуществляющих статическую синхронизацию данных между средствами автоматизации ТПП; либо единой системы управления технологическими данными, которая, во-первых работает только с данными (не учитывает знания), а во-вторых, не позволяет подсистемам АСТПП взаимодействовать напрямую, что существенно снижает производительность системы и усложняет информационный обмен.

Для реализации системы, необходимо провести исследования с точки зрения построения многокомпонентной системы с распределенными функциональными обязанностями и слабозависимыми от среды исполнения.

Использование технологии распределенных объектов на сегодняшний день может рассматриваться как необходимое, но, по-видимому, недостаточное условие для обеспечения единого информационного пространства (в том числе пространства знаний).

Для построения архитектуры АС ТПП наиболее приемлемым решением является использование агентно-ориентированной архитектуры в качестве каркаса системы, разделенной на интеллектуальные агенты, где каждый агент выполняет свою конкретную задачу, не зависящую друг от друга, но взаимодействующие друг с другом. Агенты обеспечивают динамическое связывание и взаимодействие, используя стандартные интерфейсы и форматы данных (или знаний). При этом вся бизнес-логика работы системы может обеспечиваться различными средствами – от простейших приложений до интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Важен тот факт, что использование агентного подхода в таком случае делает изначально закрытые системы открытыми и обеспечит возможность интеграции их в единое информационное пространство [7]. При этом также не будут потеряны ценные данные (знания), хранящиеся в этих системах. Компоненты программы могут быть распределены по разным узлам сети, и предлагаются как независимые, слабо связанные, заменяемые сервисы-приложения.

Применение агентного подхода даст в результате возможность реализации CALS как единой системы с распределенным интеллектом, которая имеет множество положительных свойств: это и обработка информации, приближенная к месту ее получения, повышение надежности и отказоустойчивости системы в целом, эффективное распараллеливание работы раз-

личных структурных единиц предприятия, обеспечение полной наблюдаемости системы (что абсолютно невозможно в случае использования монолитной системы).

К настоящему моменту существует некоторое количество вариантов формализации многоагентной системы, однако их полноценное использование невозможно по причине жесткой предметной ориентации каждого из вариантов (агрегированную информацию по некоторым вариантам формализации можно найти в [3]).

Будем рассматривать многоагентную систему как распределенную, обладающую следующим набором признаков распределенных систем [3]:

- наличие механизма разбиения рассматриваемого объекта (системы) на взаимосвязанные подсистемы;
- наличие общей цели (назначения) при распределении функций системы в целом по подсистемам;
- физическая обособленность каждой подсистемы и относительная автономность выбора своих состояний в каждой подсистеме в рамках текущего множества допустимых состояний, зависящего от состояния соседних подсистем;
- наличие регламентирующего фактора, позволяющего отдельным исполнителям, решающим в рамках своих подсистем локальные задачи, формировать согласованное решение, отвечающее поставленной общей цели.

Центральной проблемой разработки распределенных процедур решения сложных задач является нахождение такой декомпозиции задачи на подзадачи и выбор таких методов, алгоритмов и исполнителей для этих подзадач, которые приводили бы к получению приемлемого по качеству решения задачи в целом.

ТПП относится к категории сложных, многоцелевых систем организационно-технического типа.

Анализируя методы проектирования структуры технических объектов и организационно-технических систем, нельзя не отметить определенное сходство используемых методов и подходов, что может служить основой для разработки интегрированной системы автоматизированного проектирования структуры сложных объектов.

Процесс синтеза необходимо рассматривать как итерационный многоуровневый процесс последовательного приближения разрабатываемой модели к поставленной задаче проектирования. Проектирование на нескольких уровнях (независимо от названия уровней в конкретной предметной области) достаточно широко распространено во многих предметных областях), от создания программных систем и проектирования структур больших баз данных, до создания технических систем. Наиболее часто выделяют три уровня, которые можно обозначить, инвариантно предметной области, как уровень концептуального, логического и физического проектирования.

