

УДК 621

ИНДУСТРИЯ 5.0 КАК ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕРНЕТА ЗНАНИЙ И ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Г.Б. Евгениев

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
g.evgeniev@mail.ru

Аннотация

Предложена методология создания систем класса «Индустрия 5.0» с использованием технологий искусственного интеллекта. Методология основана на многоагентных методах создания баз знаний и пригодна для разработки систем проектирования и управления для цифровых интеллектуальных производств. Разработана интегрированная структура Интернета знаний и Интернета вещей. Проанализирован жизненный цикл изделий машиностроения и предложены методы применения Интернета знаний и Интернета вещей на различных этапах этого цикла. Приведена функциональная декомпозиция основных этапов жизненного цикла. Даны концептуальные основы Интернета знаний. Разработаны многоагентные методы создания баз знаний. Предложена метаонтология инженерных агентов. Описаны принципы построения многоагентных систем полуавтоматического проектирования изделий. Приведено описание возможностей интеллектуальных систем программирования обработки на оборудовании с ЧПУ в части формирования траектории и областей переходов. Описаны возможности интеллектуальных систем проектирования и нормирования технологических процессов. Предложено использование стандарта IDEF3 для создания метамоделей технологических процессов и модифицированных маршрутных карт для формирования баз знаний. Дано описание интеллектуальной системы оперативного управления машиностроительным производством.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, Индустрия 5.0, цифровые производства, Интернет знаний, Интернет вещей, интеллектуальные системы.

Цитирование: Евгениев, Г.Б. Индустрия 5.0 как интеграция Интернета знаний и Интернета вещей / Г.Б. Евгениев // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №1(31). – С.7-23. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-7-23.

Введение

В настоящее время происходит четвёртая промышленная революция (4ПР), для обозначения которой используется термин Индустрия 4.0. [1-5]. В развитии производительных сил человечества принято выделять ряд этапов. Этапы 1.0 и 2.0 были связаны с развитием сельского хозяйства. Третья ступень – это индустриальная революция, начало массового использования промышленного производства. Этап 4.0 охватывает период всеобщей компьютеризации, включая технологическое оборудование и этапы изготовления изделий. Суть новой революции заключается в том, что материальный мир соединяется с виртуальным, в результате чего рождаются новые киберфизические комплексы, объединённые в одну цифровую экосистему. Этап 5.0 должен охватить все стадии жизненного цикла (ЖЦ) изделий.

В статье [6] приводится интервью с представителем японской компании о развитии цифрового общества. Отмечено, что Индустрия 4.0 – лишь часть процесса с переходом к Обществу 5.0, которое представляет собой ступень, следующую за информационным обществом [7]. Общество 5.0 представляет собой оптимизацию ресурсов социума в целом через интеграцию физического и киберпространства.

В материале [8] рассматривается интеграционная концепция Индустрии 5.0 по трём основным направлениям: проектное управление и цифровая экономика, развитие личности и компетенций, промышленный и домашний Интернет. Индустрия 5.0 описывается как информационная система, обеспечивая планирование, регистрацию, переработку и отражение информации как минимум по трём измерениям элементов влияния: в сферах, поддерживающих и создающих продукт, в стадиях осуществления деятельности и в составе элементов управленческой деятельности.

Фундаментом для 4ПР является Интернет вещей (*Internet of Things, IoT*) — концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаящее из части действий и операций необходимость участия человека [8]. 4ПР должна охватывать автоматизацию абсолютно всех этапов и процессов, включая цифровое проектирование изделия, создание его виртуальной копии, совместную работу инженеров-конструкторов и технологов в едином цифровом пространстве и т.д., когда изделия ещё не являются вещами, а существуют в виртуальном мире в виде информационных моделей.

Цифровая революция должна дать возможность непрограммирующему носителю знаний вводить их в компьютер без посредников. Это стало возможным, используя методологию *экспертного программирования* [9]. В этой методологии знания описываются на языке *деловой прозы*, максимально приближенном к литературному языку, но формализованному настолько, что имеется возможность автоматической генерации программных средств, соответствующих исходным текстам.

Интегрирование промышленной и цифровой революций необходимо рассматривать в совокупности двух миров: мира виртуального, реализуемого Интернетом знаний (*Internet of Knowledge, IoK*), и мира реального, реализуемого Интернетом вещей. Интернет знаний строится на онтологической основе, коренным объектом которой является метаонтология. С точки зрения искусственного интеллекта (ИИ), *онтология* – это эксплицитная (явная) спецификация концептуализации знаний. Метаонтология оперирует общими концептами и отношениями, которые не зависят от конкретной предметной области. Метаонтология должна содержать концепты и отношения, необходимые как для предметной онтологии, так и для онтологий задач и оптимизации. Метаонтология включает в себя три компонента: предметную онтологию, онтологию задач и онтологию оптимизации (рисунок 1).

Предметная онтология состоит из иерархии понятий, их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода. Предметная онтология на основе использования задач обеспечивает на основе технических заданий генерацию 3D моделей изделий, которые адекватно представляют изделия в виртуальном мире и удовлетворяют требованиям заданий. Онтология задач включает задачи структурного и параметрического синтеза моделей изделий и процессов. С её помощью обеспечивается генерация цифровых моделей процессов и производства [10].

Третью компоненту метаонтологии составляет онтология оптимизации, включающая компоненты однокритериальной и многокритериальной оптимизации.

В описанном подходе мир вещей состоит из изделий, изготовленных с помощью 3D принтеров или станков и роботов, составляющих оборудование в составе средств технологического оснащения конкретного производства и имеющейся в нём оснастки. Процесс изготовления регламентируется цифровыми моделями, сгенерированными с помощью соответствующих систем, включающих необходимые задачи.

Проектирование процессов производится с использованием данных о состоянии производства, получаемых из Интернета вещей.

