

На правах рукописи



Андреев Дмитрий Анатольевич

**МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА
ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ И АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЙ
ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Тюменский государственный университет".

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Воронов Михаил Владимирович,
Московский городской психолого-педагогический университет, профессор кафедры прикладной математики

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Халимон Виктория Ивановна,
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), заведующая кафедрой системного анализа

Кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник
Москвин Борис Владимирович
Военно-космическая академия имени
А. Ф. Можайского, доцент кафедры
автоматизированных систем управления
космическими комплексами

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

Защита диссертации состоится "26" мая 2016 г. в 14:00 часов на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 002.199.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу:

199178, Санкт-Петербург, 14-а линия В.О., 39, комн. 401.

Факс: (812)-328-44-50 тел: (812)-328-34-11.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук.

<http://www.spiiras.nw.ru/dissovet/>

Автореферат разослан " ____ " _____ 2016 г.

Ученый секретарь совета
Д 002.199.01

кандидат технических наук, доцент



Р. Р. Фаткиева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современном мире технологические знания с полной уверенностью можно отнести к ценнейшей информации, поскольку усиленными темпами ведётся ожесточённая борьба за обладание информационными ресурсами, среди которых знания о технологиях производства продукции (далее – технологии) занимают одну из передовых позиций. Наличие огромного количества технологий, отличающихся самыми различными группами своих компонентов, выдвигает необходимость их анализа и сравнения. Решение в рамках этой проблематики научных и практических задач получает новое импульсное развитие при наличии эффективных инструментариев по построению формализованного описания технологий.

В настоящее время фиксация знаний о технологиях происходит посредством различных методов их описания, которые являются достаточно разнородными с позиций аспектов формализации. При этом возможность компьютерной обработки этих знаний в интересах анализа технологий существенно ограничивается средствами реализации этих методов. В этой связи для преодоления данной ситуации необходим тренд на более эффективное использование технологических знаний, что может быть обеспечено их успешным оперированием на базе прогрессивной методологической основы, в которой логика отношений между потенциальными элементами деятельности в полной мере обуславливается всеми компонентами материальной природы, используемыми в технологиях.

Степень разработанности проблемы. Исследования в области формализации технологических знаний проводились учёными, как в России, так и в других странах. Обсуждения данной проблемы и результаты, достигнутые в этом направлении, представлены в работах М. В. Воронова, В. Ф. Горнева, Т. В. Егошиной, С. М. Крылова, И. В. Матюшкина, А. К. Нестеренко, В. И. Пименова, Л. А. Рейнгольда, В. Н. Романенко, R. Koller, R. J. van Wyk и др.

В настоящей диссертационной работе описывается разработка инструментария, позволяющего реализовать процесс формализованного описания технологий посредством системно-онтологического подхода, базовые принципы которого позволят осуществлять оперирование технологическими знаниями компьютерными средствами в автоматизированном и автоматическом режимах и решать целый ряд задач анализа технологий.

Весомые результаты, связанные с применением основ системного подхода к вопросам формализации знаний посредством концептуального и онтологического моделирования, представлены в работах В. В. Александрова, В. И. Воробьёва, Т. А. Гавриловой, В. И. Городецкого, Г. Б. Евгенева, И. В. Котенко, С. В. Микони, С. П. Никанорова, И. П. Норенкова, В. Ш. Рубашкина, А. В. Смирнова, Б. В. Соколова, В. Ф. Хорошевского, Р. М. Юсупова, T. R. Gruber, S. Staab и др.

Изучение особенностей систем в области онтологического инжиниринга процессов показывает невозможность их применения к разрешению проблем формализованного представления технологических знаний, связанных с организацией анализа технологий. Проблемные аспекты проявляются в слабой проработанности формальных механизмов прикладного уровня описания технологий, в части формирования их декомпозиционных структур (ДСТ), что выражается в отсутствии представления элемента деятельности в виде целостного

концептуального образования и в замещении аксиоматики онтологических моделей графическими нотациями соответствующих инструментариев.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка инструментария, обеспечивающего эффективное оперирование знаниями о технологиях компьютерными средствами, для проведения анализа технологий производства продукции. Настоящая цель достигнута путём решения следующего перечня последовательных задач:

1. Исследовать и классифицировать существующие методы формализованного описания технологий;
2. Построить модели для формализованного описания технологий;
3. Построить алгоритмы, реализующие процесс формализованного описания технологий;
4. Разработать программное средство, позволяющее автоматизировать процедуры построения формализованного описания технологий;
5. Предложить показатели качества формализованного описания и анализа технологий.

Объектом исследования являются технологии, представляющие собой объём знаний о том, каким образом преобразовать исходное в результирующее.

Предметом исследования являются модели, алгоритмы и показатели качества формализованного описания и анализа технологий.

Научная новизна:

1. Предложена модель концепта технологического действия, которая отличается от существующих моделей концентрированием всей семантики технологических действий, располагающихся в узлах ДСТ, в рамках множеств, входящих в состав структуры этих концептуальных образований;

2. Построена модель формализованного описания технологий, которая отличается от существующих моделей организацией процесса формирования ДСТ, с целью получения аналитического инструментария по онтологическим представлениям технологий, путём определения и установления всех вводимых отношений, исходя из конструктивных особенностей встроеной модели концепта технологического действия;

3. Разработаны оригинальные алгоритмы построения формализованного описания технологий, отличающиеся от существующих алгоритмов выстраиванием онтологических иерархий концептов на основе предопределённых признаков декомпозиции, автоматическим установлением взаимосвязей между концептами одного уровня декомпозиции и автоматическим получением совокупных сведений о концептах, располагающихся в корневых узлах ДСТ, на основе реализованного принципа поуровневого агрегирования знаний;

4. Предложены показатели качества формализованного описания и анализа технологий с результатами соответствующих расчётов, которые отличаются от существующих показателей их определением и проведением расчётов, исходя из особенностей топологической организации сформированных ДСТ.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанные модели и алгоритмы формализованного описания технологий, которые определяют теоретическую значимость работы, и иллюстрирующее их работоспособность разработанное программное средство, которое несёт собой практическую значимость работы, могут послужить основой для создания

инструментов компьютерного оперирования технологическими знаниями с целью повышения эффективности решения широкого круга прикладных задач: построения специализированных хранилищ описания технологий, осуществления подбора наиболее подходящих технологий, проведения анализа экспертных исследований технологий, разработки учебно-методических и тренажерных комплексов, а также стать основой для поддержки процессов синтеза технологий.