Итерационность процесса проектирования позволяет использовать предоставляемые многоагентной организацией преимущества распределенной обработки итераций.

Определим следующие уровни синтеза модели технической системы ТС [3]:

1. Гиперуровень, на котором модель ТС описывается в виде структуры функций, выполняемых системой.

2. Функционально-физический уровень – конкретизируются условия физической реализуемости построенной гиперструктуры на основе базовых физических операций.

3. Конструктивно-физический уровень, представляющий модель системы в виде структуры технических реализаций элементов функциональной структуры.

Рассмотрим эти уровни с точки зрения применения к проектированию МАС ТПП. Интегративная модель может быть представлена как совокупность моделей на трех уровнях (рисунок 3).

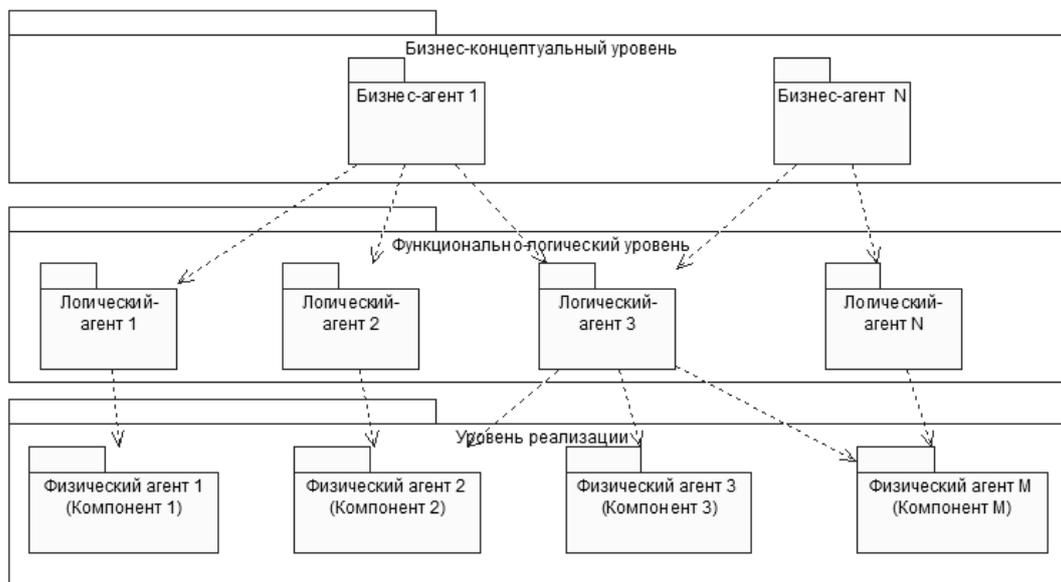


Рисунок 3 – Многоуровневый комплекс представления мультиагентной системы

Гиперструктура (ГС) описывается как совокупность бизнес-агентов, каждый из которых может представлять собой мультиагентную подсистему, обеспечивающую выполнение комплекса бизнес-функций т. е. (функций направленных на получение непосредственного результата для участников бизнес-процесса) ТПП.

Функционально-физический уровень описывается комплексом функционально-логических моделей (ФЛМ) отражающих структуру МАС и внутреннюю структуру агентов. Элементы ФЛМ также отображают функциональные связи между агентами, а также входными и выходными физическими величинами, которые реализуют те или иные физические эффекты или бизнес – процессы, характеризующие элементарные физические операции, выделенные на уровне ГС. На этапе синтеза ФЛМ выявляются и конкретизируются условия физической реализуемости ГС синтезируемой ТС.

Конструктивная функциональная структура (КФС) есть модель ТС в виде некоторой структуры связности, в которой каждый элемент является программной и технической реализацией элемента ФЛМ.

Объекты разных уровней связаны мягкими связями трассировки, а внутри уровня – жесткими логическими связями, поддерживающими логическую цельность комплекса моделей.