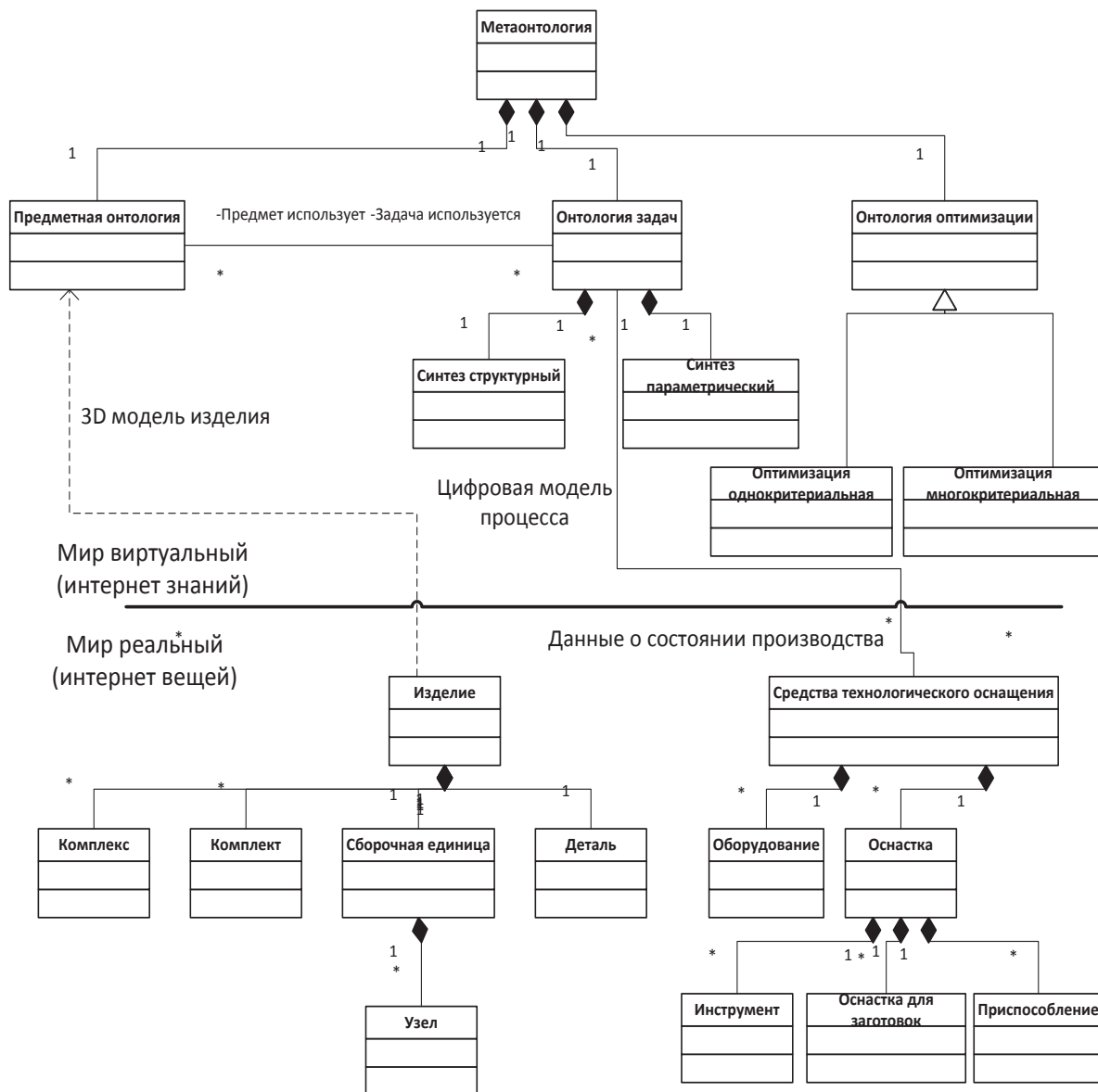


Рисунок 1 - Интегрированная структура Интернета знаний и Интернета вещей

1 ЖЦ изделий машиностроения

На рисунке 2 приведён ЖЦ изделий и интегрированная структура Интернета знаний и Интернета вещей. ЖЦ изделия содержит этапы: проектирование, производство, эксплуатация и утилизация. На этапах конструкторского и технологического проектирования изделия и процессы существуют в виртуальном мире, в связи с чем применяется Интернет знаний. В процессе производства изделия возникают как вещи, поэтому появляется возможность совместного использования Интернета вещей и Интернета знаний.

На рисунке 3 раскрыт этап проектирования, который начинается с маркетинга. В качестве выходов этого блока в соответствии с двумя концепциями маркетинга отмечены «техническое задание (совершенствование товара)» и «совершенствование производства». Техническое задание является входом блока «Проектирование изделий», а совершенствование производства – входом блока «Проектирование технологических процессов и оснастки».

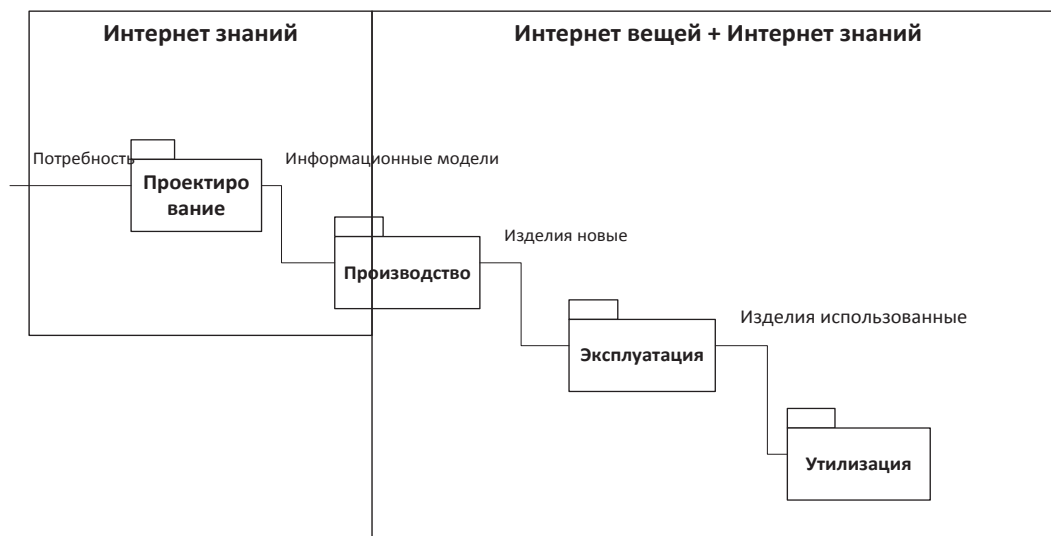


Рисунок 2 - ЖЦ изделий и интегрированная структура Интернета знаний и Интернета вещей

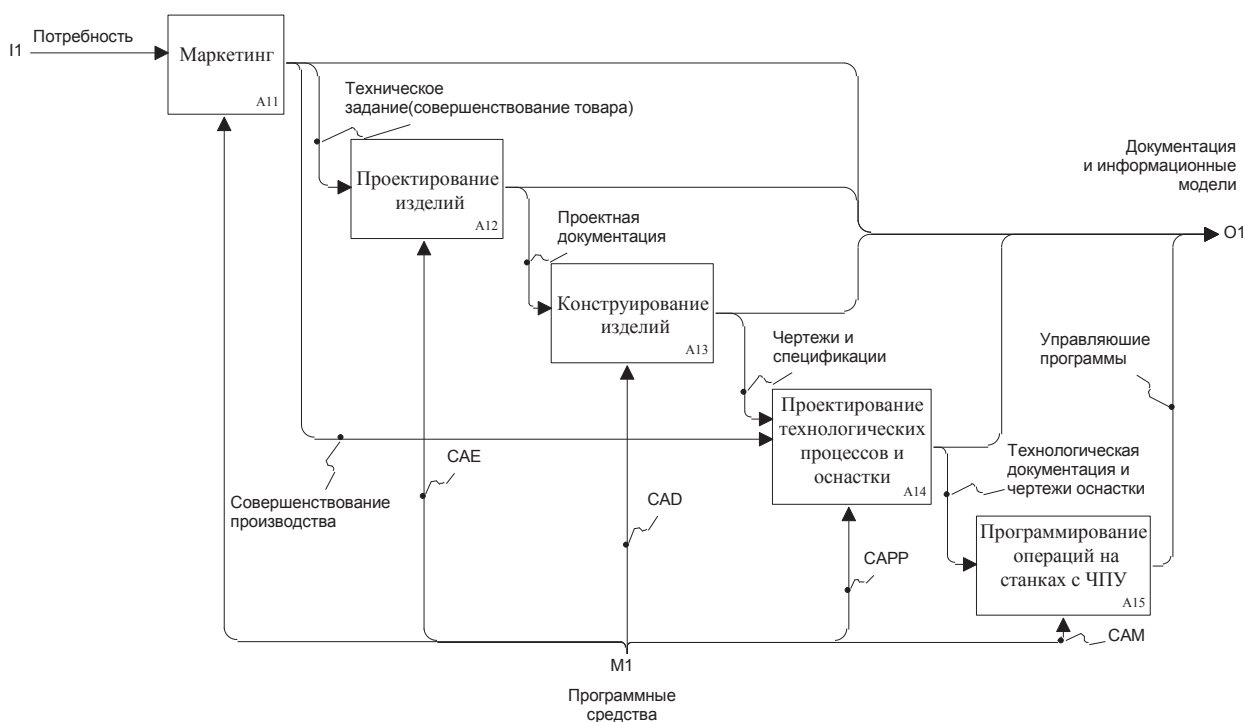


Рисунок 3 - Декомпозиция этапа проектирования

На этапе проектирования изделие представляется как формальная система с оформлением соответствующей проектной документации [10, 11].

Описанные функции составляют содержание инженерной подготовки производства. Декомпозиция этапа «Производство» (рисунок 2) приведена на рисунке 4. Первым функциональным блоком этой декомпозиции является «Планирование ресурсов предприятия». Средством реализации этого блока являются системы класса ERP (*Enterprise Resource Planning*).

Данные о приобретённых материалах и комплектующих совместно с документацией и информационными моделями изделий передаются на вход функционального блока «Планирование и диспетчирование производства», средством реализации которого являются системы класса MES (от *Manufacturing Execution System*, производственная исполнительная си-

стема) — специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства.