В ходе работы доказана практическая значимость полученных результатов путём опытной эксплуатации программного средства на конкретном предприятии. В частности, в результате проделанной работы создано специальное программное средство, позволяющее произвести автоматизацию построения формализованного описания технологий. Предложенное решение позволяет а) усовершенствовать этап конструкторско-технологической подготовки производства, в части концентрации процессов обработки информации, необходимой для составления текущей технической документации на технологические процессы предприятия, в рамках одной компьютерной программы; б) повысить долю автоматических процедур при конструировании онтологических представлений технологий по сравнению с существующими программными аналогами подобного класса систем; в) сократить временные издержки и потребность в трудоёмкой ручной работе по получению совокупных сведений о технологиях, а также создать новые возможности для оперативного получения необходимого набора характеристик рассматриваемых технологий; г) осуществить отображение всех этапов построений формализованного описания технологий в виде наглядных графических изображений и реализовать переносимость результатов проектирования в формате XML-документов, поддерживаемого большинством современных информационных систем.

Методология и методы исследования. Методологическая основа проведения диссертационного исследования определяется применением методов системного анализа, теории множеств, теории графов, математической логики, методов оценки характеристик систем, технологии объектно-ориентированного анализа и проектирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель концепта технологического действия идентифицирует технологические действия в качестве целостных концептуальных образований;
2. Модель формализованного описания технологий обеспечивает однозначность перехода от вербальных описаний технологий к их онтологическим представлениям;
3. Алгоритмы построения формализованного описания технологий реализуют логические процедуры автоматизированного и автоматического конструирования онтологических представлений технологий;
4. Показатели качества формализованного описания и анализа технологий с результатами соответствующих расчётов отражают в количественном выражении их особенности.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается проведением всестороннего анализа работ по исследуемой проблеме, корректным применением научно-методического аппарата в виде указанных выше методов и теорий, согласованностью теоретических положений и выводов с результатами экспериментальной проверки

предложенных моделей и алгоритмов при помощи разработанного программного средства, апробацией основных результатов диссертации в печатных трудах и докладах на международных и всероссийских конференциях, положительными итогами практической реализации результатов работы.

Результаты работы были представлены для обсуждения на II международной научно-технической конференции «Компьютерные науки и технологии» в 2011 г., на V международной научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве» в 2011 г., на конференции «Реализация интеллектуального и технологического потенциала университетской и прикладной науки в построении экономики, основанной на знаниях» XII международного форума «Высокие технологии XXI века» в 2011 г., на XVII академических чтениях МАН ВШ «Инженерное образование в России и государствах – участников СНГ: Проблемы и перспективы развития» в 2011 г., на XIV-XVI Всероссийской объединённой конференции «Интернет и современное общество» в 2011-2013 гг., на международной научно-методической конференции «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах» в 2012 г., на IV международной научно-практической конференции «Современные проблемы моделирования социально-экономических систем» в 2012 г., на XIII национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием в 2012 г., на XI всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» в 2013 г., на XXIV-XXVII международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» в 2011-2014 гг., на VII-IX международной конференции «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве» в 2011-2015 гг.

Полученные результаты используются в учебном процессе кафедры «Информационные системы и технологии» ФГБОУ ВПО «Псковский государственный университет» при проведении лекционных и практических занятий по учебному курсу «Представление знаний в информационных системах». Программное средство OntoTechnology активно используется на одном из ведущих предприятий лёгкой промышленности Псковской области швейной фабрики ЗАО «АСКО» в качестве инструмента построения формализованного описания технологий по пошиву специальной одежды высокого класса, детской одежды, верхней одежды для мужчин и женщин.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 27 научных работах, среди которых 8 статей (3 статьи опубликованы в журналах, входящих в число ведущих рецензируемых научных изданий из перечня ВАК Минобрнауки РФ), 18 докладов на международных и всероссийских научно-технических, научно-практических и научно-методических конференциях, а также 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего в себя 152 наименования, и 2 приложений. Основной текст работы изложен на 163 страницах, содержит 46 рисунков и 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и описывается степень разработанности проблемы; формулируются цель и задачи диссертации; обозначается научная новизна положений, выносимых на защиту; определяются теоретическая и практическая значимость полученных результатов; приводятся сведения о степени достоверности и апробации результатов.

