

На правах рукописи

Андреев Дмитрий Анатольевич

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
В ФОРМАЛИЗОВАННОМ ВИДЕ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Псков – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Псковский государственный университет», Псков.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Воронов Михаил Владимирович

Официальные оппоненты: – Смирнов Юрий Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
ОАО «Холдинговая компания «Ленинец»,
заместитель начальника научно-
технического управления,
советник президента ХК «Ленинец»

Ходаковский Валентин Аветикович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»,
заведующий кафедрой «Математика и
моделирование»

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный университет технологии
и дизайна»

Защита состоится « » декабря 2014 г. в 14.00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.010.03 на базе Балтийского государственного
технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова по адресу: 190005,
Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Балтийского
государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Автореферат разослан « 2 » октября 2014 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Ю. В. Петров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современном мире знания о технологиях с полной уверенностью можно отнести к ценнейшей информации, поскольку наряду с битвами за материальные блага усиленными темпами ведётся ожесточённая борьба за обладание информационными ресурсами, среди которых информация о технологиях занимает одну из передовых позиций. При этом оперирование информацией, всё в большей мере, производится с помощью средств ИКТ. Фиксация же информации о технологиях может происходить посредством различных способов их описания, которые являются достаточно разнородными с позиций аспектов формализации, причём возможность машинной обработки технологических знаний определяется средствами, методами, инструментальным аппаратом формализации этих знаний.

Стоит отметить, что эффективность от использования существующих способов описания технологий, даже при использовании современных ЭВМ, постепенно снижается по мере постоянно расширяющегося объёма технологических знаний. Такое положение вещей является сдерживающим фактором построения формализованных описаний технологий, способных в полной мере отобразить логику отношений между потенциальными элементами деятельности, при обусловленности этих отношений всеми компонентами материальной природы, участвующими в технологических процессах.

Исследования в области формализации технологических знаний проводились многими 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. Егوشيной, 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 ставятся и решаются задачи, связанные с разработкой математического инструментария и программного средства, предназначенных для проведения формализованного описания заданных в вербальной форме технологий, методологические принципы построения которого позволяют осуществлять манипулирование технологическими знаниями в автоматизированном режиме.

Целью диссертационной работы является совершенствование методов автоматизированного построения формализованных описаний технологий.

Поставленная цель требует решения следующего перечня задач:

1. Исследовать и классифицировать существующие способы и методы формализованного описания технологий;
2. Построить модель формализованного описания технологии;
3. Разработать метод автоматизированного построения формализованного описания технологии;
4. Построить алгоритмы, реализующие разработанный метод автоматизированного построения формализованного описания технологии;
5. Разработать программное средство, позволяющее автоматизировать процедуры построения формализованного описания технологии.

Объектом исследования является технология, представляющая собой объём знаний о том, каким образом преобразовать конкретно данное (исходное) в требуемое (результатирующее).

Предметом исследования являются способы формализованного описания технологий.

Методы исследования. При проведении диссертационного исследования использовались принципы и методы системного анализа, теория множеств, теория графов, математическая логика, технология объектно-ориентированного анализа и проектирования.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Модель формализованного описания технологии, обеспечивающая однозначность перехода от вербальных (и иных) описаний технологий к их онтологическим представлениям;

2. Метод автоматизированного построения формализованного описания технологии, позволяющий строить конструктивные алгоритмы обработки сведений о технологиях;

3. Программное средство автоматизированного построения формализованного описания технологии *OntoTechnology*, реализующее процедуры прикладного использования по автоматизированной обработке обширных объёмов информации о технологиях.

Научная новизна:

1. Построенная модель формализованного описания технологии на базе аппарата онтологического инжиниринга знаний, посредством конструктивных особенностей модели концептуальной единицы, позволяет сформировать декомпозиционную структуру технологии с целью получения аналитического инструментария по онтологическому представлению технологии;

2. Разработанный метод автоматизированного построения формализованного описания технологии обеспечивает формирование ее декомпозиционной структуры на основе поэтапного комбинированного проектирования унифицированных декомпозиционных конструкций с целью представления знаний о технологии с различной степенью детализации;

3. Разработанное программное средство *OntoTechnology* реализует автоматизацию алгоритмических процедур и визуализацию их результатов по построению формализованного описания технологии с целью получения совокупных знаний о корневом представлении декомпозиционной структуры технологии на основе принципа поуровневого агрегирования знаний.

