

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Воронов М.В.

Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна  
vmv@sutd.ru

## **DEVELOPMENT of MODELS of the FORMALIZED DESCRIPTION of INDUSTRIAL TECHNOLOGIES**

M.V. Voronov

The St.-Petersburg State University of Technology and Design  
vmv@sutd.ru

### **Постановка проблемы**

Сегодня самыми ценным товаром являются технологии, представляющие собой, в самом широком смысле слова, знания об управлении материей. Во всех областях человеческой деятельности воспроизводится огромное количество технологий. В данной работе будем рассматривать технологии, реализуемые в целях конкретной производственной деятельности – производственные технологии. С этих позиций под технологией понимается совокупность сведений (знаний) о процессах, называемых технологическими процессами, в результате которых происходит качественное преобразование исходных объектов (сырья, материалов) в конечный объект (готовый продукт, полуфабрикат).

*Объектом нашего исследования являются технологические процессы (ТП) изготовления продукции.*

Для того чтобы целенаправленно манипулировать сведениями о ТП, необходимо их фиксировать с помощью определенных систем обозначений, т.е. описывать. Описание исполняет роль памяти, обеспечивает возможность коммуникативности, в известной мере, способствует визуализацию сущности ТП. Благодаря наличию описаний ТП, можно, в конечном счете, управлять материей.

*Предметом нашего исследования являются описания производственных технологических процессов.*

Сегодня наибольшее распространение получили вербальные описания. В них в определенной последовательности на естественном языке, изобилующем терминами определенной науки, приводятся последовательности имен операций, для каждой из которых указываются: обрабатываемые объекты, рекомендуемое оборудование, перечень вспомогательных материалов и технологические параметры операции, а также методические

указания по выполнению последней. Такие описания удобны для издания учебников и различных справочников.

Прямой перевод вербальных описаний ТП на цифровые носители не эффективен. Вследствие слабой структурированности такие описания сводят на нет возможности использования современных компьютерных технологий. Даже наличие каким-то образом упорядоченных наборов файлов с вербальным описанием ТП не могут быть напрямую преобразованы в соответствующие базы данных и знаний. В такого рода хранилищах крайне усложнен поиск необходимых ТП в целом и их фрагментов в частности, не могут быть решены задачи автоматизированного управления процессами синтеза новых технологий

**Можно констатировать, что имеется диалектическое противоречие между постоянно расширяющимся объемом технологических знаний, зафиксированных, главным образом, в виде вербальных описаний, и потребностью в эффективной их компьютерной обработке. Разрешение этого противоречия лежит через решение проблемы построения эффективных механизмов формализованного описания ТП с целью широкого применения компьютерных технологий для манипулирования ими.**

Разрешение проблемы предусматривает решение целого ряда задач: анализ объекта исследования и особенности его описаний, разработка механизмов записи ТП, формализация описания технологических переходов, построение поля понятий и некоторые другие.

В данном сообщении мы рассмотрим некоторые из них, акцентируя внимание на разрабатываемые идеи, позволяющие, на наш взгляд решить поставленную проблему.

### **Анализ предмета исследования**

Рассмотрение технологического процесса может вестись на различных уровнях декомпозициях. Выделим из них три основных (с позиции производства) уровня описания ТП.

Описание технологического процесса по схеме «Вход-Выход». В этом случае, в целом не раскрывая деталей, описываются цели процесса, дается описание основных характеристик исходных и готовых объектов, а также приводятся обобщенные технологические нормативы. Иногда описывается состав оборудования и реализуемые с их помощью основные элементы ТП.

Пооперационное описание. При этом, наиболее распространенном на предприятиях способе описания, ТП представлен в качестве упорядоченной последовательности так называемых технологических операций.

Под операцией, в данном случае производственной, понимают часть ТП, выполняемую на одном рабочем месте. Ее рассматривают в качестве основной единицы при решении вопросов организации технологи-

ческого процесса на производстве. При пооперационном описании ТП основное внимание уделяется упорядоченному перечислению реализуемых операций и вербальному описанию каждой из операций в отдельности. Описание операции состоит из перечисления используемого оборудования, наименований вспомогательных материалов, указаны также технологические параметры операции и основные требования к обрабатываемым объектам (деталям).