В первой главе проанализировано современное состояние дел в области формализации технологических знаний, приведён обзор существующих методов формализованного описания технологий. Особое внимание уделено вопросам представления технологических знаний на основе онтологического моделирования. Рассмотрен ряд приоритетных направлений, в рамках которых в настоящее время ведётся научно-исследовательская работа по онтологическому инжинирингу процессуальных знаний. Отмечается, что применительно к разрешению проблем формализации технологических знаний, преимущественным видится использование функционала многоуровневых онтологических систем, систем автоматизированного проектирования и онтологических систем с активной семантикой. В то же время существенным недостатком подобного рода систем является слабая проработанность формальных механизмов прикладного уровня описания технологий, в части формирования ДСТ. Данное обстоятельство выражается в отсутствии факта рассмотрения элемента деятельности в качестве целостного концептуального образования и в замещении аксиоматики исходных онтологических моделей возможностями современных графических нотаций, встроенных в соответствующие программные продукты. По результатам представленного обзора сделан вывод о необходимости разработки метода формализованного описания технологий на основе системно-онтологического подхода с целью создания новых средств проведения анализа технологий. В данной работе рассматриваются технологии, которые зафиксированы в виде стандартизированных текстовых описаний, не содержащих языковых противоречий и смысловых пропусков. В этих описаниях учтён фактор совместимости материальных компонентов, участвующих в определении концептов технологических действий. Наиболее широкое распространение в материальном производстве получили те области, для которых свойственно выполнение ряда особенностей, как в части специфики описания, так и в части условий реализации конкретных технологий. Сделано заключение, что подобного рода допущениям в полной мере отвечают многочисленные технологии. Среди них технологии швейного производства, значительная часть технологий строительства и технологий машиностроения, некоторые из которых и рассматриваются в данной работе.

Во второй главе представлены модель концепта технологического действия, модель формализованного описания технологий, алгоритмы построения формализованного описания технологий и показатели качества формализованного описания и анализа технологий.

Модель концепта технологического действия, которая является базовым представлением каждого из технологических действий, располагающихся в узлах ДСТ, представляется кортежем:

$$TD_u = \langle TP_u, Y_u, X_u \mid W_u, H_u, Z_u \rangle, \quad (1)$$

где TD_u – концепт технологического действия, TP_u – ядро концепта, Y_u – множество результирующих компонентов, X_u – множество исходных компонентов, W_u – множество инвариантных компонентов, H_u – множество затратных характеристик, Z_u – множество собственных характеристик.

При проектировании ДСТ происходит определение следующих первоначальных степеней содержательной сформированности концептов:

Определение 1. Концепт является полностью сформированным, если $\forall TD_u (TP_u \neq \emptyset, Y_u \neq \emptyset, X_u \neq \emptyset, W_u \neq \emptyset, H_u \neq \emptyset, Z_u \neq \emptyset \vee Z_u = \emptyset)$;

Определение 2. Концепт является предварительно сформированным, если $\forall TD_u' (TP_u' \neq \emptyset, Y_u' \neq \emptyset, X_u' = \emptyset, W_u' = \emptyset, H_u' = \emptyset, Z_u' = \emptyset)$.

Обозначение u представляет собой количество позиций в индексе каждого из технологических действий, располагающихся в узлах ДСТ. Индекс является упорядоченной, вполне определённой, последовательностью натуральных чисел, порядок формирования которой заключается в том, что множество значений каждой последующей позиции ставится в соответствие конкретному элементу множества значений предыдущей позиции. Таким образом, формализуется однозначная идентификация месторасположения концептов технологических действий в узлах ДСТ. Например, для определённого концепта λ -ого уровня ДСТ в качестве индекса u выступает последовательность натуральных чисел $(\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m)$. В том случае, если данный концепт является предварительно сформированным, то его можно детализировать до представления в виде совокупности иных концептов, индекс каждого из которых пополнится дополнительной позицией. Подобное образование представляет собой, так называемую, унифицированную декомпозиционную конструкцию (УДК), в вершине которой находится единственный целостный концепт, а в основании – совокупность частных концептов. На рисунке 1 приведён пример одного из возможных вариантов графического вида УДК.

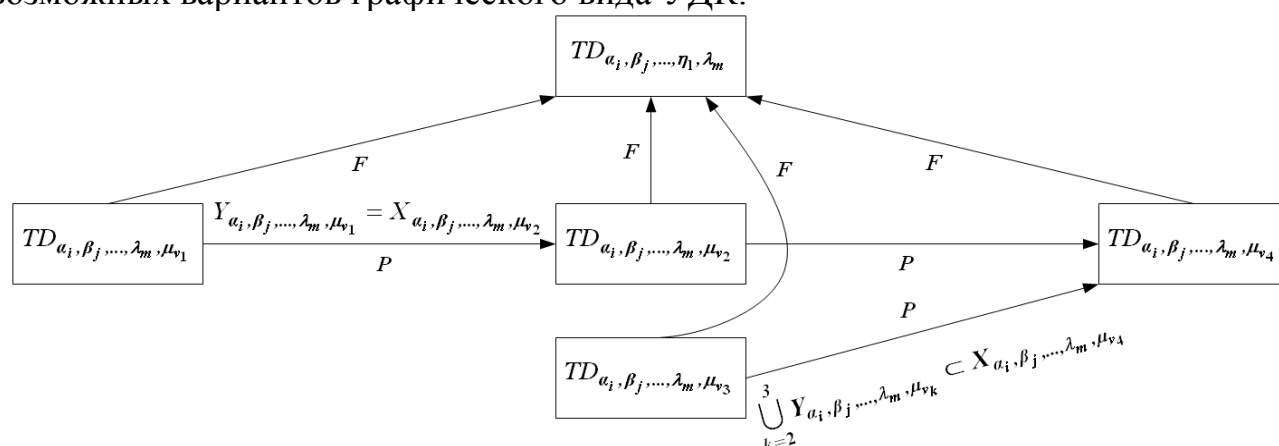


Рисунок 1. Пример УДК

Для описания взаимосвязей между полностью сформированными частными концептами одного уровня декомпозиции вводится отношение «непосредственного предшествования» P .

Определение 3. Полностью сформированные концепты находятся в отношении непосредственного предшествования, если $\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$

$$(TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} P TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) : (Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}).$$

При проектировании ДСТ, каждый из уровней декомпозиции будет располагать, так называемыми, «начальными» и «конечными», а некоторые из них также и «дополняющими» полностью сформированными концептами.