Практическая ценность работы. В результате проделанной работы создано специальное программное средство, позволяющие автоматизировать процедуры построения формализованных описаний технологий. Предложенное решение обеспечивает совершенствование этапа конструкторско-технологической подготовки производства, поскольку определяющим фактором успешной машинной обработки технической документации на производственном предприятии является степень её формализованности.

Построенные алгоритмы и разработанное программное средство могут послужить основой для проектирования эффективных программных средств

машинного оперирования технологическими знаниями в целях решения широкого круга задач: построения хранилищ описания технологий, осуществления подбора наиболее подходящих технологий, проведения экспертных исследований технологий, разработки учебно-методических и тренажерных комплексов, а также стать основой для поддержки процессов синтеза новых технологий.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Информационные системы и технологии» Псковского государственного университета при проведении теоретических 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 автоматизированного построения формализованных описаний технологий по пошиву специальной одежды высокого класса, детской одежды, верхней одежды для мужчин и женщин.

Апробация работы. Результаты работы были представлены для обсуждения на II международной научно-технической конференции «Компьютерные науки и технологии» в 2011 году, на V международной научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве» в 2011 году, 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 году, на XVII академических чтениях МАН ВШ «Инженерное образование в России и государствах – участников СНГ: Проблемы и перспективы развития» в 2011 году, на XIV-XVI Всероссийской объединённой конференции «Интернет и современное общество» в 2011-2013 годах, на XXIV-XXVI международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» в 2011-2013 годах, на VII и VIII международной конференции «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве» в 2011 и 2013 годах, на международной научно-методической конференции «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах» в 2012 году, на IV международной научно-практической конференции «Современные проблемы моделирования социально-экономических систем» в 2012 году, на XIII национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием в 2012 году, на XI всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» в 2013 году.

Личный вклад автора. Научные результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем либо самостоятельно, либо при непосредственном участии.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 25 научных работах, среди которых 8 статей (3 статьи опубликованы в журналах, входящих в число ведущих рецензируемых

научных изданий из перечня ВАК Минобрнауки РФ), 16 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, 3 глав, заключения, библиографического списка, включающего в себя 125 наименований, и 4 приложений. Основной текст работы изложен на 140 страницах, содержит 44 рисунка и 15 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы; формулируются цель диссертационной работы и содержание поставленных задач, а также объект и предмет исследования; определяется теоретическая значимость и прикладная ценность полученных результатов.

В первой главе проанализировано современное состояние дел в области формализации технологических знаний, приведён обзор существующих способов формализованного описания технологий. Особое внимание уделено вопросам представления технологических знаний на основе аппарата онтологического моделирования. В результате проведённого анализа сделан вывод о том, что существующие подходы в полной мере не отражают решения поставленных в работе задач исследования.

Далее рассмотрен ряд приоритетных направлений, в рамках которых в настоящее время ведётся научно-исследовательская работа по онтологическому моделированию 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 представления их декомпозиционных структур. Данное обстоятельство выражается в отсутствии факта рассмотрения элемента деятельности в качестве целостной концептуальной единицы (концепта) и в замещении аксиоматики исходных онтологических моделей возможностями современных графических нотаций, используемых в соответствующих программных средствах. По результатам анализа работ по проблемам формализации технологических знаний в первой главе сделан вывод о необходимости разработки методологии представления технологий в формализованном виде, позволяющей устранить недостатки и ограничения существующих методологических решений по построению формализованных описаний технологий на базе аппарата онтологического моделирования.

Во второй главе представлены модель концепта технологического действия и модель формализованного описания технологии на базе аппарата онтологического моделирования, разработаны метод и алгоритмы построения формализованного описания технологии, определяющие формальные

механизмы поэтапного формирования онтологического представления технологии.