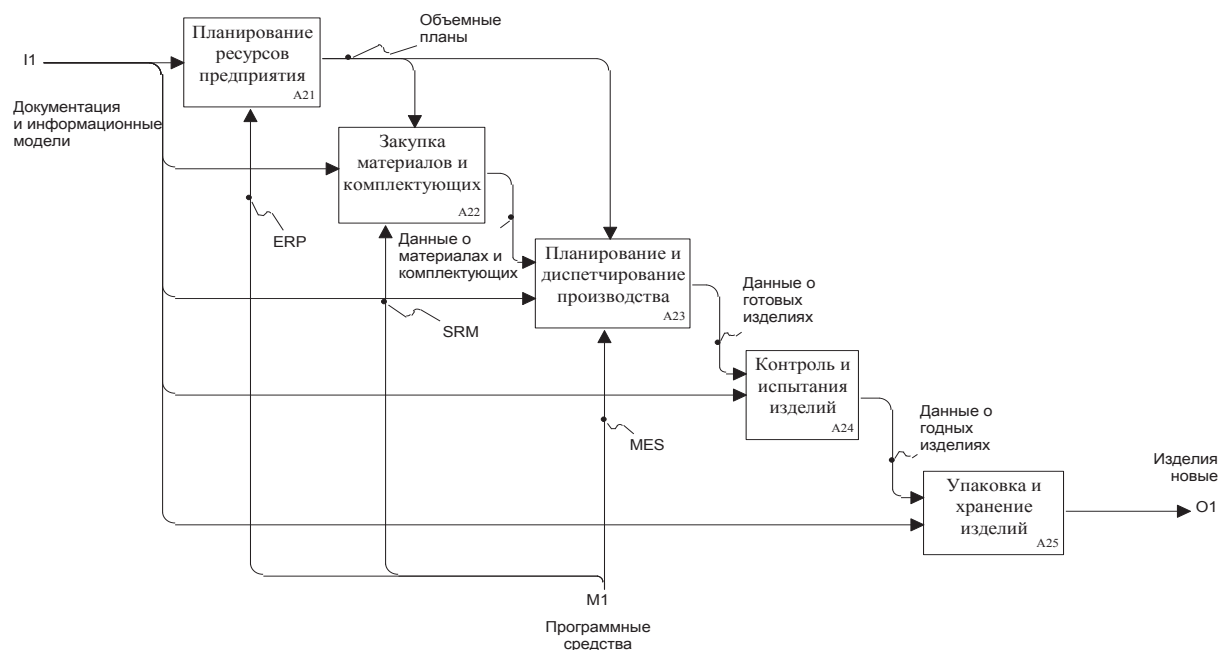


Рисунок 4 - Декомпозиция этапа производство

2 Концептуальные основы Интернета знаний

Семантика Интернета знаний определяется метаонтологией (см. рисунок 5). Коренным метаобъектом в этом случае является «База знаний» (БЗ), которая имеет своё наименование, имя-идентификатор и версию. Методы, подключённые к БЗ, позволяют производить сортировку и поиск модулей знаний, из которых она состоит. Подмножество модулей знаний, объединённое в семантическую сеть, является методом, который можно экспортировать в другие БЗ, а также импортировать и производить слияние в единую семантическую сеть.

Согласно технологии вики (Wiki) БЗ представляет собой страницу. При этом БЗ может рассматриваться как модуль в составе интегрированной БЗ, которая в этом случае состоит из набора страниц. Структурными компонентами БЗ являются словарь БЗ и множество модулей. Словарь имеет своё имя-идентификатор и состоит из слов. Имеется возможность сортировки и поиска слов, а также импорт слов из текстовых документов. Слова имеют имя-идентификатор и содержательное наименование на одном из языков мира, а также тип слова из наборов чисел и символов. Слова могут иметь ассоциативные списки, содержащие допустимые наименования слов. Ассоциативный список имеет имя-идентификатор, наименование и тип значений из числа названных. Применительно к спискам имеются возможности добавления, удаления, сортировки значений и поиска списка. Возможность замены словаря БЗ позволяет обеспечить выполнение концептуального требования вики-систем: использование любых языков мира.

Вторым структурным компонентом БЗ является множество модулей знаний. Модули знаний выполняют основное функциональное назначение БЗ – преобразование текущего состояния данных с целью получения новых объектов, удовлетворяющих целям проектирова-

ния. Каждый модуль имеет наименование, а также имена-идентификаторы самого модуля, условия его исполнения и версию.

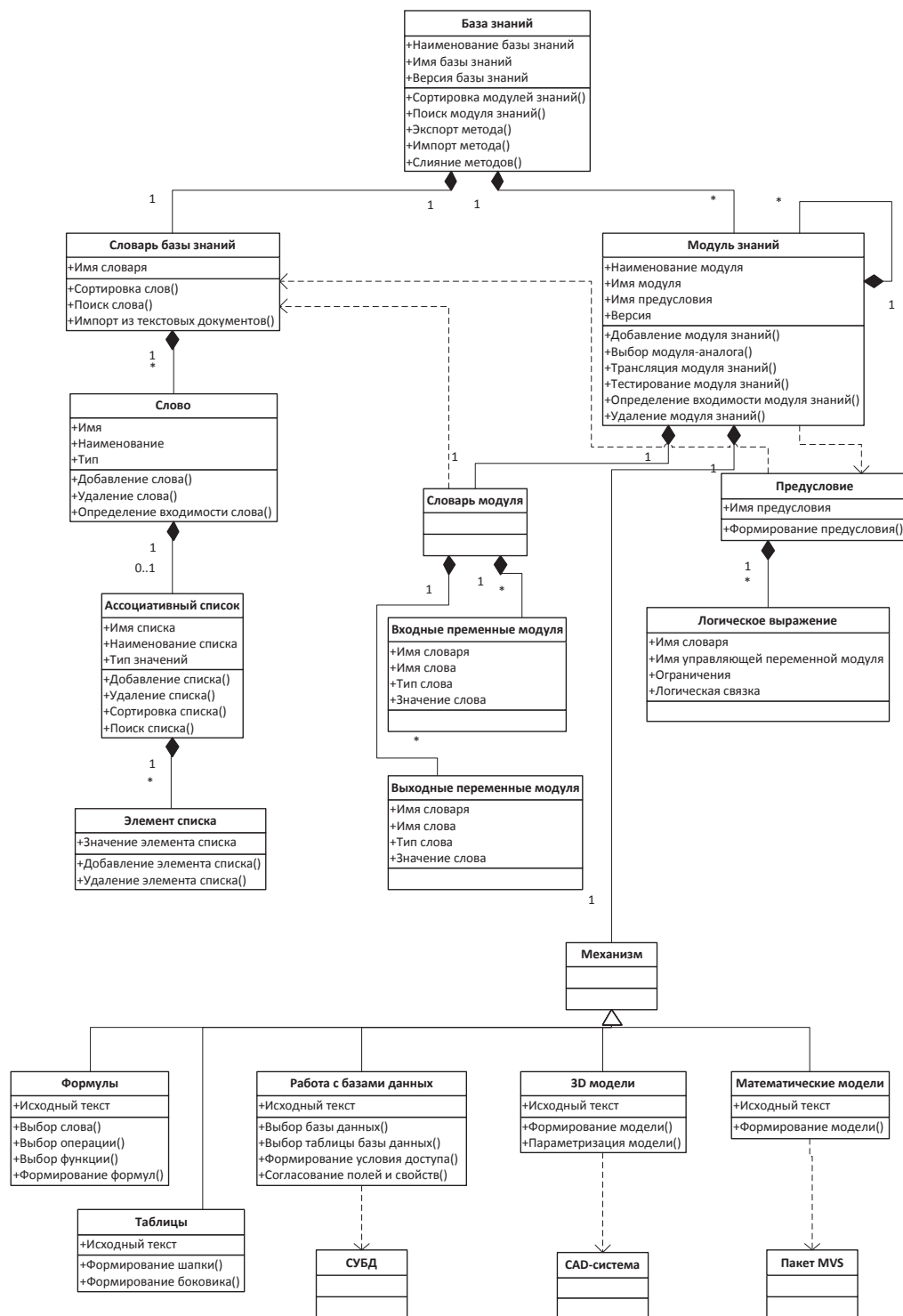


Рисунок 5 - Метаонтология Интернета знаний

В БЗ имеются возможности добавления модулей, выбора модуля-аналога, трансляции модуля знаний на один из языков программирования, тестирования полученного результата, а также определения входимости модуля в БЗ и удаления выбранного модуля. Эти действия могут выполняться любым оператором, что позволяет реализовать вторую концептуальную

основу вики-систем: обеспечение возможности независимого пополнения и корректирования содержания системы. Каждый модуль знаний имеет свой словарь, являющийся подмножеством словаря БЗ. В связи с тем, что модули представляют собой объект-функции, словарь имеет два подмножества: входные и выходные переменные модуля. Модули знаний могут иметь предусловия, определяющие возможности его выполнения. Предусловия представляют собой логические выражения, составленные из слов словаря БЗ, ограничений значения переменных и логических связей.