Определение 4. Полностью сформированный концепт определённого уровня декомпозиции является начальным, если $\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \exists TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} \bar{\exists} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \wedge (Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}))$.

Определение 5. Полностью сформированный концепт определённого уровня декомпозиции является конечным, если $\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \exists TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \bar{\exists} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \wedge (Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}))$.

Определение 6. Полностью сформированный концепт является дополняющим к другому полностью сформированному концепту, относящиеся к одному и тому же уровню декомпозиции, если $\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_t} \exists TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} \exists TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \exists TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \bar{\exists} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_u} ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_t} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \wedge (Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} \setminus X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^*)) \wedge (Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}) \wedge (Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_u} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_t}))$.

Для описания взаимосвязей между каждым из полностью сформированных частных концептов и уже полностью сформированным целостным концептом вводится отношение «часть-целое» F .

Определение 7. Полностью сформированные концепты находятся в отношении «часть-целое», если $\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} (TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} F TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) :$

$$(Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \wedge (((W_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} = \bigcup_{k=1}^n w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^k) \subseteq (W_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} = \bigcup_{k=1}^n w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^k)) | \left| \exists w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} \exists w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^{k_a}, (w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} \subseteq w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^{k_a}) \wedge ((X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \vee \vee ((X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \setminus X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^*) \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \vee (\neg (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}))) \right|).$$

Упорядоченная совокупность подобного рода УДК образует ДСТ. Тогда модель формализованного описания технологий определяется кортежем:

$$Ont_{Tech} = \langle TD, P, F \rangle, \quad (2)$$

где $TD = \bigcup_u TD_u$ – множество концептов технологических действий, P – внутриуровневое отношение непосредственного предшествования, F – межуровневое отношение «часть-целое».

Предложенная модель вида (2) позволяет производить теоретико-множественный анализ рассматриваемых описаний технологий посредством следующего набора аксиоматических свойств:

1. Множество результирующих компонентов полностью сформированного концепта является уникальным:

$$\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} (Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \cap Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} = \emptyset).$$

2. Множества исходных и результирующих компонентов полностью сформированного концепта не имеют общих элементов:

$$\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \cap Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} = \emptyset).$$

3. О признаке декомпозиции ядра предварительно сформированного целостного концепта:

$$\begin{aligned} & \exists TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \exists \bigcup_{\mu} TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} ((Y'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} = \bigcup_{\mu} Y'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} \mid \mu = \overline{1, n}, n \geq 2) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (TP'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} = \bigcup_{\mu} TP'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} \mid \mu = \overline{1, n}, n \geq 2)). \end{aligned}$$

4. Об определении дополнения до множества исходных компонентов полностью сформированного концепта:

$$\begin{aligned} & \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subset X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (\bar{\exists} \bigcup_{k=1}^n TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}} \vee \exists \bigcup_{k=1}^n TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}}, \bigcup_{k=1}^n Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}} \subseteq (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} \setminus X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^*))). \end{aligned}$$

5. Множество результирующих компонентов полностью сформированного концепта не может являться подмножеством сразу нескольких множеств исходных компонентов иных полностью сформированных концептов:

$$\begin{aligned} & \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \exists TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} \bar{\exists} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \\ & ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \wedge (Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q})). \end{aligned}$$

6. Об определении полностью сформированного целостного концепта на основе агрегированного множества исходных компонентов:

$$\begin{aligned} & \exists TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \exists \bigcup_{\mu} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} ((\bigcup_{\mu} X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} = X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}) \mid \\ & \mid (\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} (\bar{\exists} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} := X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \cup X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}))) \vee \exists TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \\ & (((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \subset X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}) \Rightarrow (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} := X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \cup \\ & \cup (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \setminus X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^*)))) \vee ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} = X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} := X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \cup \emptyset)))) \Rightarrow (TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \rightarrow TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m})^X). \end{aligned}$$

7. Об определении полностью сформированного целостного концепта на основе агрегированного множества инвариантных компонентов:

$$\begin{aligned} & \exists TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \exists \bigcup_{\mu} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} ((\bigcup_{\mu} W_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} = W_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}) \mid \\ & \mid (\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \exists w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} ((w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} = w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}^{k_a}) \Rightarrow (w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} := w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}^{k_a} \cup \emptyset))) \vee \\ & \vee ((w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} \cap w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}^{k_a} \neq \emptyset) \Rightarrow (w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} := w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}^{k_a} \cup (w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} \setminus w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}^{k_a})))) \vee \\ & \vee ((w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} \cap w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}^{k_a} = \emptyset) \Rightarrow (w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} := w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}^{k_a} \cup w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a})))) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \rightarrow TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m})^W). \end{aligned}$$

8. Об определении полностью сформированного целостного концепта на основе аддитивности множества затратных характеристик:

$$\begin{aligned} & \exists TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \exists \bigcup_{\mu} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} ((\bigcup_{\mu} H_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} = H_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \mid \forall z \in [1, k], \\ & \left(\sum_{\mu=1}^n \{h_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu}^z\} = \{h_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}^z\} \right) \Rightarrow (TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \rightarrow TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m})^H). \end{aligned}$$

Собственно процесс построения формализованного описания технологий заключается в реализации положений сформулированных и доказанных в работе теоретических утверждений, приводящих к возможности формирования ДСТ посредством поэтапного комбинированного проектирования УДК, начиная с корневых представлений технологий.

Реализация основных этапов построения УДК происходит в соответствии с выполнением следующих алгоритмических процедур (пунктир на рисунке 2):

1. **Алгоритм автоматизированного построения декомпозиции предварительно сформированного концепта** (этап нисходящего проектирования);

2. **Алгоритм автоматического определения взаимосвязей между полностью сформированными частными концептами** (этап внутриуровневого проектирования);

3. **Алгоритм автоматического определения полной сформированности целостного концепта** (этап восходящего проектирования).