Например, операция «Намазка клеем отшлифованных задних краев голенищ и сушка» может быть описана так: *на отшлифованные задние края голенищ наносится клей ровным тонким слоем, без пропусков и загрязнения остальной части голенищ. После намазки клеем голенища укладывают в люльки сушила и высушивают клеевую пленку под вытяжкой до полного удаления растворителя. В качестве вспомогательных материалов выступает клей. Оборудование: машина для намазки клеем деталей заготовок обуви и сушило с инфракрасными лампами.*

Попереходное описание. Переходом обычно называют такую минимальную часть технологического процесса, в результате выполнения которой обрабатываемый объект получает некоторое существенное изменение, качественно приближающее его к готовому изделию. При этом в описании ТП нет следующих непосредственно друг за другом вполне одинаковых переходов. Каждый переход отличается от остальных используемым составом или настройкой оборудования, значениями параметров процесса и т.п. Операция содержит один или более переходов. Так в предыдущем примере описана операция, в которой можно выделить два перехода: собственно намазывание заготовки клеем и ее сушка.

Попереходное описание для большинства случаев практики достаточно детально описывает ТП и относительно автономно от условий конкретного производства. В этой связи такое описание более универсально и может применяться практически во всех процессах манипулирования сведениями о ТП.

Следует отметить, что рассмотрение ТП на уровне технологических переходов (ТПР) представляется целесообразным еще и потому, что естественным образом отображает конструктивный характер технологического процесса.

Действительно. В большинстве технологий разрыв процесса изготовления продукта в течение технологического перехода невозможен или крайне не целесообразен. В этой связи с позиций производства технологический переход можно рассматривать в качестве элементарного шага ТП.

По окончании каждого перехода обрабатываемый объект приобретает новое качество, приближаясь к законченному виду. Одни переходы направлены на обработку одной и той же части изделия (последовательность переходов). Другие - реализуют объединение частей будущего изде-

лия, получаемые после выполнения двух или более технологических переходов, которые могли до этого выполняться и параллельно.

Технологический процесс построен таким образом, что после завершения конечного числа переходов всегда будет изготовлен ожидаемый продукт. При этом готовый продукт условно можно разложить на элементы (компоненты, свойства, ...), приобретаемые после завершения каждого перехода.

Приобретение заданных свойств обеспечивается как строгим исполнением требований, предъявляемым как к каждому переходу, так и к последовательности переходов. Последовательность реализованных переходов в известной мере определяет подмножество требований, которые должны выполняться при последующих переходах именно вследствие выбранной последовательности их следования. Иначе говоря, на каждом этапе ТП должно формироваться подмножество правил, обусловленное сложившейся технологической ситуацией.

Конструктивность описания ТП в виде упорядоченной совокупности технологических переходов представляется наиболее перспективным для разрешения сформулированной проблемы

### **Формальная модель описания технологического перехода**

Каждый технологический переход направлен на реализацию вполне определенной целедостигающей функции над объектами обработки. Следовательно, центральным компонентом описания каждого перехода является вполне определенное технологическое действие (F), направленное на обрабатываемый объект (X) с целью получения желаемого результата (Y). Для реализации технологического действия используется некоторое оборудование W и так называемые вспомогательные материалы V. Технологический процесс обычно сопровождается появлением побочных продуктов (отходов U). Иначе говоря, модель технологических знаний о ТПР может быть представлена кортежем

$$M = \langle X, Y, F, W, V, U \rangle.$$

В свою очередь каждый компонент модели описания ТПР представляет собой модель знания о группе соответствующих понятий.

Поскольку введение того или иного понятия, как правило, реализует идею кластеризации знаний, модель ТПР целесообразно построить в виде совокупности фреймов.

В целом структура фреймов модели для каждого компонента стандартная: их слоты содержат значения атрибутов, отношения, ссылки на процедуры и другие фреймы. Важным элементом в построении модели каждого описания понятия играют его ролевые признаки. Эти признаки (аспекты) позволяют ориентироваться как в содержательном смысле данной группы атрибутов понятия, так и в ТПР в целом.