3 Многоагентные методы создания БЗ

Важнейшей методической основой для реализации концепций *интеграция, интеллектуализация и индивидуализация* является теория многоагентных систем (МАС).

Рассмотрим применение МАС на примере интеллектуальных систем (ИС) проектирования и управления [9]. В машиностроительных системах в качестве агентов выступают комплексы, сборочные единицы, детали и их элементы, а также технологические процессы (ТП) их изготовления. Активность агентов заключается в необходимости решения двух категорий задач: структурного синтеза и синтеза параметрического. Структурный синтез заключается в выборе структуры подчинённых объектов, а параметрический – в генерации значений собственных свойств, в результате чего из класса объектов, представленных в форме агента, генерируется один экземпляр, который и включается в проект.

Реактивность агентов обеспечивает решение упомянутых задач за счёт обмена информацией между агентами непосредственно или через БЗ [12]. Автономность агентов основывается на встроенных в них методах, в которых содержатся инженерные знания по различного рода расчётам, а также геометрические и графические знания в форме параметризованных моделей, обеспечивающих генерацию трёхмерных образов и чертежей. Общительность агентов имеет как вертикальную, так и горизонтальную составляющие. Вертикальная составляющая включает обмен данными по иерархии «целое-часть» и «род-вид», а горизонтальная – обмен между конструктивно сопряжёнными, но не подчинёнными друг другу по иерархии агентами. Целенаправленность агентов определяется необходимостью реализации проекта, удовлетворяющего техническим требованиям заказчика, а также другим требованиям, накладываемым разработчиком.

Обобщённая модель класса инженерных агентов приведена на рисунке 6. Любой агент представляет собой открытую систему, помещённую в некоторую среду. В случае САПР этой средой является проект, формируемый в базах данных (БД), в качестве которых целесообразно использовать БД объектного типа для представления модели изделия (*внутренняя среда*), и реляционную БД для поиска стандартных и покупных изделий, свойств материалов и т.п. информации (*внешняя среда*). Внешняя среда, как правило, является сетевой.

Свойства агента могут принадлежать трём различным категориям: импортируемые, экспортируемые и внутренние. Импортируемые свойства являются *рецепторами* агента, формирующими его систему *восприятия*. Экспортируемые свойства агента являются его *эффекторами*, функция которых состоит в воздействии на среду, то есть на состояние проекта. Свойства всех трёх категорий агента образуют его *память*, в которой хранится текущее состояние агента.

Процессор агента формируют его методы, обеспечивающие объединение и переработку разнородных данных, выработку соответствующих реакций на информацию о состоянии среды (проекта), принятие решений о выполнении тех или иных действий. В целом процессор определяет *поведение* агента, которое можно наблюдать, например, в графическом окне, в котором отображаются сгенерированные чертежи и другая геометрическая информация.

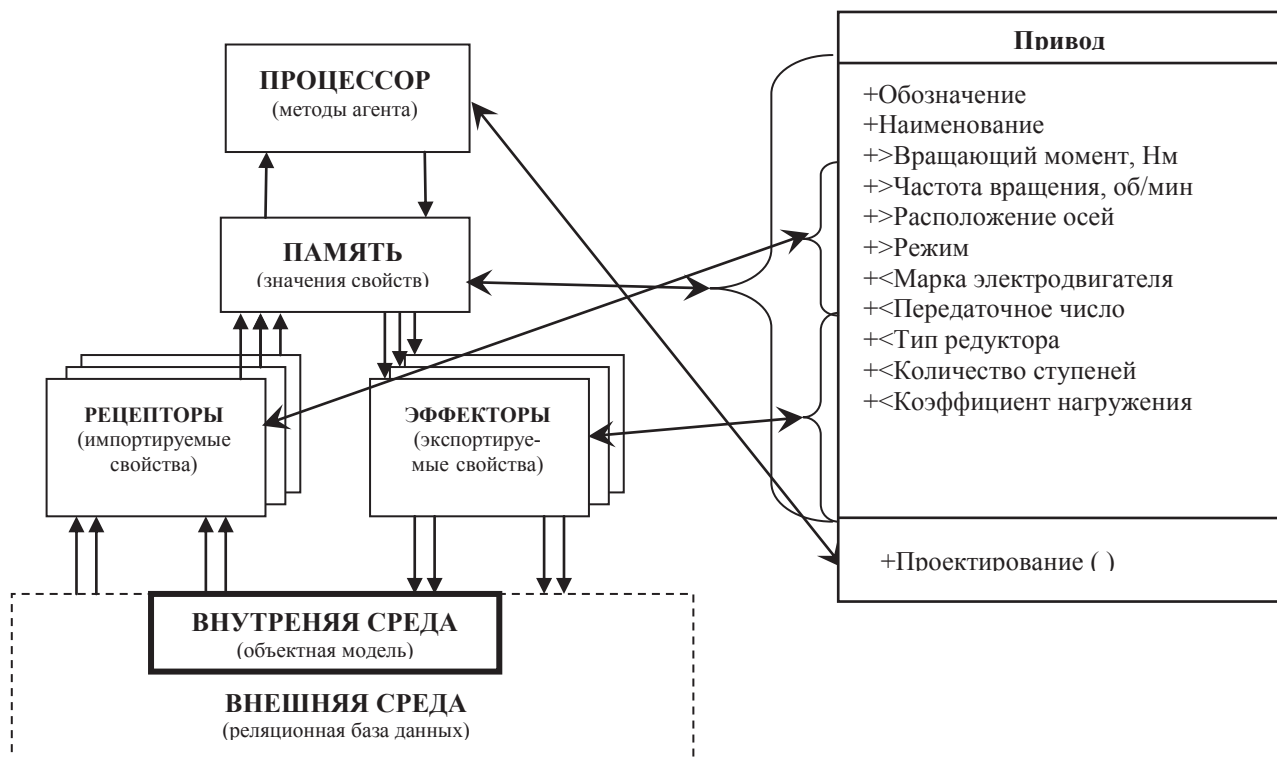


Рисунок 6 – Обобщённая модель класса инженерных агентов

При создании ИС первой фазой проектирования является формирование номенклатуры и оргструктуры агентов. Номенклатура агентов определена в словаре системы. Формирование оргструктуры агентов осуществляется в форме построения диаграммы классов UML. Применительно к созданию программных средств диаграммы классов эквивалентны конструкторским сборочным чертежам.

На рисунке 7 приведена методология инженерных агентов проектирования электромеханических приводов и технологических процессов их изготовления. Механизмы реализации представлены в виде методов, являющихся БЗ по расчёту, проектированию и конструированию изделия и его узлов, а также проектированию и нормированию ТП. Управление обеспечивается предусловиями. Концептуально искусственный агент представляет собой объект-функцию. Модель функционального блока, связанного с агентом, определена стандартом IDEF0. Важной частью объектного подхода является то, что объектно-ориентированное программирование использует в качестве основных логических конструктивных элементов объекты, а не алгоритмы. Именно на это направлена многоагентная методология.

4 МАС полуавтоматического проектирования изделий

Имеются два основных способа использования технологий ИИ при автоматизации проектирования: встраивание и надстраивание. Первый подход используется в ряде САД-систем, например SolidWorks [13]. Недостатком такого подхода является то, что инженеры, не занимающиеся конструированием, например технологи, не могут использовать интеллектуальные возможности таких систем. В статье предлагается использовать подход надстраивания, который позволяет применять методы ИИ на всех этапах ЖЦ изделий.

МАС обладают статическими и динамическими свойствами. В UML для представления статического и динамического вида системы используются различные диаграммы. Основной статической диаграммой UML является диаграмма классов. Представление классов объектов

в ней не обладает функциональностью, необходимой для описания МАС. Во-первых, не предусмотрено деление свойств на входные и выходные, что необходимо для представления объект-функций. Во-вторых, классы объектов не имеют предусловий, необходимых для управления процессом поведения системы. Эти проблемы можно решить, не выходя за рамки средств, принятых для представления диаграмм классов.