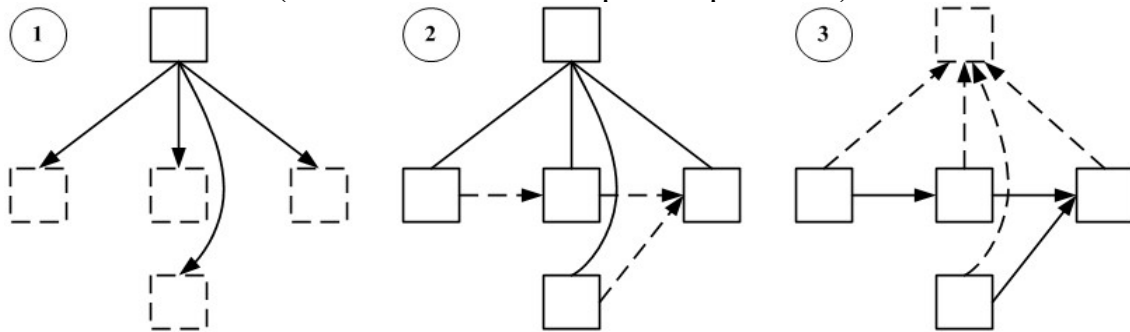


Рисунок 2. Поэтапные алгоритмические процедуры построения УДК

Этап нисходящего проектирования связан с переходом от предварительно сформированного целостного концепта к его представлению в виде совокупности частных концептов различной первоначальной степени содержательной сформированности. Методологической основой этого этапа является положение аксиоматического свойства 3.

За установление отношения непосредственного предшествования среди полученных полностью сформированных частных концептов отвечает **этап внутриуровневого проектирования**. Методологически данный этап обеспечен положениями теоретических утверждений 1-3.

Утверждение 1. Если множество $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ является равным множеству $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$ полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$, то полностью сформированный концепт $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ является единственным непосредственно предшествующим концептом для полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$:

$$\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} = X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \Rightarrow \\ \Rightarrow (\exists! TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}, (TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} P TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s})))$$

Доказательство. По определению 3 следует, что полностью сформированный концепт $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ находится в отношении P с полностью сформированным концептом $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$.

Единственность доказывается методом от противного. Предположим, что существует некоторый полностью сформированный концепт $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q}$, который также находится в отношении P с полностью сформированным концептом $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$. Однако в результате сопоставления определения 3 для полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q}$ с первой частью доказательства настоящего утверждения возникает противоречие с положением аксиоматического свойства 1. Следовательно, сделанное предположение неверно и полностью сформированный концепт $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ является единственным непосредственно предшествующим концептом для полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$.

Утверждение 2. Если множество $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ является собственным подмножеством множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$ полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$ и при этом не существует совокупности таких полностью сформированных концептов $\bigcup_{k=1}^n TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}}$, что

совокупность множеств $\bigcup_{k=1}^n Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}}$ является подмножеством дополнения $\setminus X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^*$ множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$ полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$, то полностью сформированный концепт $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ является единственным непосредственно предшествующим концептом для полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$:

$$\begin{aligned} & \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \quad \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} \quad (((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subset X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \wedge \\ & \wedge (\bar{\exists} \bigcup_{k=1}^n TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}}, (\bigcup_{k=1}^n Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}} \subseteq (X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} \setminus X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^*)))))) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (\exists! TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}, (TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} P TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}))) \end{aligned}$$

Доказательство. По определению 3 следует, что полностью сформированный концепт $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ находится в отношении P с полностью сформированным концептом $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$.

Доказательство единственности строится путём соотнесения положения аксиоматического свойства 4 и условной части настоящего утверждения для полностью сформированных концептов $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ и $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$. В результате анализа получается, что подмножеством множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$ является исключительно множество $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$, которое по аксиоматическому свойству 1 является уникальным. Таким образом, полностью сформированный концепт $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ является единственным непосредственно предшествующим концептом для полностью сформированного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$.

Ситуация, когда всё же подобная совокупность полностью сформированных концептов $\bigcup_{k=1}^n TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}}$ существует, об отсутствии которой говорится в

положении утверждения 2, рассматривается в **утверждении 3**. В таком случае, следственная часть положения утверждения 3 содержит вывод о множественности непосредственного предшествования полностью сформированному концепту $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$. Настоящее утверждение доказывается по аналогичной схеме приведённому доказательству утверждения 2.

Завершающей стадией построения УДК является этап **восходящего проектирования**, который заключается в конечном итоге в установлении отношения «часть-целое» между каждым из полностью сформированных частных концептов и уже полностью сформированным целостным концептом. Реализация соответствующего алгоритма методологически определяется положением утверждения 6.

Утверждение 6. Если все концепты $\bigcup_{\mu} UTD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu}$ являются полностью сформированными, и для любого концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ не существует такого концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q}$, что множество $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q}$ концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q}$ не является подмножеством множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$, и при этом также не существует такого концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$, что множество $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$ концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$ не является подмножеством множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$ концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$, то каждый из концептов $\bigcup_{\mu} UTD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu}$ является частным концептом для полностью сформированного целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m}$:

$$\begin{aligned} & \exists TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m} \exists \bigcup_{\mu} UTD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} ((\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \bar{\exists} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \bar{\exists} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} \\ & ((\neg(Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_q} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r})) \wedge (\neg(Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subseteq X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s})))) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (\forall \bigcup_{\mu} UTD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} F TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m}) \end{aligned}$$

Доказательство. Возможных случаев при доказательстве настоящего утверждения достаточное количество, что связано с общим числом и взаимным расположением полностью сформированных концептов $\bigcup_{k=1}^n UTD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}}$. В этой связи доказательство будет проводиться на примере рисунка 1, когда $n = 4$.