Как известно, все особенности фреймовых моделей заключаются в их конкретной реализации. Помимо содержательного контекста фреймы, входящие в модель ТПР относятся к различным классам описываемых сущностей. Пять из компонент модели ТПР, а именно: X, Y, W, V и U представляют собой предметы, а пятый компонент (F) – действие. Это обуславливает некоторые различия в построении соответствующих фреймов.

В основу описания ТПР как процесса положена процедура построения фрейма «Технологическое действие (F)», в котором и находится основное содержание технологического перехода. Именно наличие в модели понятий из класса «Действие» отражают особенности моделей описания ТПР.

Понятие «Технологическое действие» в своей основе имеет некоторый глагол (отметим, что количество глаголов по отношению к количеству понятий из класса «Предмет», сравнительно не велико). Широкое же разнообразие технологических действий определяют состав и значение их параметров (атрибутов), а также особенности взаимодействия с предметами, участвующими в ТПР. Для удобства во все фреймы описания ТПР введена группировка слотов по аспектам рассмотрения и соответствующие ролевые признаки.

Во фрейме типа «Технологическое действие (F)» для описания содержания понятия введены группы пар слотов (имя слота + значение слота) имеющие различную природу. Для описания лингвистических и образных знаний удобно использовать падежные отношения, такие, как: «с чем», «для чего», «как», «из чего», «в каком направлении», «инициатор действия», «результат действия», «инструмент действия» и другие. Отношения такого рода в первую очередь связывают действие ТПР с предметами в нем участвующими (отношения типа «предмет» – «действие»). Их значения позволяют описывать особенности участия предметов в ТПР.

Имеется также группа бинарных семантических отношений, описывающие свойства (параметры) собственно действия ТПР. Например, место (строчки), температура (вулканизации), режим (нагрева), продолжительность (отбеливания) и т.п.

Фрейм каждого понятия класса «Предмет» также имеет группы слотов по определенному аспекту. Его описание включает различные типы слотов, однако основу составляют отношения типа «A is a B».

Пример. Пусть задано следующее вербальное описание ТПР: на верхний край голенищ с обеих сторон наносят равномерный слой наиритового клея, без пропусков и загрязнений остальной части голенищ. Ширина намазываемого слоя с лицевой стороны должна быть 7-8 мм, а с нелицевой стороны – 8-10мм.

Модель ТПР «Намазка клеем верхних краев голенищ сапог», содержит фреймы: ЗАГОТОВКА – «голенище», ДЕЙСТВИЕ – «намазка», ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – «наиритовый клей», ОБОРУДОВАНИЕ – «машина для намазки клеем деталей заготовок обу-

ви», ПРОДУКТ (полуфабрикат) – «готовые к вулканизации голенища сапог».

Во фрейм «намазка» включаются отношения (в качестве имен слотов): МЕСТО ЗАГОТОВКИ, КАКОЙ (слой), ОБЛАСТЬ (намазки), РАЗМЕР (области намазки), КАК (наносится клей) и другие. Значения этих слотов могут быть такие: «верх», «лицевая сторона», «нелицевая сторона», «равномерный слой», «полоса шириной 7-8мм» и т.п.

Таким образом, для построения информационных систем технологических знаний необходима их информационная поддержка в виде специальных компьютерных систем понятий по соответствующим предметным областям.

### **Система понятий предметной области**

По мере накопления в компьютерных системах разноплановой, огромной по объему информации возникают проблемы рационального их применения широким кругом пользователей. Всеобщей информатизации, призванной ускорять движение информации, противостоит ряд проблем, среди которых все больше заявляет о себе проблема усложнения технологий практического использования глобальных компьютерных систем. Рассмотрим только некоторые из них.

Современные системы представляют собой весьма жесткие и сложные, часто проблемно ориентированные конструкции. В то же время и для них затруднительно разработать, а тем более четко исполнять инструкции относительно всей существующей и потенциально расширяющейся глобальной сети.