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

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

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 декомпозиционной структуры технологии является возможным определять только две степени 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 декомпозиционной структуры. 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. Например, для определённого концепта λ -ого уровня декомпозиционной структуры в качестве индекса u будет выступать последовательность натуральных чисел $(\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m)$. В том случае, если данный концепт будет являться предварительно сформированным, то его можно детализировать до представления в виде совокупности иных концептов, индекс каждого из которых пополнится дополнительной позицией. Подобное образование будет представлять собой, так называемую, унифицированную декомпозиционную конструкцию, в вершине которой будет находиться единственный целостный концепт, а в основании – совокупность частных концептов. На рисунке 1 приведён пример одного из возможных вариантов графического вида унифицированных декомпозиционных конструкций.

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

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

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

При проектировании декомпозиционной структуры технологии, каждый из уровней декомпозиции будет располагать, так называемыми, «начальными»

и «конечными», а некоторые из них также и «дополняющими» полностью сформированными концептами.

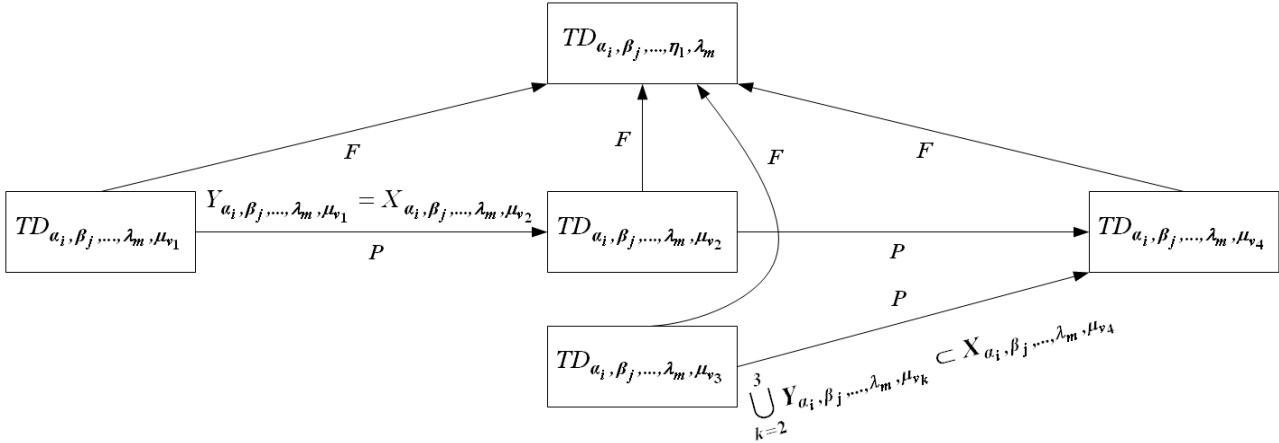


Рисунок 1. – Пример унифицированной декомпозиционной конструкции

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

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

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

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

Определение 7. Полностью сформированные концепты находятся в отношении «часть-целое», если $\forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \forall TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} ((Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subset Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \wedge (((W_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} = \bigcup_{k=1}^n w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^k) \subset (W_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} = \bigcup_{k=1}^n w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^k)) \mid \exists w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} \exists w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^{k_a}, (w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_a} \subset w_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^{k_a})) \wedge (((H_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} = \bigcup_{k=1}^{n^*} h_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^k) \subset (H_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s} = \bigcup_{k=1}^{n^*} h_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^k)) \mid \exists h_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_b} \exists h_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^{k_b}, (h_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^{k_b} \subset h_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}^{k_b})) \wedge ((X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subset X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}) \vee ((X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \setminus X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}^*) \subset X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s})) \vee (\neg(X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} \subset X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}))) \Rightarrow (TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r} F TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}))$.

Упорядоченная совокупность подобного рода унифицированных декомпозиционных конструкций образует декомпозиционную структуру технологии. Таким образом, модель формализованного описания технологии 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».

В целях обеспечения соответствия предложенной модели (2) возможности автоматизированного построения формализованного описания технологии на базе аппарата онтологического инжиниринга знаний вводится ряд аксиом.