Определение полной сформированности целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m}$ происходит на основе условной части настоящего утверждения и положений аксиоматических свойств 6-8, при этом возникает ряд особенностей. Они связаны с применением положения аксиоматического свойства 6, согласно которому получается, что: а) множество $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m}$ целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m}$ пополняется множеством $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_1}}$ полностью сформированного частного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_1}}$, который по определению 4 является начальным; б) так как полностью сформированный частный концепт $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_1}}$ является единственным непосредственно предшествующим концептом для полностью сформированного частного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_2}}$, причём $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_1}} = X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_2}}$, то множество $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m}$ от множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_2}}$ ничем не пополняется; в) множество $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m}$ целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_1, \lambda_m}$ пополняется

множеством $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_3}}$ полностью сформированного частного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_3}}$, который по определению 6 является дополняющим; г) так как объединение множеств $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_2}}$ и $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_3}}$ является собственным подмножеством множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_4}}$, то множество $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m}$ целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m}$ пополняется дополнением $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_4}}$ множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_4}}$ полностью сформированного частного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_4}}$. Таким образом, по

определению 7 каждый из полностью сформированных концептов $\bigcup_{k=1}^4 TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_k}}$ находится в отношении «часть-целое» с уже полностью сформированным концептом $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m}$, при этом для полностью сформированного целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m}$ соблюдены также требования аксиоматического свойства 2.

При иных количествах и взаимных расположениях полностью сформированных концептов $\bigcup_{\mu} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu}$, доказательство настоящего утверждения будет строиться по аналогичной схеме.

По результатам рассмотрения особенностей предложенных моделей и построенных алгоритмов сделан вывод о том, что в итоге разработан метод формализованного описания технологий, отличающийся от существующих методов наличием возможности формирования ДСТ на основе поэтапного комбинированного проектирования УДК, с целью структуризации представления знаний о технологиях с различной степенью детализации.

Для оценки качества формализованного описания технологий вводится два показателя (при их рассмотрении речь идёт только о полностью сформированных концептах):

$$\bullet K_{полн} = \frac{k_{TD_{формализ}}}{k_{TD_{текст}}}, \quad (3)$$

где $K_{полн}$ – коэффициент содержательной полноты концептов, $k_{TD_{формализ}}$ и $k_{TD_{текст}}$ – количества концептов формализованного и текстового описаний технологии соответственно;

$$\bullet K_{связ} = \frac{k_{P_{формализ}} + k_{F_{формализ}}}{k_{P_{текст}} + k_{F_{текст}}}, \quad (4)$$

где $K_{связ}$ – коэффициент явной связности концептов, $k_{P_{формализ}}$ и $k_{F_{формализ}}$ – количества внутриуровневых и межуровневых связей между концептами формализованного описания технологии соответственно, $k_{P_{текст}}$ и $k_{F_{текст}}$ – количества внутриуровневых и межуровневых связей между концептами текстового описания технологии соответственно.

Предложенный метод формализованного описания технологий позволяет поставить и решить ряд вопросов анализа рассматриваемых технологий, связанных с определением следующего перечня показателей (при их рассмотрении речь идёт только о полностью сформированных концептах):

$$\bullet K_{неразветвл} = \frac{k_{d_{формализ}^*}}{k_{d_{формализ}}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{неразветвл.}}$ – коэффициент неразветвлённости технологии, $k_{d_{\text{формализ}}^*}$ и $k_{d_{\text{формализ}}}$ – количества концептов, участвующих в образовании основного маршрута реализации технологии, и всех концептов ДСТ соответственно;

$$\bullet K_{\text{концентрир}} = \frac{k_{s_{\text{формализ}}^*}}{k_{s_{\text{формализ}}}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{концентрир}}$ – коэффициент концентрированности технологии, $k_{s_{\text{формализ}}^*}$ и $k_{s_{\text{формализ}}}$ – количества концептов, составляющих уровень декомпозиции наиболее массивной УДК, и всех концептов ДСТ соответственно;

$$\bullet K_{\text{сгруппир}} = \frac{k_{t_{\text{формализ}}^*}}{k_{t_{\text{формализ}}}}, \quad (7)$$

где $K_{\text{сгруппир}}$ – коэффициент сгруппированности технологии, $k_{t_{\text{формализ}}^*}$ и $k_{t_{\text{формализ}}}$ – количества концептов, располагающихся в вершинах УДК, и всех концептов ДСТ соответственно;

$$\bullet K_{\text{механизир}} = \frac{k_{TD_{\text{формализ}}^W}}{k_{TD_{\text{формализ}}}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{механизир}}$ – коэффициент механизированности технологии, $k_{TD_{\text{формализ}}^W}$ и $k_{TD_{\text{формализ}}}$ – количества концептов, при реализации которых используется оборудование, и всех концептов ДСТ соответственно;

$$\bullet K_{\text{стор.включ.}} = \frac{k_{TD_{\text{формализ}}^X}}{k_{TD_{\text{формализ}}}}, \quad (9)$$

где $K_{\text{стор.включ.}}$ – коэффициент сторонних включений технологии, $k_{TD_{\text{формализ}}^X}$ и $k_{TD_{\text{формализ}}}$ – количества концептов, для реализации которых необходимо привнесение сторонних компонентов извне, и всех концептов ДСТ соответственно.

В третьей главе описана разработка программного средства OntoTechnology, реализующего построение формализованного описания технологий в соответствии с положениями разработанного метода.

Разработанное программное средство реализовано на основе методологии объектно-ориентированного проектирования на языке Java, для хранения информации об онтологических представлениях технологий использована база данных в формате PostgreSQL. Основные компоненты программного средства и их информационные связи представлены на схеме потоков данных (рисунок 3).