Под агентом мультиагентной системы принято понимать механизм инкапсуляции и обмена распре-

деленными знаниями и функциями [7]. Каждый агент – это процесс, обладающий определенной частью знаний об объекте проектирования и возможностью обмениваться этими знаниями с остальными агентами. В зависимости от типа, агент может поддерживать и интерфейс с пользователем. Под многоагентной системой будем понимать многокомпонентную систему, состоящую из агентов со специфицированным интерфейсом. В мультиагентной системе каждый агент строит собственную модель текущего решения, основываясь на своих данных и данных других агентов. В таких системах имеются коммуникационный протокол и формат сообщений (язык коммуникаций), в соответствии с которым должны оформляться запросы и ответы [7].

Обобщенно можно сказать, что агенты автономны и гетерогенны, т. е. отсутствует единое управление. Коммуникации между агентами могут быть синхронными и асинхронными, направленными (peer-to-peer), общими (broadcast) или групповыми (multicast). Важно, что семантика сообщений между агентами должна быть высокого уровня. Это означает не тривиальную пересылку команд на запуск/останов, а полную реализацию информационных потоков между агентами в системе путем обмена сообщениями на языке, аналогичном языку высокого уровня в программировании.

Применение агентного подхода даст в результате возможность реализации CALS как единой системы

управления ТПП с распределенным интеллектом, которая имеет множество положительных свойств: это и обработка информации, приближенная к местам ее получения, повышение надежности и отказоустойчивости системы в целом, эффективное распараллеливание работы различных структурных единиц предприятия, обеспечение полной наблюдаемости системы (что абсолютно невозможно в случае использования монолитной системы).

Поддержка моделей взаимодействия, основанных на концепции языка взаимодействия агентов (Knowledge Query and Manipulation Language – KQML), требует соответствующих соглашений между всеми подсистемами [8]. Поэтому первый вопрос, который возникает в процессе сопряжения различных систем или компонент, связан с введением в архитектуру дополнительного уровня или класса агентов, ответственного за преобразование форматов информационного обмена.

Для поддержки обработки описанного выше контекста сообщений между подсистемами могут быть использованы специальные коммуникационные агенты (фасилитаторы, медиаторы или информационные агенты [8]), которые располагаются между отправителем и получателем сообщения и выполняют действия по стандартизации интерфейса, интеграции информации из различных источников, преобразованию запросов и ответов.

Использование фасилитаторов становится особенно важным в условиях интеграции новых информационных систем с существующими, которые не имеют необходимой степени гибкости в преобразовании входных/выходных форматов. Агенты (и другие программные компоненты системы) взаимодействуют с использованием фасилитаторов, которые могут выполнять преобразования специфических внутренних форматов представления данных (знаний) из/в стандартный формат обмена знаниями (Knowledge Interchange Format - KIF). Таким образом, каждый агент выполняет логический вывод в своих внутренних терминах, а получает и передает информацию другим агентам в необходимой им для понимания форме посредством фасилитаторов.

Каждый фасилитатор отвечает за обеспечение интерфейса между локальным объединением агентов (в рамках подсистемы) и удаленными агентами и преследует тем самым 4 основных цели: 1) обеспечивает надежный механизм передачи сообщений, 2) маршрутизирует сообщения по назначению, 3) преобразует приходящие сообщения в формат представления адресата, 4) осуществляет мониторинг агентов.

Таким образом, использование промежуточных агентов (фасилитаторов), особенно при условии интеграции существующих систем, позволяет получить гомогенное информационное пространство для работы всей системы, а также возможность отслеживания несоответствий при формировании решений в отдельных подсистемах и обеспечения их корректировки для поддержки адекватного формирования согласованных комплексных решений масштаба структурной единицы (или предприятия в целом). Результат будет зависеть от сложности исполнения фасилитаторов и от трактовки выполняемых ими задач (преобра-

зование сообщений, корректировка результатов вывода подсистем и т.д.).

#### IV. АРХИТЕКТУРА МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ВП

Анализ существующих методов структурной интеграции АС ТПП показал, что для их совершенствования целесообразно использовать элементы теории многоагентных систем, т. е. создать многоуровневую иерархическую агентную сеть, отвечающую за интеграцию средств информационного обеспечения и комплекса сервисных приложений платформы технологической подготовки производства.