Работа в сети все более усложняется. Сегодня не представляет труда, например, получить по точному адресу исчерпывающую информацию из конкретной информационной базы или по ключевым словам вызвать “всю” информацию на запрашиваемую тему. Последняя же обычно столь объемна, что разобраться в ней в короткие сроки практически невозможно. Получить же исчерпывающий и вместе с тем компактный ответ с гарантированной глубиной поиска на запрос, выраженный в достаточно произвольной форме на естественном языке, сегодня невозможно. Такова ситуация с информацией представленной данными. Намного сложнее обстановка при работе в глобальных сетях со знаниями.

С другой стороны, практически каждый научный коллектив (а иногда и индивидуум), создавая свой сегмент сети по отдельной предметной области, со своими терминологией, классификацией понятий, структурой организации информации и т. д., помимо увеличения ресурсов глобальной сети вносит свой “вклад” в разнообразие возможных ситуаций при поиске информации. В каждой из подсистем посвященных даже близким областям науки зачастую реализуются различные, порой уникальные, вполне конкретные структуры понятий и отношений, где четко зафиксированы

выбранная терминология и классификация понятий, а, следовательно, применима своя технология общения с системой. Использование таких систем сторонними пользователями весьма затруднено, а погружение ими дополнительных данных и знаний в эти “чужие рамки” становится проблематичным.

Вместе с тем следует признать, что многие фрагменты информационных систем создаются научными коллективами, обладающими крупными порой уникальными, известными только им знаниями. То, что они вводят свои термины, классификацию понятий, структуру организации информации и т. д., может и должно рассматриваться в качестве их неотъемлемого права. Более того, именно таким образом в систему могут погружаться (а иногда и впервые формулироваться и проявляться) новые знания.

Была поставлена цель: разработать теоретические основы построения вполне гибких информационных систем, принципиально новым качеством которых станет возможность реализации практически произвольного диалога с информационной системой в рамках конкретной предметной области.

Эта система должна быть способна с одной стороны впитывать в себя все новые и новые сведения, поступающие от любого носителя знаний, а с другой, обеспечивать в удобной форме и с необходимой полнотой получение сведений, которые могут заинтересовать каждого пользователя.

Наличие подобного рода систем позволит целому научному коллективу или отдельным ученым, без какой либо подготовки и в произвольной форме вводить в систему знания, используя свою терминологию и классификацию. При этом представители любой третьей стороны смогут напрямую эффективно использовать всю имеющуюся в этой системе информацию.

Одним из главных приложений этой теории целесообразна разработка общедоступных интегрированных систем понятий по предметным областям знаний.

Для решения поставленной задачи предлагается разработка перманентно нарастающей самоорганизующейся системы понятий рассматриваемой предметной области.

Основные принципы, закладываемые в основу построения такой системы следующие.

1. Каждый пользователь может самостоятельно внести свои знания о конкретной сущности данной предметной области.
2. Определение места вносимого понятия в базу реализуется в интерактивном режиме на основе семантики и структуры ранее введенных сведений. При этом роль компьютерной системы активна. Она задает пользователю вопросы, связанные с его замыслом, который «проясняется» для системы по мере многократного обращения к ней. На основании получаемых ответов пользователя ему рекомендуются те или иные действия, например, выбор дальнейшего движения по дереву понятий.

3. В основе рекомендаций системы лежит распознавание области близких в рамках данного аспекта понятий, исходя из совокупности свойств объекта введенных ранее другими исследователями и предполагаемого к вводу. Написание имен понятий не должно иметь существенного значения.
4. Могут быть введены новые понятия, являющиеся либо детализацией существующего понятия, либо локально обобщающим понятием, либо «параллельным» понятием.
5. Для каждого понятия может быть представлено и его описание в вербальной форме. Последние будут являться основой для создания компьютерных интеллектуализированных энциклопедий.

Центральным моментом решения данной задачи является разработка механизма погружения нового понятия в систему. Для реализации процесса погружения нового понятия в систему предлагается ввести механизм многоаспектного сравнения понятий. Пусть в системе уже имеется некоторое множество базовых понятий, каждое из которых декомпозировано на более узкие понятия (построен какой-то лес понятий). При этом для каждого ранее введенного понятия  $P_k$  в системе имеется структурированное по аспектам описание его содержания  $S_k$

Процесс должен начинаться с установления раздела рассматриваемой предметной области и соответствующего корневого понятия, к которому относится вносимое понятие. Цель: для вводимого понятия найти его место в дереве декомпозиции корневого понятия.