Рисунок 3. Схема потоков данных

Данное программное средство обеспечивает выполнение следующих основных операций с онтологическими представлениями технологий:

- Создание нового проекта, загрузка ранее сохранённого проекта, удаление проекта, содержащего формализованное описание технологии;
- Добавление, редактирование, удаление концептов технологических действий, располагающихся в узлах ДСТ;
- Определение первоначальной степени содержательной сформированности каждого из концептов технологических действий;
- Управление количеством частных концептов в рамках УДК на основе сформированных признаков декомпозиции;
- Автоматическое установление взаимосвязей между полностью сформированными частными концептами в рамках УДК;
- Автоматическое определение полной сформированности целостного концепта в рамках УДК;
- Отображение результатов проектирования при помощи библиотеки визуализации графов JGraphX;
- Импорт и экспорт проектов в формате языка разметки XML.

В четвёртой главе проведено экспериментальное исследование разработанного метода с использованием возможностей OntoTechnology и представлен расчёт показателей качества формализованного описания технологий, а также анализа технологий на конкретных примерах: технологий изготовления мужского пиджака, мужского пальто и мужских брюк, а также технологий строительства кирпичного жилого дома и механической обработка детали типа «Винт».

Посредством поэтапного комбинированного проектирования УДК, используя возможности OntoTechnology, построено онтологическое представление каждой из этих технологий. Результаты экспериментов подтверждают, что программное средство успешно реализует построение формализованного описания технологий.

Согласно аналитическим описаниям всех обозначенных показателей, которые представлены во 2 главе, произведён их расчёт. Определение показателей содержательной полноты и явной связности концептов позволяет оценить качество формализованного описания рассматриваемых технологий в количественном выражении. Для первого случая расчётные значения свидетельствуют о получаемом преимуществе в 6-17%, а для второго – более чем в 2 раза. По результатам иных расчётов представлена сводная таблица значений показателей (таблица 1), посредством которых в диссертационной работе проведен уже анализ выбранных технологий.

Таблица 1 – Расчётные значения показателей анализа технологий

| Наименование технологии | Расчётный показатель | $K_{\text{неразветвл}}$ | $K_{\text{концентрир}}$ | $K_{\text{сгруппир}}$ | $K_{\text{механизир}}$ | $K_{\text{стор. включ.}}$ |
|---|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|
| Изготовление мужского пиджака | | 0,51 | 0,255 | 0,088 | 0,725 | 0,284 |
| Изготовление мужского пальто | | 0,624 | 0,442 | 0,06 | 0,655 | 0,294 |
| Изготовление мужских брюк | | 0,636 | 0,333 | 0,098 | 0,727 | 0,311 |
| Строительство кирпичного жилого дома | | 1 | 0,183 | 0,113 | 0,38 | 0,915 |
| Механическая обработка детали типа «Винт» | | 1 | 0,439 | 0,146 | 1 | 0,171 |

Сделаны выводы, что формализованное описание технологий в полной мере отвечает выдвинутым критериям качества в виде содержательной полноты и явной связности концептов, по сравнению с их альтернативными текстовыми описаниями, а также то, что разработанные модели и алгоритмы способствуют эффективному проведению анализа технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена задача построения формализованного описания технологий, обеспечивающего реализацию конструктивного процесса по формированию онтологических представлений технологий, что позволило получить инструментарий для проведения анализа технологий. В ходе исследования получены следующие основные результаты:

1. Модель концепта технологического действия, которая идентифицирует технологические действия в качестве целостных концептуальных образований;
2. Модель формализованного описания технологий, которая обеспечивает однозначность перехода от вербальных описаний технологий к их онтологическим представлениям;
3. Алгоритмы построения формализованного описания технологий, которые реализуют логические процедуры автоматизированного и автоматического конструирования онтологических представлений технологий;
4. Показатели качества формализованного описания и анализа технологий с результатами соответствующих расчётов, которые отражают в количественном выражении их особенности.

Разработанные модели и алгоритмы формализованного описания технологий, и иллюстрирующее их работоспособность программное средство могут послужить основой для создания инструментов компьютерного оперирования технологическими знаниями с целью повышения эффективности решения широкого круга прикладных задач: построения специализированных хранилищ описания технологий, осуществления подбора наиболее подходящих технологий, проведения анализа экспертных исследований технологий, разработки учебно-методических и тренажерных комплексов, а также стать основой для поддержки процессов синтеза технологий.

Полученные результаты соответствуют п. 3 «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», п. 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», п. 8 «Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем» паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, включённых в перечень ВАК РФ:

1. Андреев, Д. А. Системно-онтологический подход к машинному описанию компонентной среды технологических процессов [Текст] / Д. А. Андреев, И. В. Антонов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2012. – № 9. – С. 29–34.

2. Андреев, Д. А. Метод построения онтологии технологических действий [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Вестник СГТУ. – 2012. – № 3 (67). – С. 160–168.

3. Андреев, Д. А. Моделирование темпоральных отношений в онтологиях технологических действий [Текст] / Д. А. Андреев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 3 (299). – С. 40–49.

Публикации в других изданиях:

4. Андреев, Д. А. Разработка средств формализованного представления знаний [Текст] / Д. А. Андреев, И. В. Антонов, М. В. Воронов // Реализ. интелл. и технол. потенц. универс. и прикл. науки в постр. экон., основ. на знаниях: Мат. конф. XII межд. форума «Выс. технол. XXI века». – Москва, 2011. – С. 123–126.

5. Андреев, Д. А. Информационный аспект формализованного описания технологических процессов [Текст] / Д. А. Андреев // Труды ППИ. Сер., Машиностроение. Электротехника. – 2011. – № 14.3. – С. 327–330.