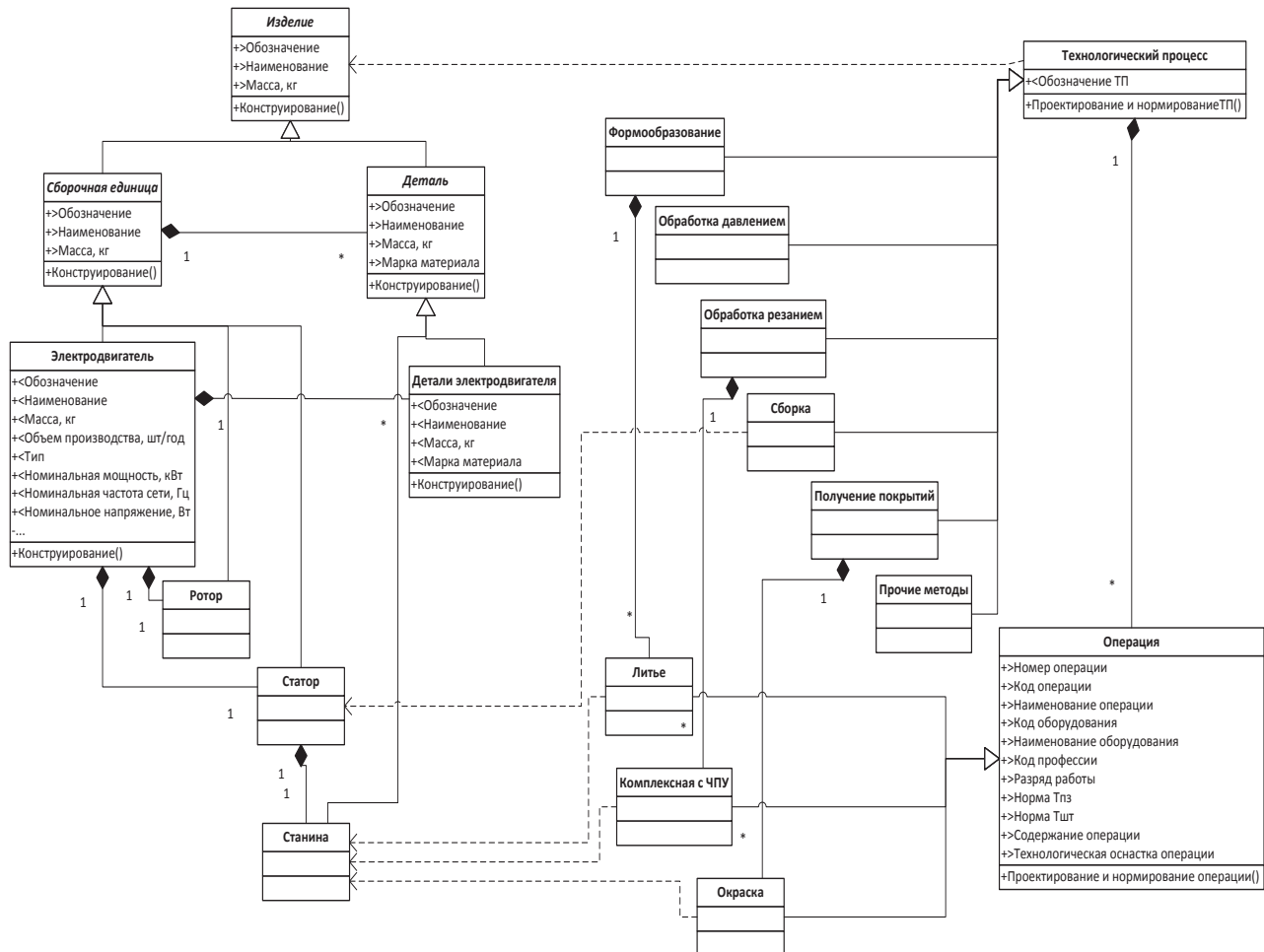


Рисунок 7 - Метаонтология инженерных агентов проектирования и изготовления электромеханических приводов

На рисунке 8 представлена модифицированная диаграмма классов для МАС. На ней на примере описания редуктора входящие свойства редуктора обозначены символом $>$, а выходящие, получаемые в результате проектирования, – символом $<$. Предусловие для узла вала промежуточного представлено в виде ограничения, в котором записано, что этот узел появляется при передаточном числе более 6.3.

Что касается динамических свойств, то методы классов объектов представляются в виде диаграмм состояний, в которых предусловия включены внутрь модулей.

На рисунке 9 приведена схема функционирования полуавтоматической системы в процессе проектирования одноступенчатого редуктора.

На входе в систему имеется техническое задание (ТЗ), которое формируется с использованием соответствующего окна. Имеется возможность формирования ТЗ разного состава. На рисунке 9 приведён вариант ТЗ, включающего величины момента вращающего на выходном валу в Hm , частоты вращения на выходе в $об/мин$, ресурса передачи в $часах$ и количества изделий.