Существующие варианты архитектур многоагентных систем и рациональный выбор архитектуры отдельного агента и многоагентной системы в целом существенно зависят от концептуальной модели агента, принятого для ее описания формализма и языка спецификаций, математической модели кооперации агентов при совместном функционировании в системе, на какое приложение или класс приложений ориентирована многоагентная система, а также от ряда других факторов.

В настоящее время индустрия агентов регламентируется стандартами MASIF и FIPA, дающих рекомендации к созданию систем мобильных агентов и систем интеллектуальных агентов соответственно.

Серия стандартов FIPA описывает архитектуру мультиагентной системы и структуру самого агента, делая в основном упор на реализуемые агентами функции, и таким образом, могут являться основой для синтеза промышленной системы поддержки принятия координирующих решений на машиностроительном предприятии. Кроме того, в стандартах FIPA описывается возможность интеграции агентной системы с существующим программным обеспечением, что является важным свойством создаваемой системы.

Многоагентные системы (МАС) принадлежат к классу интеллектуальных систем распределенного решения задач. Их основу составляет иерархическая метасистема агентов, проектируемая сверху вниз [5].

Формальную модель МАС можно представить в виде

$$MAS = \langle A, E, R, ORG \rangle,$$

где  $A$  – множество агентов;  $E = \{e\}$  – среда, в которой находится данная МАС;  $R$  – множество взаимодействий между агентами;  $ORG$  – множество базовых организационных структур, соответствующих конкретным функциям (ролям) агентов, устанавливающая отношения между ними.

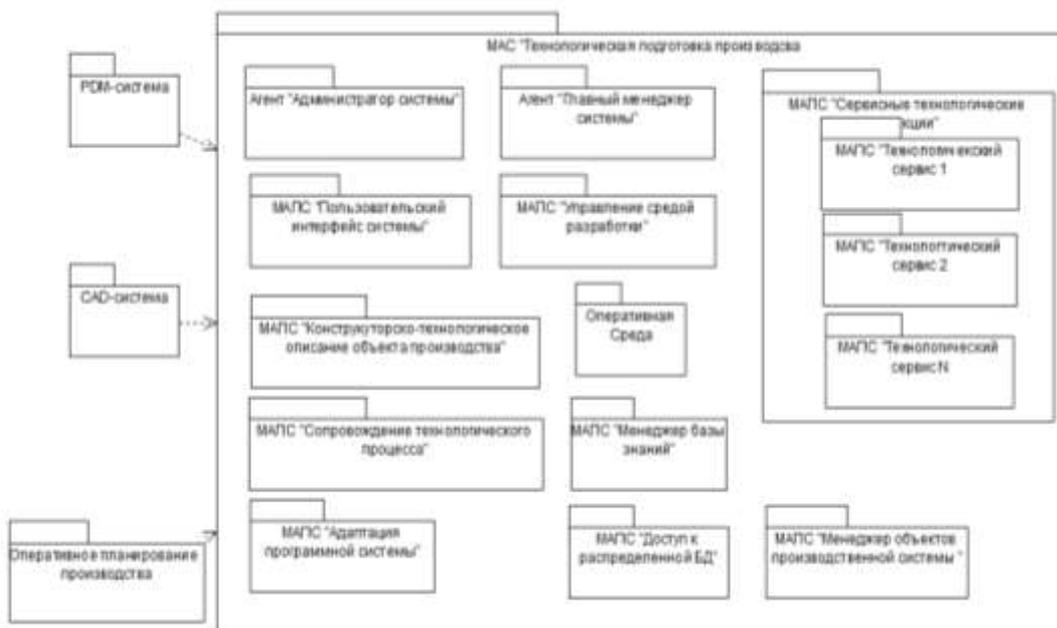
В многоагентных системах инженерного проектирования множество агентов  $A$  формируется из сущностей, подлежащих разработке. В качестве среды  $E = \{e\}$  выступает разрабатываемый проект, состоящий из множества экземпляров  $e$  из классов задействованных в проекте агентов. Задачи, порученные агентам, определяются инкапсулированными в них методами. Методы обеспечивают решение задач, порученных

агентам, и выполнение операций, оказывающих воздействие на другие агенты.