Предположим, что каким-то образом выбрано и зафиксировано некоторое уже находящееся в системе понятие  $P_k$ . Система представляет пользователю описание содержания этого понятия  $S_k$  (фрейм-экземпляр), а также фрейм-прототип (пустую структуру) этого понятия. Затем система предлагает пользователю заполнить этот фрейм-прототип для вводимого понятия. Заполняя значениями атрибутов предложенную структуру, пользователь может оказаться в одной из трех ситуаций.

1. Все предложенные значения заполнены, но пользователь считает необходимым указать для вводимого понятия дополнительные атрибуты. Это означает, что вводится более частное понятие, чем  $P_k$ . Данный факт считается установленным, если структура содержания вводимого понятия имеет большее количество атрибутов, т.е.

$$S_k \subset S_j, \exists s_i : (s_i \in S_j) \wedge (s_i \notin S_k) \wedge |S_j| > |S_k|$$

В этом случае система предложит перейти к следующему, более низкому уровню декомпозиции.

2. Пользователь считает, что некоторые атрибуты предложенной структуры не характерны для вводимого понятия. Это говорит о том, что вводимое понятие является более общим понятием, чем  $P_k$ , т.е.

$$S_j \subset S_k, \exists s_i : (s_i \in S_j) \wedge (s_i \notin S_k) \wedge |S_j| < |S_k|$$



Пользователю будет рекомендовано вводимое понятие считать понятием более высокого уровня по отношению к сравниваемому.

3. Во вводимом понятии имеются атрибуты не входящие в  $S_k$ , а в  $S_k$  присутствуют атрибуты не характерные для вводимого понятия, т.е.

$$\exists s_i : (s_i \in S_j) \wedge (s_i \notin S_k), \exists s_h \neq s_i : (s_h \notin S_j) \wedge (s_h \in S_k).$$

Система предложит перейти к сравнению свойств с другим понятием этого же уровня, т.е. с так называемым «параллельным» понятием. Если все «параллельные» для данного уровня декомпозиции понятия просмотрены, то система предложит вводимое понятие рассматривать в качестве нового «параллельного» понятия.

Пусть принято решение о вводе нового понятия. При этом оно имеет свойства, ранее отсутствующие в системе на данном уровне декомпозиции базового понятия. Тогда работает механизм, который обеспечивает расширение структуры описаний всех понятий данного дерева (от данного уровня и ниже) за счет включения этих «новых» атрибутов. При последующих обращениях к системе пользователю будет предоставлен фрейм, включающий в свою структуру большее количество свойств, некоторые из которых (старые) не описаны! Тем самым, свойства данного  $i$ -го уровня присущи всем его подпонятиям (всем понятиям уровней  $k > i$ )

$$\forall k > i : S^k \supset S^i.$$

Иначе говоря, система впитывает не только все новые понятия, но и за счет расширения структуры описания способствует расширению знаний о ранее введенных понятиях.

Примечания.

1. Важно отметить, что никакой пользователь не может изменить введенную ранее информацию. Система только наращивает объем содержащейся информации, сохраняя и расширяя структуру знаний о данной предметной области.

2. Для каждого понятия может быть введено неформализованное описание в виде энциклопедической статьи. В этой статье в мультимедийном представлении содержится информация, соответствующая данному уровню знаний пользователя о вводимом понятии. В частности для понятий характерных для технологических процессов полезны анимационное и видео записи фрагментов реальных процессов.

3. Все имена понятий сведены в глоссарий, каждая позиция которого по желанию пользователя может обеспечить его возможностью видеть имена близких по значению или родовидовым отношениям понятий. При этом понятие близости может быть сформировано на основе семантики заданных системе вопросов. При этом посещения глоссария и манипуляции с ним могут фиксироваться в соответствующих счетчиках с возможностью трассировки навигации в системе. В дальнейшем возможна увязка посещения глоссария с редакцией фреймов и тем самым ускоренный поиск необходимых понятий и описание их истории.