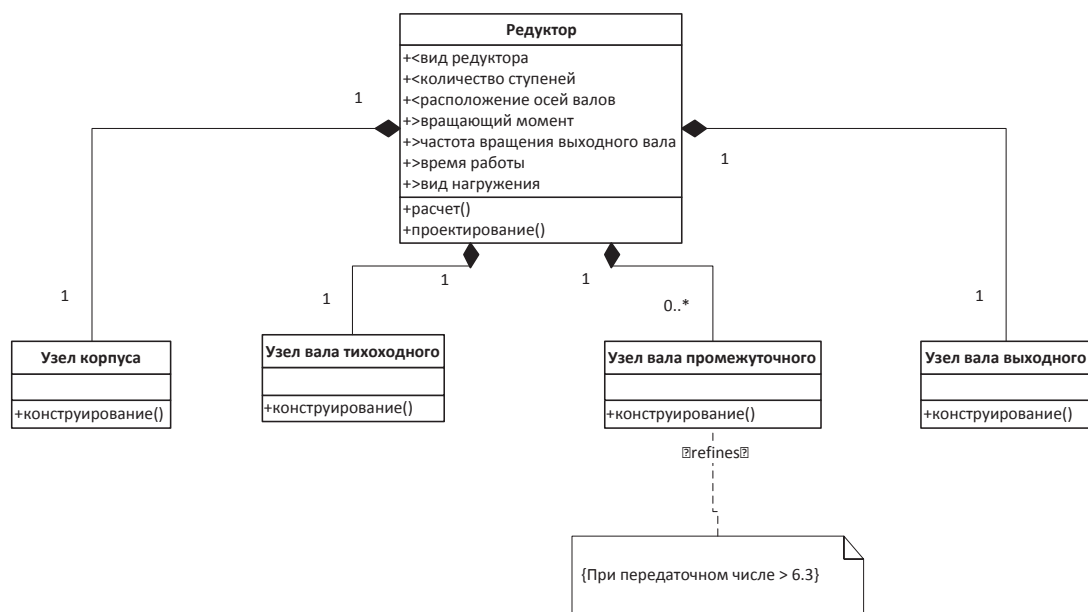


Рисунок 8 - Модифицированная диаграмма классов для МАС

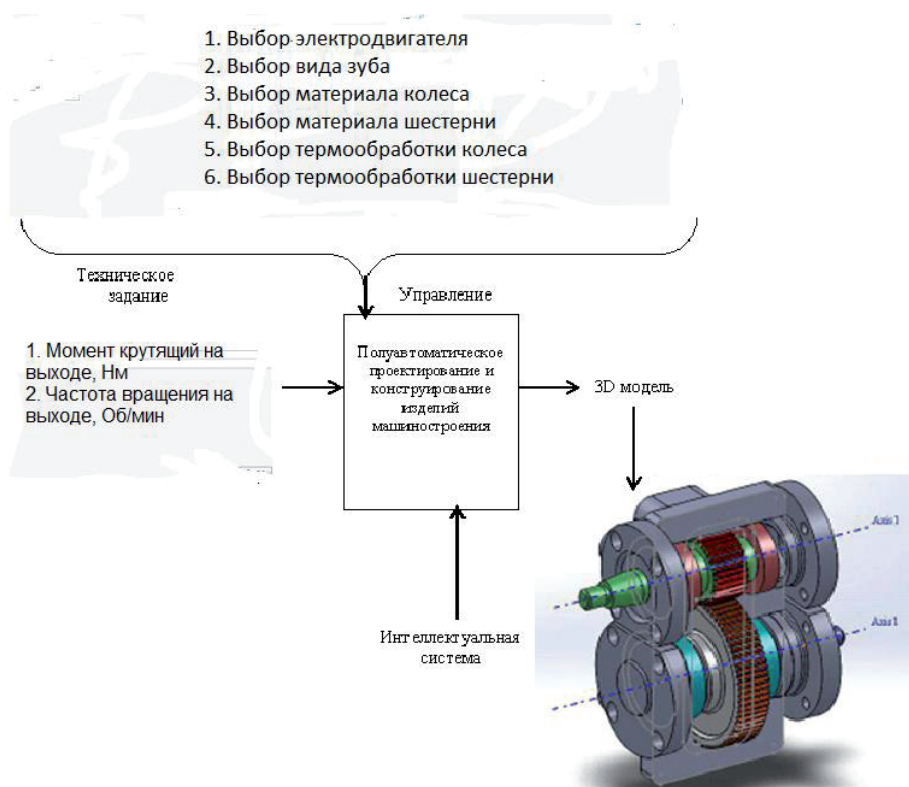


Рисунок 9 - Схема функционирования полуавтоматической системы

Управление процессом проектирования осуществляется с помощью ответов на вопросы с заданной номенклатурой вариантов значений, выводимых БЗ. В окне первого вопроса (порядок на рисунке слева направо и сверху вниз) разработчику представляется возможность выбора электродвигателя для привода. Приведено подмножество электродвигателей из БД, способных обеспечить выполнение ТЗ по мощности и частоте вращения. Во втором вопросе предлагается выбрать вид зуба колеса (прямой, косой или шевронный). Следующие вопросы

связаны с выбором термообработки и материалов шестерни и колеса. Два вопроса позволяют уточнить значения свойств материалов шестерни и колеса.

После ответов на все вопросы ИС производит все необходимые расчёты и генерацию документации и 3D модели. Если в результате ответов на вопросы нарушаются какие-либо ограничения, встроенные в БЗ, ИС выдаёт отказ с объяснением причин.

5 ИС программирования обработки на оборудовании с ЧПУ

Одной из наиболее эффективных систем автоматизации программирования на оборудовании с ЧПУ является отечественная система SprutCAM [14,15], обладающая интеллектуальными возможностями. Здесь рассматриваются возможности этой системы применительно к генерации траекторий и формированию зон фрезерной обработки детали.

Чистовая построчная оптимизированная обработка состоит из двух чистовых построчных траекторий, рабочие ходы которых лежат во взаимно перпендикулярных плоскостях (см. пример на рисунке 10). При этом каждая траектория обрабатывает только те зоны, в которых фронтальный угол к поверхности в направлении перемещения инструмента меньше или равен 45 градусам. Это гарантирует, что одни и те же участки не будут обработаны дважды. Кроме того, при такой стратегии достигается равномерная высота гребешка по всей поверхности детали. В результате улучшаются условия резания и уменьшается машинное время.

В задании на обработку для чистовой построчной оптимизированной операции указывается набор твёрдых тел, поверхностей и сеточных объектов. Для каждого геометрического объекта или группы объектов может быть установлен дополнительный припуск, который при обработке будет добавлен к основному припуску операции. Если заготовка и ограничивающая модель не заданы, то производится обработка всей доступной поверхности рабочего задания. Иначе обрабатываются лишь участки поверхности, лежащие внутри заготовки и вне ограничивающей модели.

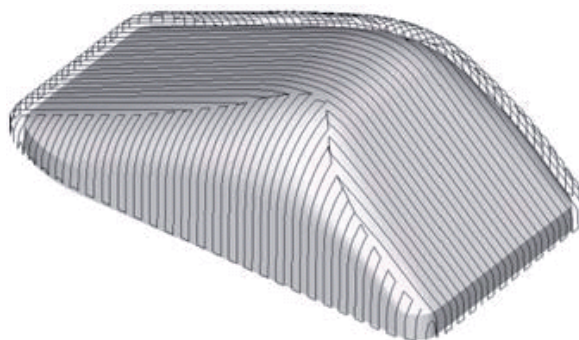


Рисунок 10 – Схема чистовой оптимизированной построчной обработки детали

Зоны обработки предназначены для выделения на детали или заготовке зон, подлежащих обработке в черновых и чистовых фрезерных переходах. Зоны обработки могут быть замкнутыми и открытыми. Задание открытых зон – новый эффективный инструмент, позволяющий технологу легко выделять на заготовке области обработки, которые без такой возможности приходилось бы строить вручную в 2D редакторе.

В системе имеется возможность создания переходов по уже выбранной геометрии. Суть этого метода заключается в том, что технолог сначала выбирает геометрию, которую планирует обработать, в графической области, и затем создаёт операцию. При этом выбранная геометрия автоматически попадает в рабочее задание созданной операции. Кроме того, при создании самой операции система анализирует рабочее задание, и пытается подобрать параметры операции исходя из параметров рабочего задания.

6 ИС проектирования и нормирования ТП

Основой для построения ИС являются онтологические концептуальные метамодели. Если для создания таких систем в области конструирования в качестве модели целесообразно использовать модифицированные диаграммы классов объектов UML, то применительно к системам проектирования ТП наиболее удобны модели стандарта IDEF3 [9].

Применение методики IDEF3 показано на примере формирования метамодели ТП обработки цилиндрических зубчатых колес (рисунок 11). Первым функциональным элементом метамодели ТП является блок заготовительных операций, который целесообразно декомпозировать отдельно в виде дочерней модели (рисунок 12).

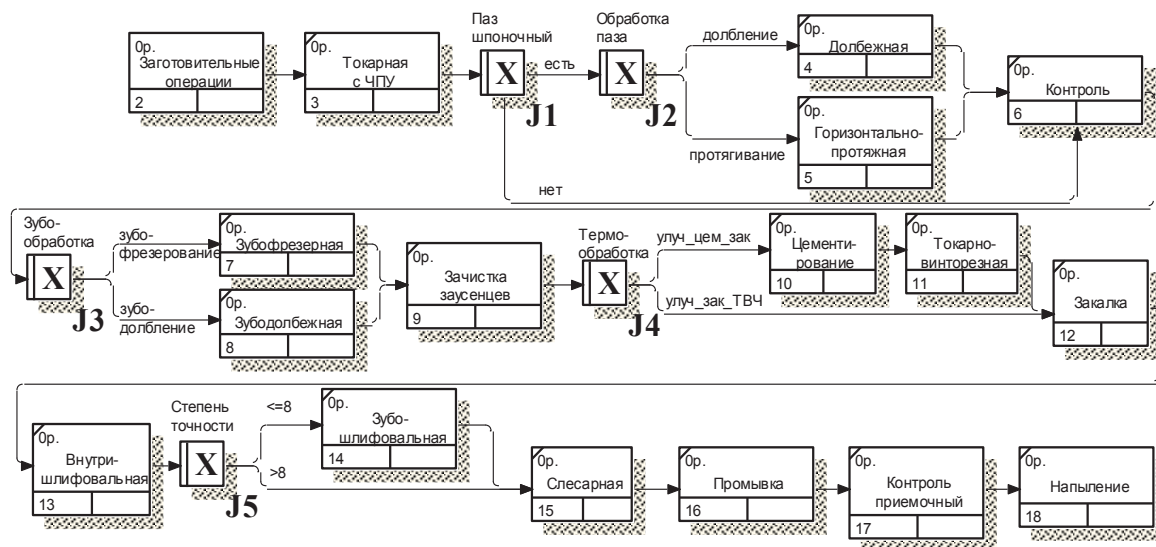


Рисунок 11 – Метамодель ТП обработки цилиндрических зубчатых колес

Эта модель начинается с перекрёстка типа исключаящего *ИЛИ*. Такие перекрёстки наиболее часто используются при формировании метамодели ТП. Этот перекрёсток помимо формального идентификатора J6 имеет имя «Заготовка» и относится к типу разветвления стрелок. Каждая из отходящих от него стрелок имеет собственное имя: «литьё», «штамповка» и «круг». Таким образом, можно считать, что «Заготовка» является символьной переменной, принимающей одно из трёх перечисленных значений. В зависимости от этих значений выполняются различные заготовительные операции. Если переменная принимает значение «литьё», то выполняется соответствующая литейная операция. В случае значения «штамповка» выполняются операции «Пило-отрезная», посредством которой подготавливается заготовка для штамповки, и собственно операция «Штамповка».