Множество взаимодействий  $R$  между агентами определяется ребрами графа экспорта и импорта свойств агентов и объектов. Эти взаимодействия носят как вертикальный, так и горизонтальный характер. Вертикальные взаимодействия осуществляются между агентами, связанными друг с другом по иерархии организационной структуры  $ORG$ , а горизонтальные – между иерархически не связанными агентами.

Наконец, организационная структура  $ORG$  в многоагентной системе представляет собой иерархическую метасистему, моделируемую И/ИЛИ графом. Связки типа И описывают отношения класса «целое–часть», а связки типа ИЛИ – отношения класса «род–вид».

На рисунке 4 представлена представлена структурная модель MAC как совокупности агентов и мультиагентных подсистем обеспечивающих выполнение задач ТПП в едином информационном пространстве виртуального предприятия.



**Рисунок 4** – Структурная модель MAC как совокупности агентов и мультиагентных подсистем, обеспечивающих выполнение задач ТПП

Данная структурная модель позволяет использовать как универсальные, так и специализированные подсистемы ТПП. Они должны интегрироваться между собой в единую систему. Сервисные специализированные подсистемы учитывают специфику организационных структур технологических служб виртуального предприятия и высокую динамику их развития. Такая структурная организация обеспечивает работу MAC ТПП в едином информационном пространстве ВП, коммуникацию с другими автоматизированными системами, обеспечивающими бизнес процессы ВП на основе CALS-стандартов.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание ВП сегодня рассматривается как один из путей оптимизации промышленного производства. Технологическая подготовка производства (ТПП), находясь на стыке проектирования и производства является ядром ЖЦ и во многом определяет качество производимого изделия, сроки его выхода на рынок и уровень кооперации участников ВП.

Анализ существующих методов структурной интеграции АС ТПП показал, что для их совершенствования целесообразно использовать элементы теории многоагентных систем, т. е. создать многоуровневую

иерархическую агентную сеть, отвечающую за интеграцию средств информационного обеспечения и комплекса сервисных приложений платформы технологической подготовки производства.

Представленная в статье структурная модель позволяет использовать как универсальные, так и специализированные подсистемы ТПП. Они должны интегрироваться между собой в единую систему. Сервисные специализированные подсистемы учитывают специфику организационных структур технологических служб виртуального предприятия и высокую динамику их развития. Такая структурная организация обеспечивает работу MAC ТПП в едином информационном пространстве ВП, коммуникацию с другими автоматизированными системами, обеспечивающими бизнес процессы ВП на основе CALS-стандартов.

Использование агентного подхода даст в результате возможность реализации MAC ТПП как единой системы с распределенным интеллектом, которая имеет множество положительных свойств: это и обработка информации, приближенная к местам ее получения, повышение надежности и отказоустойчивости системы в целом, эффективное распределение работы различных структурных единиц предприятия, обеспечение полной наблюдаемости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Саломатина А. А. Методы и алгоритмы функционирования технологической подготовки производства в информационной среде виртуального предприятия: Дис... канд. техн. наук. СПб: НИУИТМО, 2011. 149 с.
2. Yang N., Zheng H., Yang T., Han X., Xiao T. Modeling of a cooperation environment in a virtual enterprise // *Tsinghua Science and Technology*. 2002. V. 7. N 3. – P. 294–298.
3. Набока М. В. Проектирование систем управления сложными информационными процессами с применением многоагентной технологии : Дис... канд. техн. наук. СПб: ИИА РАН, 2005. – 139 с.
4. Яблочников Е. И., Куликов Д. Д. Технологическая подготовка производства как многоагентная система. СПб: НИУ ИТМО. 2012. – 46 с.
5. Евгеньев Г. Б. Технология создания многоагентных прикладных систем // Труды XI национальной конференции по искусственному интеллекту с международ-

ным участием. Москва, Дубна, 2008. Т. 2. – С. 306–312.