Аксиома 1. Множество результирующих компонентов полностью сформированного концепта является уникальным:

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

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

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

Аксиома 3. Признак декомпозиции ядра предварительно сформированного целостного концепта:

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

Аксиома 4. Определение дополнения до множества исходных компонентов полностью сформированного концепта:

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

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

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

Аксиома 6. Определение полностью сформированного целостного концепта на основе агрегированного множества затратных характеристик:

$$\begin{aligned} & \exists TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \exists \bigcup_{\mu} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} ((\bigcup_{\mu} H_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu} = H_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (TD'_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m} \rightarrow TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m})^H). \end{aligned}$$

Аксиома 7. Определение полностью сформированного целостного концепта на основе агрегированного множества инвариантных компонентов:

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

Аксиома 8. Определение полностью сформированного целостного концепта на основе агрегированного множества исходных компонентов:

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

В предлагаемом методе процесс построения формализованного описания технологии заключается в формировании её декомпозиционной структуры посредством поэтапного комбинированного проектирования унифицированных декомпозиционных конструкций, начиная с корневого представления технологии.

К поэтапным алгоритмическим процедурам построения унифицированных декомпозиционных конструкций относятся (выделены пунктиром на рисунке 2):

1. Автоматизированное построение декомпозиции предварительно сформированного концепта (этап нисходящего проектирования);
2. Автоматическое определение взаимосвязей между полностью сформированными частными концептами (этап внутриуровневого проектирования);
3. Автоматическое определение полной сформированности целостного концепта (этап восходящего проектирования).

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

За установление отношения непосредственного предшествования среди полученных полностью сформированных частных концептов отвечает этап внутриуровневого проектирования. Методологически данный процесс обеспечен теоретическими утверждениями 1-3.

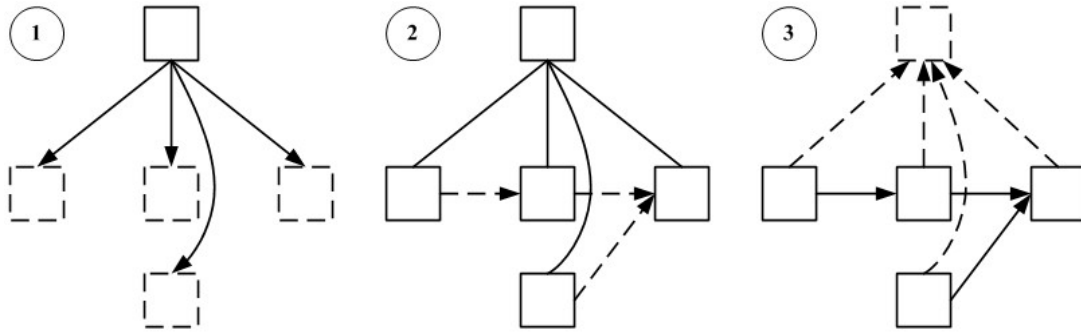


Рисунок 2. – Поэтапные алгоритмические процедуры построения унифицированных декомпозиционных конструкций

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 аксиомы 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 $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_s}$:

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

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 аксиомы 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 аксиоме 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 формулировке утверждения 2, рассматривается в **утверждении 3**. В таком случае, следственная часть формулировки 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 к утверждению 2.

Также сформулированы утверждения 4–5, в которых говорится о количестве конечных и начальных полностью сформированных для произвольного уровня декомпозиции. Однако они имеют опосредованное значение для этапа внутриуровневого проектирования унифицированных декомпозиционных конструкций. Их доказательства строятся на основе доказанных утверждений 1–3.

Завершающей стадией построения унифицированной декомпозиционной конструкции является этап восходящего проектирования, который, в конечном итоге, заключается в установлении отношения «часть-целое» между каждым из полностью сформированных частных концептов и уже полностью сформированным целостным концептом. Реализация соответствующей алгоритмической процедуры методологически определяется утверждением 6.