6. Андреев, Д. А. Метод построения онтологий процессов описания технологий [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Матем. методы в технике и технол.: Сб. тр. XXIV межд. научн. конф. – Пенза, 2011. – Т. 9. – С. 57–59.

7. Андреев, Д. А. К вопросу о формализации технологических знаний [Текст] / Д. А. Андреев // Матем. модел. в образ., науке и произв.: Тез. VII межд. конф. – Тирасполь, 2011. – С. 130–131.

8. Андреев, Д. А. Метод формализованного описания технологий [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Вестник СПГУТД. Сер. 1, Естественные и технические науки. – 2011. – № 2. – С. 47–51.

9. Андреев, Д. А. Унифицированный подход к представлению структурных компонентов технологических знаний [Текст] / Д. А. Андреев // Инф. и коммун. технол. в образ., науке и произв.: Сб. тр. V межд. научно-практ. конф. – Протвино, 2011. – Ч. 1. – С. 176–178.

10. Андреев, Д. А. Модель формализованного описания технологических процессов [Текст] / Д. А. Андреев // Матем. методы в технике и технол.: Сб. тр. XXIV межд. научн. конф. – Пенза, 2011. – Т. 9. – С. 59–61.

11. Андреев, Д. А. Декомпозиционное представление знаний как основа онтологического инжиниринга технологических процессов [Текст] / Д. А. Андреев // Компьютерные науки и технол.: Сб. тр. втор. межд. научно-техн. конф. – Белгород, 2011. – С. 140–144.

12. Андреев, Д. А. О проблеме сохранения технологических знаний [Текст] / Д. А. Андреев, И. В. Антонов, М. В. Воронов // Инж. образ. в России и госуд. – уч. СНГ: Проблемы и перспективы развития: Сб. докл. уч. XVII акад. чт. МАН ВШ. – Звенигород, 2011. – С. 32–39.

13. Андреев, Д. А. Модель онтологического представления технологии [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов, Г. И. Письменский // Интернет и современное общество: Сб. тез. докл. XIV всеросс. объедин. конф. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 62–65.

14. Андреев, Д. А. Способы формализованного описания технологий: попытка обзора [Текст] / Д. А. Андреев // Труды ППИ. Сер., Машиностроение. Электротехника. – 2011. – № 15.3. – С. 291–297.

15. Андреев, Д. А. Принципы построения систем формализованного представления знаний о технологических процессах [Текст] / Д. А. Андреев // Выс. интелл. технол. и иннов. в нац. исслед. универс.: Мат. XIX межд. научно-метод. конф. – Санкт-Петербург, 2012. – Т. 1. – С. 136–138.

16. Андреев, Д. А. Моделирование социально-экономических технологий [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Совр. пробл. модел. соц.-экон. систем: Мат. IV межд. научно-практ. конф. – Харьков, 2012. – С. 294–295.

17. Андреев, Д. А. Метод онтологического моделирования предметных областей технологических знаний [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Матем. методы в технике и технол.: Сб. тр. XXV межд. научн. конф. – Волгоград, 2012. – Т. 5. – С. 35–36.

18. Андреев, Д. А. Процедурный механизм конструирования онтологических представлений декомпозиционных структур технологий [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Интернет и современное общество: Сб. тез. докл. XV всеросс. объедин. конф. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 37–40.

19. Андреев, Д. А. Методологические аспекты онтологического представления технологических знаний [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // КИИ-2012: Тр. тринадц. нац. конф. по искус. интелл. с межд. уч. – Белгород, 2012. – Т. 4. – С. 141–148.

20. Андреев, Д. А. Модель однозначной интерпретации концепта в структурированных представлениях технологий [Текст] / Д. А. Андреев // Матем. методы в технике и технол.: Сб. тр. XXV межд. научн. конф. – Волгоград, 2012. – Т. 8. – С. 205–207.

21. Андреев, Д. А. Проблемы формализации технологических знаний [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Нейрокомпьютеры и их применение: Тез. докл. XI всеросс. научн. конф. – Москва, 2013. – С. 31–32.

22. Андреев, Д. А. Модель унифицированных конструкций описания технологий в их онтологических представлениях [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Матем. методы в технике и технол.: Сб. тр. XXVI межд. научн. конф. – Нижний Новгород, 2013. – Т. 8. – С. 138–140.

23. Андреев, Д. А. Алгоритм построения декомпозиционной структуры технологии прикладной области знаний [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Матем. модел. в образ., науке и произв.: Тез. VIII межд. конф. – Тирасполь, 2013. – С. 6–8.

24. Андреев, Д. А. Особенности онтологического инжиниринга технологических знаний [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Интернет и современное общество: Сб. тез. докл. XVI всерос. объедин. конф. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 73–75.

25. Андреев, Д. А. Модель концептов действий в онтологических представлениях технологий [Текст] / Д. А. Андреев // Матем. методы в технике и технол.: Сб. тр. XXVII межд. научн. конф. – Тамбов, 2014. – Т. 3. – С. 85–87.

26. Андреев, Д. А. О специфике онтологического представления технологий материального производства [Текст] / Д. А. Андреев, М. В. Воронов // Матем. модел. в образ., науке и произв.: Тез. IX межд. конф. – Тирасполь, 2015. – С. 5–6.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013660420 Российская Федерация. Программа автоматизированного построения формализованного описания технологии прикладной области знаний OntoTechnology [Текст] / Д. А. Андреев; заяв. и правообл. Д. А. Андреев. – № 2013618288; заявл. 16.09.13; опубл. 05.11.13, Бюл. № 4. – 1 с.

Подписано в печать . Заказ № .
Формат 60x90/16. Усл. п. л. 1,0. Тираж 100 экз.
Издательство Псковского государственного университета