6. Филюков Н. Е. Технологическая подготовка производства как многоагентная система / Н. Е. Филюков // Сборник тезисов докладов конференции молодых ученых. Вып. 2. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – С. 276-277.
7. Шостак, И. В. Разработка типового фрагмента мультиагентной CALS-системы по технологической подготовке сборочного производства самолетостроительного предприятия / И.В. Шостак, В.А. Демьяненко, Г.А. Фролова // *Авиационно-космическая техника и технология*, 2011, № 9 (86) – С. 229- 234
8. Дем'яненко В. А. Метод знання орієнтованої підтримки прийняття рішень при технологічній підготовці виробництва товарів народного споживання на машинобудівному підприємстві. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 2013, № 7 (104) – С. 232-237.

Отримана в редакції 18.12.2015, прийнята до друку 03.03.2016

S. G. Siromlia<sup>✉</sup>

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaia str., Odessa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: siromlya@rambler.ru

## THE MULTI-AGENT SYSTEM OF VIRTUAL ENTERPRISE TECHNOLOGICAL PREPARATION

*The article discusses the features of technological preparation the company (TPC) in terms of a virtual enterprise (VE) energy machine manufacturer. The main way of the development of the TPC is complex automation on the basis of increasing the level of intelligence of the AS TPC. Integration of the system in terms of VE takes place on the basis of CALS-technologies, which provides a link for various business processes. As a basis for building such systems was selected multi-agent paradigm. To build as architecture AS TPC the most appropriate solution is to use agent-oriented architecture as a framework, divided into intelligent agents.*

**Keywords:** Multi-agent system; Virtual enterprise; Technology preparation of enterprise; Architecture a multi-agent system.

## REFERENCES

1. Salomatina, A. A. (2011). Metody i algoritmy funktsionirovaniya tehnologicheskoi podgotovki proizvodstva v informatsionnoi srede virtualnogo predpriyatiya: Dis... kand. tekhn. nauk. SPb: NIU ITMO, 149 p. (in Russian).
2. Yang, N., Zheng, H., Yang, T., Han, X., Xiao, T. (2002). Modeling of a cooperation environment in a virtual enterprise. *Tsinghua Science and Technology*, 7(3), 294–298.
3. Naboka, M. V. (2005). Proektirovanie sistem upravleniya slozhnymi informatsionnymi protsessami s primeneniem mnogoagentnoi tekhnologii: Dis... kand. tekhn. nauk. SPb: IA RAN, 139 p. (in Russian).
4. Yablochnikov, E. I., Kulikov, D. D. (2012). Tehnologicheskaya podgotovka proizvodstva kak mnogoagentnaya sistema. SPb: NIU ITMO, 46 p. (in Russian).
5. Evgenyev, G. B. (2008). Tekhnologiya sozdaniya mnogoagentnykh prikladnykh system. Trudy XI natsionalnoy konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhduna-

rodnym uchastiem. Moskva, Dubna, Vol. 2, 306–312 (in Russian).

6. Filyukov, N. E. (2011). Tekhnologicheskaya podgotovka pro-izvodstva kak mnogoagentnaia sistema. Sbornik tezisov dokladov konferentsii molodykh uchenykh, Vyp. 2. SPb: SPbGU ITMO, 276-277 (in Russian).
7. Shostak, I. V., Demyanenko, V. A., Frolova, G. A. (2011). Development of model fragment multiagent CALS-system on technological productions ventures on aircraft plants. *Aerospace Technic And Technology*, No. 9(86), 229-234 (in Russian).
8. Dem'yanenko, V. A. (2013). The knowledge-oriented method of support of decision-making by technological preparation of production of consumer goods at machine-building enterprise. *Aerospace Technic And Technology*, No. 7(104), 232-237. (in Ukrainian).

Received 18 December 2015  
Approved 03 March 2016  
Available in Internet 29 April 2016