Утверждение 6. Если все концепты $\bigcup_{\mu} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu}$ 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 $Y_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_r}$ 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 $\bigcup_{\mu} TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu}$ является частным концептом для полностью сформированного целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$:

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

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

Определение полной сформированности целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$ происходит на основе условной части настоящего утверждения и положений аксиом 6-8, при этом возникает ряд нюансов. Они связаны с применением положения аксиомы 8, согласно которой получается, что: а) Множество $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$ целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$ 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) Поскольку 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 $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$ от множества $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_2}}$ ничем не пополняется; в) Множество $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$ целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$ 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) Поскольку 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 $X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$ целостного концепта $TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \eta_l, \lambda_m}$ пополняется дополнением $\setminus X_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{v_4}}^*$ 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 $\bigcup_{k=1}^4 TD_{\alpha_i, \beta_j, \dots, \lambda_m, \mu_{\nu_k}}$ 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 аксиомы 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.

В результате приведённых положений во второй главе делается вывод о том, что предложенная модель формализованного описания технологии и разработанный метод автоматизированного построения формализованного описания технологии представляют собой теоретические основы представления технологий в формализованном виде.

В третьей главе спроектировано программное средство OntoTechnology, реализующее автоматизированное построение формализованного описания технологии и проведено экспериментальное исследование разработанных теоретических основ с использованием возможностей OntoTechnology.

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).

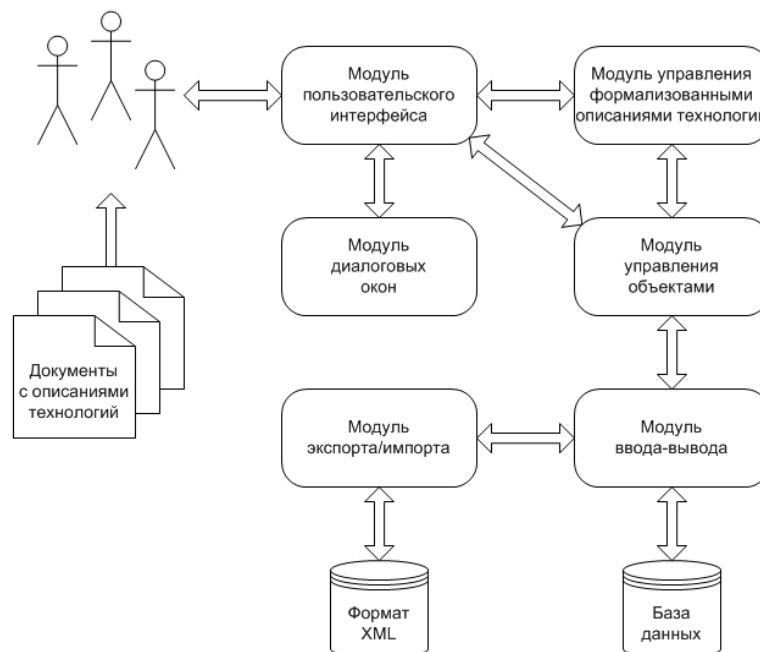


Рисунок 3. – Схема потоков данных

Построенное 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 декомпозиционной структуры технологии;
- Ручное определение первоначальной степени семантической сформированности каждого из концептов технологических действий;
- Управление количеством частных концептов в рамках унифицированных декомпозиционных конструкций на основе признаков декомпозиции, сформированных вручную;
- Автоматическое установление взаимосвязей между полностью сформированными частными концептами в рамках унифицированных декомпозиционных конструкций;
- Автоматическое определение полной сформированности целостного концепта в рамках унифицированных декомпозиционных конструкций;
- Отображение результатов проектирования при помощи библиотеки визуализации графов JGraphX;
- Импорт и экспорт проектов в формате языка разметки XML.

Для проведения экспериментальных построений были выбраны следующие технологические процессы: изготовление мужского пиджака, строительство кирпичного жилого дома, механическая обработка детали типа «Винт». Посредством поэтапного комбинированного проектирования унифицированных декомпозиционных конструкций, используя возможности OntoTechnology, построено онтологическое представление каждой из этих технологий. В качестве примера на рисунке 4 показаны результаты этапа восходящего проектирования фрагмента унифицированной декомпозиционной конструкции в вершине с уже полностью сформированным концептом «Обработка спинки с талоном» технологии изготовления мужского пиджака.