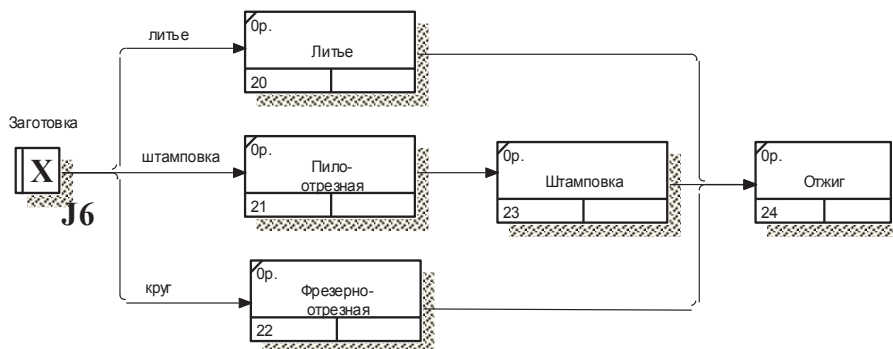


Рисунок 12 - Дочерняя модель заготовительных операций для цилиндрических зубчатых колес

7 ИС оперативного управления производством

На рисунке 14 представлена общая функциональная модель работы машиностроительного предприятия при позаказном производстве. На входе - заказы, а на выходе – готовая продукция с документами для отгрузки, а также отчётные бухгалтерские документы.

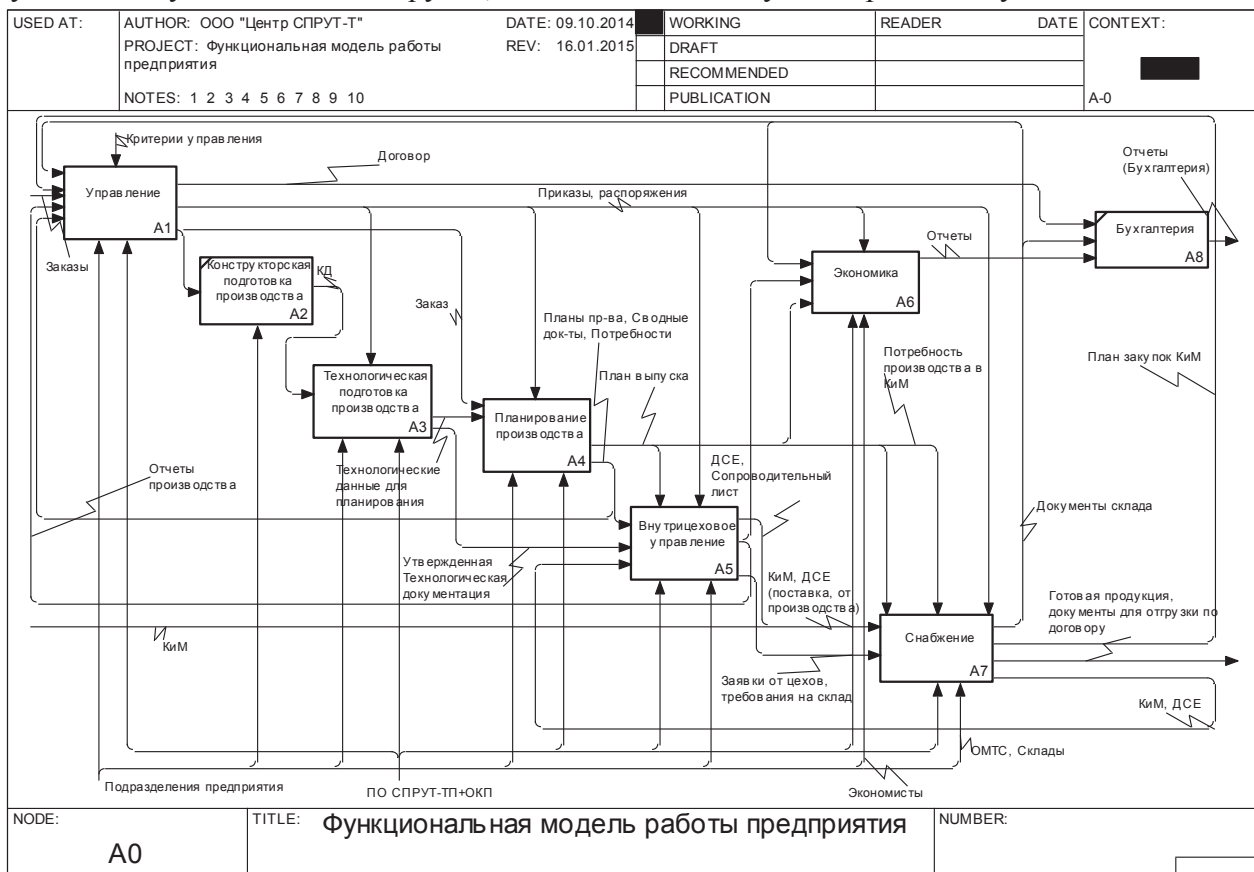


Рисунок 14 - Функциональная модель работы предприятия

Первым функциональным блоком модели является блок «Управление». Механизмами реализации всех функциональных блоков являются соответствующие подразделения предприятия, а также программные комплексы, в качестве которых здесь рассматриваются отечественные системы проектирования СПРУТ-ТП и оперативно-календарного планирования СПРУТ-ОКП [16]. Результатами работы блока «Управление» являются договоры, поступающие в блок «Бухгалтерия», приказы и распоряжения, управляющие работой последующих функциональных блоков, а также заказы, определяющие конструкторско-технологическую подготовку производства и его планирование. Помимо спецификации заказа на вход блока «Управление» поступают многочисленные обратные связи от последующих блоков, необходимые для принятия управленческих решений.

Вторым функциональным блоком на рисунке 14 является конструкторская подготовка производства.

Система СПРУТ-ТП обеспечивает автоматизированное нормирование на базе отечественных нормативов и работает совместно с системой оперативно-календарного планирования СПРУТ-ОКП. В результате работы СПРУТ-ТП формируются ТП и спецификации, на основе которых производится формирование сводных технологических ведомостей (трудоемкости, оборудования, оснастки и материалов) на данный заказ. Спроектированные и отнормированные в СПРУТ-ТП ТП передаются в систему оперативно-календарного планиро-

вания СПРУТ-ОКП. При формировании данных для передачи в СПРУТ-ОКП проверяется их корректность, и протокол ошибок возвращается на вход блока разработки и нормирования ТП. Планирование производства осуществляется на двух уровнях: предприятия и цеха. На уровне предприятия формируется план выпуска на год, квартал, месяц. На этой основе формируются планы-графики цехов с учётом межцеховых переходов. Описанные функциональные блоки входят в состав подсистемы СПРУТ-ОКП. Одним из функциональных блоков модели работы предприятия является блок «Снабжение».

Система СПРУТ-ОКП включает также блок «Экономика», в котором производится калькуляция по статьям затрат. На основе отчётов, поступающих с производства, формируются данные о браке деталей и сборочных единиц с указанием их количества, стоимости и причин брака. Эти отчёты используются для формирования нарядов на оплату. Экономическая информация позволяет системе СПРУТ-ОКП производить план-фактный анализ производства.

Заключение

Фундаментом для 4ПР является Интернет вещей. Однако 4ПР должна охватывать автоматизацию всех этапов и процессов, когда изделия ещё не являются вещами, а существуют в виртуальном мире в виде информационных моделей.

В преддверии грядущей Индустрии 5.0 необходимо рассматривать в совокупности два мира: мир виртуальный, реализуемый Интернетом знаний, и мир реальный, реализуемый Интернетом вещей. Интернет знаний целесообразно строить на онтологической методологии, в основе которой лежит мир виртуальных агентов, представляющих объект-функции, способные генерировать новые данные на основе имеющейся информации. Попытка такой интеграции, охватывающей все этапы ЖЦ изделий, представлена в настоящей статье.