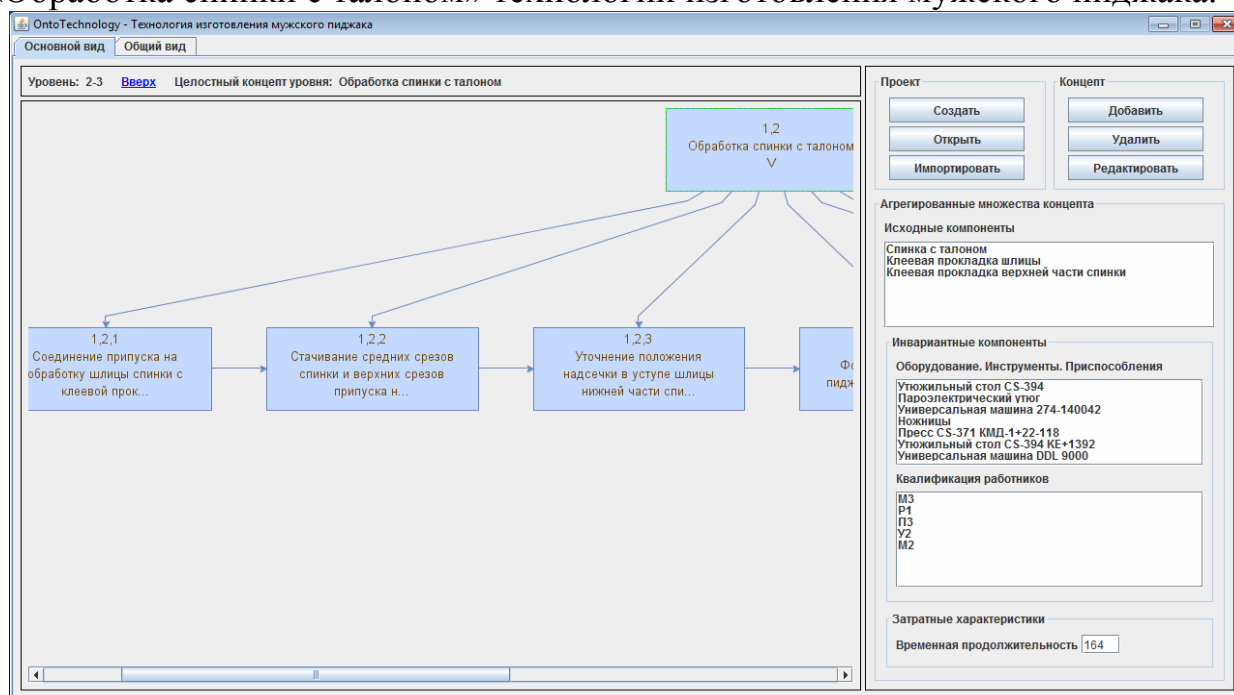


Рисунок 4. – Фрагмент унифицированной декомпозиционной конструкции в вершине с уже полностью сформированным концептом «Обработка спинки с талоном»

На основе анализа результатов проведённых экспериментов сделан вывод, что программное средство успешно реализует предложенные в диссертации теоретические основы представления технологий в формализованном виде.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Построена модель формализованного описания технологии, обеспечивающая реализацию конструктивного процесса по формированию онтологического представления технологии;

2. Разработан метод автоматизированного построения формализованного описания технологии, позволяющий поэтапно проектировать онтологическое представление технологии с различной степенью детализации;

3. Разработано программное средство, обеспечивающее реализацию всех алгоритмических процедур и визуализацию их результатов при построении онтологического представления технологии, успешно используемое на швейной фабрике ЗАО «АСКО».

4. Результаты работы стали основой для модернизации учебного курса «Представление знаний в информационных системах» Псковского государственного университета.

ПУБЛИКАЦИИ 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. 32–40.
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. 294–296.
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. 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 22.09.2014. Заказ № 4986.
Формат 60x90/16. Усл. п. л. 1,25. Тираж 100 экз.
Издательство Псковского государственного университета