Список источников

- [1] Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0. - <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0>.
- [2] Industry 4.0: the Future of Smart Manufacturing - Praim - <https://www.praim.com/Article>.
- [3] Siemens | Industrie 4.0 - <https://www.siemens.com/digital/enterprise>.
- [4] Digital Factory 4.0 | Industry 4.0 solution | antsolutions.eu - [//www.antsolutions.eu](http://www.antsolutions.eu).
- [5] Industry 4.0 - the Nine Technologies Transforming Industrial Production. - <https://www.bcg.com/.../embracing-industry-4.0-rediscover>.
- [6] **Норицугу, У.** Общество 5.0: взгляд Mitsubishi Electric / У. Норицугу // Экономические стратегии. №4/2017. - С.2-11.
- [7] **Ржевский, Г.А.** Самоорганизация в социальных системах / Г.А. Ржевский // Онтология проектирования. – 2014. - №4(14). – С.8-17.
- [8] Концепция Индустрии 5.0 - <http://industry5.ru/koncept>.
- [9] **Евгениев, Г.Б.** Основы автоматизации технологических процессов и производств. Т.1: Информационные модели. Т.2: Методы проектирования и управления - Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. - Т.1: - 441 с. - Т.2: - 479 с.
- [10] **Гришин, М.В.** Онтологии проектирования шаблонной оснастки в авиационном производстве / М.В. Гришин, С.Н. Ларин, П.И. Соснин // Онтология проектирования. – 2016. – Т.6, №1(19). – С. 7-28. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-1-7-28.
- [11] **Андриченко, А.Н.** Тенденции и состояние в области управления справочными данными в машиностроении / А.Н. Андриченко // Онтология проектирования. 2012, 2(4). – С. 25-35.
- [12] **Ризванов, Д.А.** Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем на основе многоагентного подхода / Д.А. Ризванов, Н.И. Юсупова // Онтология проектирования. – 2015. Т.5, №3(17). - С.297-312. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-3-297-312.
- [13] **Thilmany, Jean.** Putting Artificial Intelligence to Work in CAD Design – Engineers Rule. December 21, 2017. - <https://www.engineersrule.com/solidworks-puts-artificial-intelligence>.
- [14] СПРУТ-Технология. Автоматизация проектирования. - <https://sprut.ru/>.

- [15] Программирование обработки на оборудовании с ЧПУ: учебник: в 2 т./ под ред. Г.Б. Евгенева и А.Х. Хараджиева - Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. - Т.1. – 374 с. - Т.2. – 356 с.
- [16] Центр СПРУТ. Высокопрофессиональные российские программные решения для предприятия - <https://csprut.ru/>.
-

INDUSTRY 5.0 AS INTEGRATION OF THE INTERNET OF KNOWLEDGE AND THE INTERNET OF THINGS

G.B. Evgenev

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia
g.evgenev@mail.ru

Abstract

The methodology of creating systems of "Industry 5.0" class with the use of artificial intelligence technologies is proposed. The methodology is based on multi-agent methods of creating knowledge bases and is suitable for the development of design and control systems for digital intelligent industries. An Integrated structure of the Internet of Knowledge and the Internet of Things has been developed. The life cycle of mechanical engineering products is analyzed and the methods of application of the Internet of Knowledge and the Internet of Things at various stages of this cycle are proposed. The functional decomposition of the main stages of the life cycle is given. The conceptual foundations of the Internet of Knowledge are given. Multi-agent methods of knowledge base creation have been developed. The meta-ontology of engineering agents is proposed. The principles of construction of multi-agent systems for semi-automatic design of products are described. The description of the capabilities of intelligent programming of processing systems for CNC machining in terms of the formation of machining trajectory and transition areas is given. The possibilities of intelligent systems of design and regulation of technological processes are described. It is proposed to use the IDEF3 standard to create metamodels of technological processes and modified route maps for the formation of knowledge bases. The description of the intellectual system of operative management of industrial production is given. The General functional model of operation of an industrial enterprise operation is considered. The functional blocks of the system are described.

Key words: Industry 4.0, Industry 5.0, digital manufacturing, Internet of knowledge, Internet of things, intelligent systems.

Citation: Evgenev GB. Industry 5.0 as integration of the Internet of Knowledge and the Internet of Things [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(1): 7-23. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-7-23.

References

- [1] Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0. - <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0>.
- [2] Industry 4.0: the Future of Smart Manufacturing - Praim - <https://www.praim.com> > Article.
- [3] Siemens | Industrie 4.0 - <https://www.siemens.com/digital/enterprise>.
- [4] Digital Factory 4.0 | Industry 4.0 solution | antsolutions.eu - [//www.antsolutions.eu](http://www.antsolutions.eu).
- [5] Industry 4.0 - the Nine Technologies Transforming Industrial Production. - <https://www.bcg.com/.../embracing-industry-4-0-rediscoveri>.
- [6] *Noritsugu U.* Society 5.0: Mitsubishi Electric view [In Russian]. *Economic strategies*. 2017; 4: 2-11.
- [7] *Rzevski G.* Self-organization in social systems. *Ontology of Designing*. 2014; 4(14): 8-17.
- [8] Industry 5.0 [In Russian]. - <http://industry5.ru/koncept>.
- [9] *Evgenev GB.* The Basics of automation of technological processes and production. V.1: Information models. V.2: methods of design and management [In Russian]. Moscow, Izd-vo BMSTU, 2015. - V.1 - 441 p.; V.2 - 479 p.
- [10] *Grishin MV, Larin SN, Sosnin PI.* Ontology of designing industrial equipment within the aviation production [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(1): 7-28. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-1-7-28.
- [11] *Andrichenko AN.* Tendencies and condition in the field of reference data management in the engineering industry [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 2(4): 25-35.

- [12] **Rizvanov DA, Yusupova NI.** Intelligent decision support for resource management of complex systems based on multi-agent approach [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 3(17): 297-312. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-3-297-312.
- [13] **Thilmany J.** Putting Artificial Intelligence to Work in CAD Design – Engineers Rule. December 21, 2017. - <https://www.engineersrule.com/solidworks-puts-artificial-intelligence>.
- [14] SPRUT-Technology. Automation design [In Russian]. - <https://sprut.ru/>.
- [15] Programming of machining on CNC equipment [In Russian]; Edited by G.B. Evgenev and A.H. Harajiev. Publishing house of the MSTU N.Uh. Bauman, 2018. - V.1 – 374 p.; V.2 – 356 p.
- [16] Center SPRUT. Highly professional Russian software solutions for companies [In Russian]. - <https://sprut.ru/>.

Сведения об авторе



Евгениев Георгий Борисович, 1938 г. рождения. Окончил Московский авиационный технологический институт в 1960 г., к.т.н. (1964), д.т.н. (1975). Лауреат премии Совета Министров СССР (1991). Профессор кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 150 работ в области САПР и ИИ.

Georgy Borisovich Evgenev (b. 1938) graduated from the Moscow aviation technological Institute in 1960, PhD (1964), Doctor of engineering (1975). He is Council of Ministers of the USSR prize winner (1991). Professor at Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. Member of the International Association for Ontology and its Applications. Co-author of about 150 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI.

Примечание редакции

Для читателя, проявившего интерес к поставленным в статье вопросам, может быть полезна краткая справка о грядущих социальных преобразованиях в связи с эволюционно-технологическим переходом к Обществу 5.0.

От Индустрии 4.0 к Обществу 5.0: план социальных преобразований в Японии

(Источник: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0-society-5-0/>)

Общество 5.0. Дорога к супер-умному обществу вымощена важной ролью технологий в таких областях, как Интернет вещей, искусственный интеллект, кибер-физические системы, Big Data и др.

Ожидается, что во всем мире более 20 процентов населения будут старше 60 лет к 2050 году. Это означает, что все страны должны следить за тем, что делает Япония, и как это Общество 5.0 работает в реальности. Среди проблем, с которыми Япония сталкивается больше, чем многие другие страны, - стихийные бедствия и загрязнение. Супер-умное общество должно предложить путь решения этих и других проблем.

Эволюция общества представлена в пяти социальных этапах: 1) охотничье общество, 2) аграрное общество, 3) индустриальное общество, 4) информационное общество и 5) супер-умное общество.

Пять стен, которые необходимо преодолеть при переходе к Обществу 5.0.

- 1) стена министерств и ведомств (разработка национальных стратегий и интеграции государственной системы продвижения, включая разработку «удобной системы Интернет вещей» и функции мозгового центра).
- 2) стена правовой системы (реформы в области регулирования административной «оцифровки»).
- 3) стена технологий (формирование, использование и защита «фонда знаний»: от кибербезопасности до робототехники, нано, био и системных технологий).
- 4) стена человеческих ресурсов (образовательная реформа, ИТ-грамотность, расширение доступных человеческих ресурсов со специализацией в продвинутых цифровых навыках).
- 5) стена общественного признания (необходимость социального консенсуса, тщательное рассмотрение социальных последствий и этических проблем, в том числе в отношении человек-машина, и таких философских вопросов, как определение того, что означает индивидуальное счастье и человеческое богатство).

(См. также: Keidanren (Japan Business Federation). Toward realization of the new economy and society. April 19, 2016. - http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf).