



# OSTIS-2014

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822:658.51

## ОНТОЛОГИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Тарасов В.Б.\* , Федотова А.В.\* , Черепанов Н.В.\*

\* *ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана»  
г. Москва, Россия*

*Vbulbov@yahoo.com*

*afedotova@acm.org*

\*\* *ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»  
г. Химки, Московская область, Россия*

*nv137@yandex.ru*

Рассмотрены проблемы создания системы управления жизненным циклом сложной технической системы. Предложен онтологический подход к анализу и моделированию жизненных циклов. Построена система наглядных и абстрактных моделей ЖЦ. Особое внимание уделено проблемам построения гранулярных онтологий и развитию спиральных моделей жизненного цикла

**Ключевые слова:** представление знаний; управление знаниями; метамодель; онтология; метаонтология; грануляция; жизненный цикл.

### Введение

Настоящая работа посвящена проблемам анализа и моделирования жизненного цикла сложных технических систем (СТС), включающего стадии проектирования, производства и эксплуатации [Валькман, 1998; Колчин, 2002; Stark, 2011; Tarassov, 1994].

Предложен новый подход к представлению и интеграции знаний о жизненном цикле, основанный на онтологическом моделировании и методах грануляции информации.

### 1. Подсистема управления жизненным циклом продукции в структуре интегрированной системы управления предприятием

Согласно традиционным представлениям об управлении предприятием, процессы управления ограничиваются его внутренней средой. Внутреннее управление охватывает такие проблемы как управление ресурсами предприятия, финансовое управление, управление персоналом, управление сбытом и пр. Однако в современную эпоху сетевой экономики в сферу внимания руководства компании и ответственности ее менеджеров начинает входить все, что как-либо влияет на производительность и

конкурентоспособность – как внутри предприятия, так и за его пределами. Появление «электронно прозрачного» рынка, развитие электронного бизнеса означает выведение процессов управления за пределы предприятия, их перенос в виртуальную среду, основанную на веб-технологиях. Возникают задачи управления компонентами внешней микросреды предприятия, организации тесного взаимодействия компании с ее клиентами, поставщиками и партнерами.

Все это привело к появлению систем планирования и управления ресурсами предприятия второго поколения ERP-II (Enterprise Resource Planning-II), для которых объединение ресурсов не ограничивается рамками монолитного предприятия и включает обмен ресурсами по корпоративной сети. Здесь ключевое место занимают системы управления отношениями: с заказчиками CRM (Customer Relationship Management) и поставщиками SRM (Supplier Relationship Management). Вместе с системами управления жизненным циклом продукции PLM (Product Lifecycle Modeling) и системами управления цепочками поставок SCM (Supply Chain Management) они образуют «джентльменский набор» инструментальных средств ERP-II [Тарасов, 2006; SAP ERP, 2008] (рисунок 1).

В данной работе основное внимание уделяется онтологическим вопросам управления жизненным

циклом сложных технических систем (СТС). Здесь под СТС понимаются искусственные системы, состоящие из большого числа неоднородных элементов и подсистем, которые обладают значительным разнообразием внутренних связей и разветвленной структурой. Для них типичными являются множественность возможных состояний, а также градации работоспособных состояний (отказ отдельных элементов снижает эффективность функционирования СТС в целом, но необязательно приводит к скорой и неизбежной аварийной ситуации). Яркими примерами СТС служат современные корабли, самолеты, космические аппараты, орбитальные обсерватории и т.п. Обычно подобные системы входят в состав еще более сложных человеко-технических комплексов.

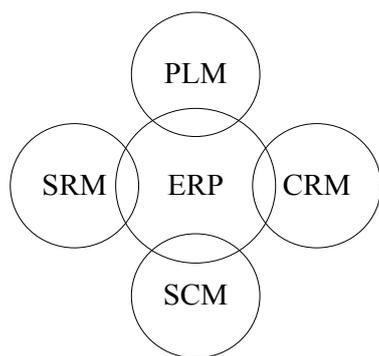


Рисунок 1 – Основные компоненты интегрированной системы управления предприятием ERP-II.

Управление жизненным циклом СТС означает интеграцию данных, процессов, структур, персонала ряда предприятий в рамках единой корпоративной сети [Тарасов, 1998; Spur, 1995; Stark, 2011]. Его ключевыми аспектами являются:

- безопасный и управляемый доступ к информации о создаваемой системе, а также ее совместное использование в спецификации СТС;
- обеспечение согласованности информации о СТС на протяжении всего ЖЦ;
- поддержка процессов создания, управления, распространения, разделения и использования информации о СТС.

С одной стороны, одной из главных подсистем системы управления жизненным циклом продукции является система управления данными о продукции PDM (Product Data Management). Сегодня PDM-система в достаточно полном объеме реализует функции управления составом СТС, структурой всех ее составных частей, деталей, узлов и агрегатов. Кроме того, сюда должны входить и структурированные информационные объекты технологической подготовки производства, состав которых отражает все необходимые данные для организации работ по производству самого изделия, структура оснастки, инструментального парка, операций и переходов, технологических приемов.

Задачи управления данными об СТС и управления работами по созданию СТС являются взаимосвязанными и должны базироваться на

единых информационных ресурсах. При этом важное место занимает построение системы управления проектом, основная задача которой состоит в координации действий исполнителей проекта, обеспечении согласованного планирования и контроля работ, предоставлении необходимой информации о ходе выполнения проекта.

Интеграцию данных на различных этапах ЖЦ удобно осуществлять на основе семантического подхода, опирающегося на онтологическое описание проблемной области в терминах теории множеств и алгебраических систем.

С другой стороны, важнейшей подзадачей задачи управления жизненным циклом СТС является управление знаниями, циркулирующими на его этапах и стадиях. Управление знаниями на протяжении жизненного цикла – это инновационная стратегия работы предприятия, направленная на обмен знаниями как ресурсами, коллективно используемыми на разных этапах ЖЦ, получение новых и обновление существующих знаний, позволяющих сотрудникам лучше понимать друг друга, эффективно взаимодействовать и совместно решать сложные задачи. Оно обеспечивает единый, интегрированный подход к созданию, сбору, организации, распределению, использованию информационных ресурсов предприятия и доступу к ним. Эти ресурсы включают структурированные базы данных, документы, неявные знания сотрудников [Попов, 2001; Кудрявцев, 2010].

### 1.1. Жизненный цикл системы

Понятие «жизненный цикл» и модели жизненных циклов (ЖЦ) для различных классов естественных и искусственных систем являются одними из важнейших объектов современной теории систем как междисциплинарной научной области [Волкова, 2004; Спицнагель, 2000]. В то же время различные по содержанию и структуре жизненные циклы изучаются в конкретных научных областях. Так в современном маркетинге одной из базовых концепций является представление о жизненном цикле товара – периоде времени, в течение которого товар обращается на рынке, начиная с момента его выхода на рынок и заканчивая уходом с рынка. Соответственно, выделяют такие этапы ЖЦ товара как его выведение на рынок, этап роста, этап зрелости, этап спада и ухода с рынка [Райзберг, 2007].

Любой цикл характеризуется завершенностью и повторяемостью взаимосвязанных этапов на определенном промежутке времени; его ключевыми характеристиками являются длительности: как отдельных этапов, так и цикла в целом [Субетто, 1989; Спицнагель, 2000]. Весь жизненный цикл СТС определяется интервалом времени от начала ее создания до конца эксплуатации; при этом за начало жизненного цикла традиционно принято считать формирование потребности в СТС (зарождение идеи или облика СТС), а за конец – снятие СТС с эксплуатации (утилизацию). По сути, ЖЦ – это

множество состояний СТС, связанных между собой допустимыми переходами.

Концепция жизненного цикла представляет собой основной вариант реализации системного подхода к сложным техническим объектам, направленный на отображение изменений состояний этих объектов в некоторый период времени. Она связана с интеграцией процессов проектирования, производства и эксплуатации СТС в рамках единой метамодели и предполагает выделение ряда стадий (этапов) ЖЦ и изучение взаимосвязей между ними.

В конце XX-го – начале XXI-го века понятие ЖЦ расширилось; в него также стали включать стадию рекуперации (Recycling), которая лежит в основе концепции «обращения ЖЦ» [Kimura, 1995]. В статье [Тарасов, 1998] введена трехмерная система жизненных циклов «ЖЦ продукта – ЖЦ процесса – ЖЦ предприятия» и предложены варианты ее грануляции.

Структура и продолжительность ЖЦ СТС влияют на затраты по ее созданию и эксплуатации. Это влияние является достаточно сложным и неоднозначным: так исключение из ЖЦ какого-либо этапа отнюдь не всегда означает уменьшение общих затрат, и напротив, удлинение и более тщательная проработка отдельных этапов (например, этапа технического обслуживания и ремонта) может дать существенную экономию и привести к снижению общих затрат ЖЦ.

В конце XX-го–начале XXI-го века возникла концепция инженерии жизненного цикла (Lifecycle Engineering) [Alting, 2006; Spur, 1996], которая предполагает широкое использование современных информационных и коммуникационных технологий в моделировании и интеграции его этапов. Главными аспектами инженерии ЖЦ выступают инженерия знаний и управление знаниями о ЖЦ, в частности, на основе наглядного представления его структуры, оптимизация временных соотношений между этапами и стадиями ЖЦ СТС (например, сокращение сроков проектирования и увеличение периода эксплуатации СТС), учет и управление неопределенностями, возникающими на разных этапах ЖЦ [Tarassov, 1996].

Ниже будет изложен онтологический подход к управлению знаниями в русле интеллектуализации систем управления жизненным циклом класса PLM.

## 1.2. Онтологический подход к анализу и моделированию жизненных циклов

В информатике под онтологией понимается наглядное и формализованное описание структуры некоторой проблемной области (темы). Подобное описание всегда опирается на концептуализацию этой области, которая обычно задается в виде исходных понятий, отношений между ними и ограничений.

Следуя Т.Груберу, онтологию определяют как

спецификацию разделяемой разными людьми концептуализации [Gruber, 1993], а по Н.Гуарино она представляет собой логическую теорию, которая состоит из словаря терминов, образующих таксономию, их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода [Guarino, 1995]. Иными словами, онтологию понимают и как формальный взгляд на семантику, и как словарь, используемый логической теорией [Гаврилова, 2003]. По сути, онтологии отражают соглашения о единых способах построения и использования концептуальных моделей. Они выступают как удобный метод представления и повторного использования знаний, средство управления знаниями, способ обучения [Кудрявцев, 2010].

Следует отметить, что в рамках проекта семантической интерпретации информационных ресурсов Интернет (Semantic Web) в 2000-е годы был предложен стандарт описания метаданных о документе Resource Description Framework (среда описания ресурсов), в основе которого лежит представление информации с помощью троек «субъект-предикат-объект». В связи с этим нельзя не вспомнить, что еще в 1970-е годы известный белорусский ученый В.В.Мартынов предложил близкую по форме ядерную цепочку «субъект-действие-объект» (см. [Мартынов, 2001]) для своего языка представления знаний, названного им «универсальный семантический код».

Построение единственной понятной и согласованной онтологии, как правило, оказывается невозможным, что приводит к формированию иерархической системы онтологий. В ней на нижнем уровне представлены предметная онтология, онтология задач и онтология приложений; выше них находится онтология верхнего уровня, Общая схема взаимосвязей между онтологиями (см.[Тарасов,2012]) показана на рисунке 2.

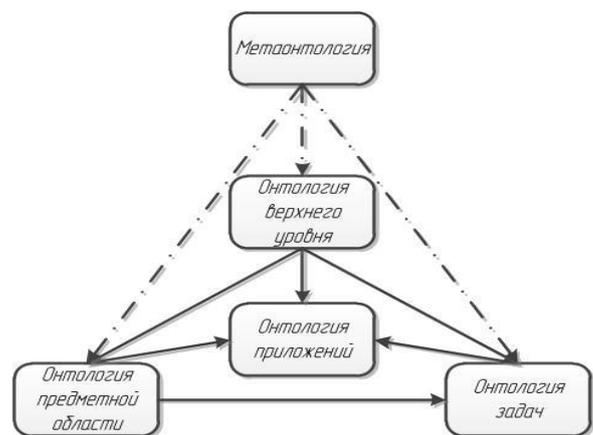


Рисунок 2 – Иерархическая система онтологий

В данной работе главное внимание уделяется выбору метаонтологии и построению онтологии верхнего уровня. Здесь термин «метаонтология» (т.е. онтология над онтологиями) понимается как основа представления, слияния и интеграции онтологий. Метаонтология обеспечивает как

точную, математическую спецификацию онтологий, так и формальный анализ их свойств. С ее помощью устанавливают соответствие между характером располагаемой информации (по сути, уровнем неопределенности) и выбираемым языком описания СТС. Отсюда видно, что выбор подходящей метаонтологии во многом определяет свойства нижележащих онтологий.

В [Тарасов, 2012] введено понятие «гранулярной метаонтологии», что означает выбор в качестве онтологических примитивов не точечных, а протяженных объектов. Гранулярная метаонтология задается формально как алгебраическая система (по А.И.Мальцеву) тройкой  $GMONT = \langle C_G, R_G, \Omega_G \rangle$ , где  $C_G$  – базовое гранулярное множество, понимаемое как основа онтологической грануляции,  $R_G$  – множество отношений на  $C_G$ , а  $\Omega_G$  – множество операций на  $C_G$ . и/или  $R_G$ .

В качестве базиса онтологической грануляции могут выступать фактор-множества, вложенные множества, приближенные множества, нечеткие множества, мультимножества и пр.

Согласно Дж.Сова [Sowa, 1995], онтологии верхнего уровня описывают наиболее общие, парадигматические концептуализации систем, используемые в разных предметных областях, формируя базовую систему понятий для онтологий нижнего уровня.

В настоящей разделе в качестве онтологий верхнего уровня, тесно связанной с различными временными онтологиями [Кандрашина, 1989; Еремеев, 2003; Euzenat, 2005], рассматривается гранулярная онтология жизненного цикла системы.

Гранулярные метаонтологии, опирающиеся на понятия гранулы, уровня, иерархии, отношений между уровнями, предполагают рассмотрение базовых понятий нижележащей онтологии на

различных уровнях абстрактности. В случае ЖЦ СТС такими базовыми понятиями являются этапы и стадии жизненного цикла.

Жизненный цикл охватывает ряд стадий, которые представляют собой наиболее крупные его периоды, а эти стадии, в свою очередь, разбиваются на отдельные этапы. Этапы ЖЦ обычно связывают с контрольными точками (или интервалами) изменений СТС на протяжении ее жизни.

Грануляция ЖЦ предполагает рассмотрение таких вопросов как определение общих принципов и критериев грануляции; построение вариантов интерпретации и классификации гранул; развитие подходов и методов грануляции; разработка формальных моделей гранул; формирование отображений между разными уровнями грануляции; выделение количественные характеристик как гранул, так и самого процесса грануляции.

Следует отметить, что не существует одного оптимального уровня грануляции ЖЦ на отдельные этапы: размеры гранул являются проблемно-ориентированными и зависят от контекста исследования. Одни стадии ЖЦ могут быть представлены более детально, а другие – менее подробно в зависимости от целей моделирования [Валькман, 1998]. Будем рассматривать модели ЖЦ с разной степени абстрактности: а) более абстрактные круговые модели, связывающие между собой стадии ЖЦ; б) более конкретные модели взаимосвязей между этапами, а также между этапами и стадиями.

Удобным и наглядным средством визуализации онтологий являются ментальные карты (см. [Гаврилова, 2008]). На рисунке 3 приведен пример ментальной карты для онтологии ЖЦ СТС.

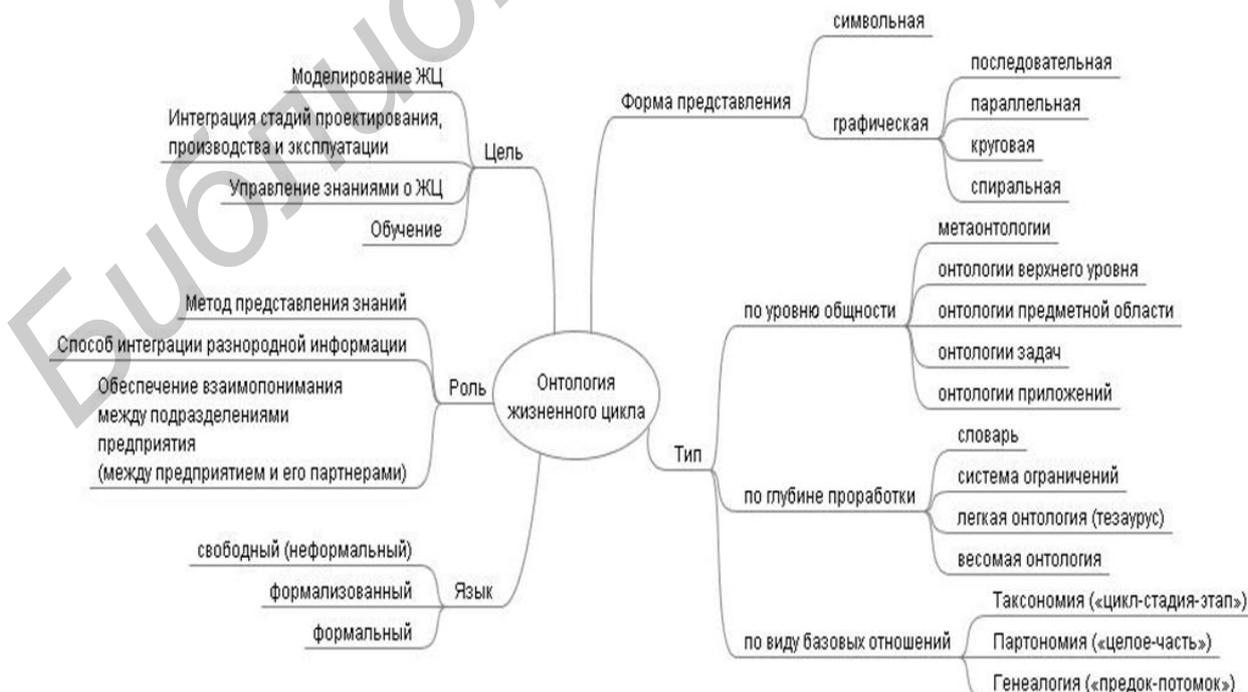


Рисунок 3 – Онтология жизненного цикла: представление с помощью ментальной карты

Введем формальное представление класса онтологий жизненного цикла  $ONT_{LC}$  сложной технической системы в виде модифицированной алгебраической системы, т.е. четверки

$$ONT_{LC} = \langle C_{LC}, R_{LC}, \Omega_{LC}, T_{LC} \rangle, \quad (1)$$

где  $C_{LC}$  – множество понятий, связанных с ЖЦ,  $R_{LC}$  – множество отношений между этими понятиями,  $\Omega_{LC}$  – множество операций над понятиями и/или отношениями,  $T_{LC}$  – множество временных параметров, используемых на протяжении ЖЦ.

Поскольку базовыми понятиями ЖЦ являются его этапы и стадии, в качестве системного ядра (1) можно взять тройку

$$ONT_S = \langle S, R_s, \Omega_s \rangle, \quad (2)$$

где  $S$  – множество стадий (этапов) ЖЦ,  $R_s$  – множество связей между этими стадиями (этапами),  $\Omega_s$  – множество операций, применяемых на стадиях (этапах) ЖЦ. В частном случае, имеем

$$ONT_{S1} = \langle S, < \rangle, \quad (2^*)$$

где  $<$  есть отношение строгого линейного порядка, т.е. нереклексивное, асимметричное, транзитивное и полное отношение.

### 1.3. Краткий обзор концепций времени применительно к моделированию жизненного цикла

Время и изменение являются двумя ключевыми понятиями при описании жизненного цикла. Кроме собственно времени, на различных этапах ЖЦ применяются такие важнейшие показатели как производительность и трудоемкость. В частности, производительность предприятия измеряется количеством продукции, произведенной им в единицу времени. Трудоемкость, как величина, обратная производительности, характеризуется затратами рабочего времени на производство единицы продукции. Поэтому анализ различных концепций и моделей времени, построение и применение формальных методов представления времени, временных (темпоральных) показателей, утверждений и зависимостей, используемых на протяжении жизненного цикла, выступают как необходимые условия управления ЖЦ СТС.

Вначале остановимся на четырех классических концепциях времени: субстанциальной и реляционной, статической и динамической [Анисов, 2001; Молчанов, 1990].

В рамках субстанциальной концепции время трактуется как особого рода субстанция, наряду с пространством, веществом и полем. Эта субстанция существует по своим собственным законам и не зависит от пространства, вещества и полей, оказывая со своей стороны существенное влияние на их бытие и движение. Время в этой концепции, с одной стороны, определяет длительность всех происходящих явлений, а с другой – упорядочивает

события, разделяя их на прошлые, настоящие и будущие.

Напротив, в реляционной концепции Лейбница время раскрывается как система отношений между событиями. Эта система априори не существует, а определяется свойствами взаимодействующих тел.

Согласно статической концепции времени, ассоциируемой с Ньютоном, события прошлого, настоящего и будущего существуют реально и в известном смысле одновременно; их разделение известно и зависит от выбора начальной точки отсчета и направления. Все моменты времени как точки временной шкалы являются равноправными и могут рассматриваться как совокупность данных; никакой момент времени не имеет каких-либо отличий или преимуществ по отношению к другим моментам. Однако время течет, т.е. его можно представить как «поток времени».

В русле динамической концепции времени как меры изменения, восходящей к Гераклиту и Аристотелю, реально существуют только события настоящего времени, т.е. особо выделяется настоящий момент времени «сейчас», отделяющий прошлое от будущего. Тогда события прошлого считаются уже не существующими, а события будущего – еще не наступившими. При этом время непрерывно течет: настоящее уходит в прошлое, а будущее становится настоящим. Эту концепцию времени подчас называют «воспринимаемым временем», поскольку оно отражает субъективное восприятие изменений, происходящих в нашем окружении. Здесь за основу берется отношение «предшествования-следования» или отношение «раньше-позже».

С легкой руки МакГаггарта модели времени, соответствующие статической и динамической концепциям, стали называть А-моделями и В-моделями соответственно.

Двумя наиболее известными метафорами времени являются «стрела времени» и «колесо времени». Эти метафоры характеризуют две геометрические интерпретации времени – линейное время и циклическое время. Наряду с трактовкой времени с помощью прямой линии существует также его представление как последовательности точек и концепция исторического времени, имеющего предысторию и последующую историю [Любинская, 2002]. Развитие компьютерных моделей стало предпосылкой появления новой концепции времени как ресурса.

В целом, мы разделяем позицию Д.А.Поспелова, который утверждает, что процесс разработки множества альтернативных моделей времени и соответствующих временных логик развивается аналогично появлению неклассических геометрий, таких как геометрии Лобачевского или Римана (см. [Кандрашина, 1989]). В этой связи мы не согласны с А.М.Анисовым, который считает, что примирить идеи цикла и порядка невозможно

[Анисов, 2001]. Линейная модель времени нередко может рассматриваться как фрагмент или локальная модель для общей циклической модели. Еще более ярким примером является сочетание идей цикла и порядка в спиральных моделях времени.

## 2. Наглядные представления жизненного цикла системы

### 2.1. Круговые модели жизненного цикла

Вначале будем представлять отдельные стадии ЖЦ в рамках теоретико-множественной модели как гранулы, полученные путем разбиения. Введем естественные обозначения стадий ЖЦ СТС:  $П$  – проектирование;  $Пр$  – производство;  $Э$  – эксплуатации,  $Р$  – рекуперация (Recycling). Тогда имеем, например,

$$ЖЦ_1 = П \cup Пр \cup Э, \quad П \cap Пр = \emptyset, \quad Пр \cap Э = \emptyset, \quad Э \cap П = \emptyset \quad (3)$$

или

$$ЖЦ_2 = Пр \cup Э \cup Р, \quad Пр \cap Э = \emptyset, \quad Э \cap Р = \emptyset, \quad Р \cap Пр = \emptyset \quad (4)$$

Структура ЖЦ<sub>2</sub> в (4) отражает «экологический императив» современного производства и тесно связана с концепцией «обращения ЖЦ» от стадии утилизации СТС к стадии ее создания [Kimura, 1996]. Первый вариант разбиения ЖЦ СТС в виде структуры ЖЦ<sub>1</sub> (3) можно изобразить в виде секторов круга (рисунок 4).

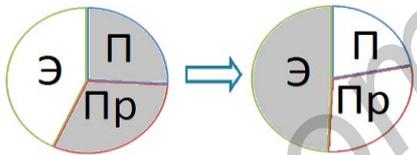


Рисунок 4 – Круговое представление жизненного цикла системы: иллюстрация идеи сокращения сроков проектирования и производства и продления периода эксплуатации системы

Одним из основных ресурсов управления жизненным циклом является время. Отличительной особенностью ЖЦ является гетерохронность, т.е. неравномерность, связанная с различием временных требований и критериев на разных стадиях. Так на стадии проектирования стремятся сократить сроки проектирования создаваемой системы, для чего применяют, например, стратегию совмещенного проектирования (Concurrent Design), но при этом также организуют проектирование, направленное на облегчение технического обслуживания (Design for Maintenance). Напротив, на стадии эксплуатации обычным критерием является увеличение периода эксплуатации системы, в том числе за счет большей детализации этапов данной стадии благодаря улучшению системы технического обслуживания и ремонта ТОиР.

Следует отметить, что представление ЖЦ как разбиения является весьма упрощенным и не

отражает имеющихся взаимосвязей, условий кооперации между стадиями, которые частично перекрываются, причем в этой области перекрытия реализуются важнейшие функции. Например, на пересечении  $Э$  и  $П$  формируется техническое задание на разрабатываемую систему, на стыке  $П$  и  $Пр$  разрабатываются технологии производства, а такие процессы как ТОиР предполагают взаимодействие специалистов из сфер эксплуатации и производства. Учет этих особенностей приводит к построению модели ЖЦ с нечеткими границами между его стадиями, т.е. грануляции ЖЦ на основе покрытия (рисунок 5). Здесь:

$$ЖЦ_1 = П \cup Пр \cup Э, \quad П \cap Пр \neq \emptyset, \quad Пр \cap Э \neq \emptyset, \quad Э \cap П \neq \emptyset \quad (5)$$

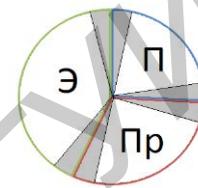


Рисунок 5 – Круговое представление ЖЦ на основе покрытия: наличие совместных работ на всех стадиях

### 2.2. Последовательные, инкрементальные и последовательно-параллельные модели

Классическая последовательная (водопадная) модель (рисунок 6) на основе ГОСТ 34.601-90 широко используется в проектно-конструкторской и производственной деятельности. В ней этапы идут один за другим: каждый следующий этап начинается только после окончания предыдущего этапа.

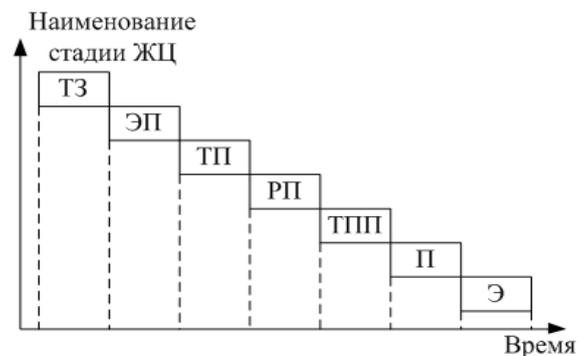


Рисунок 6 – Последовательная модель ЖЦ СТС (ТЗ – техническое задание; ЭП – эскизное проектирование; ТП – техническое проектирование; РП – рабочее проектирование; ТПП – технологическая подготовка производства; П – производство; Э – эксплуатация)

Главными преимуществами этой модели является простота и легкость ее понимания и использования, поскольку отсутствуют итерации и параллельно выполняемые задачи; она годится для небольших проектов и хорошо структурированного окружения. В то же время, данная модель плохо работает со сложными и долгосрочными проектами, а также при быстро меняющихся требованиях; она не поддерживает процедуры пересмотра для большого числа решений.

Инкрементальная модель также подразумевает линейную последовательность стадий ЖЦ, но предусматривает несколько инкрементов (версий) с запланированным улучшением продукции (рисунок 7). Достоинства и недостатки этой стратегии такие же, как и у классической (последовательной). Но в отличие от классической модели здесь заказчик может раньше увидеть результаты. Уже по результатам разработки и внедрения первой версии он может незначительно изменить требования к разработке, отказаться от нее или предложить создание более совершенного продукта с заключением нового договора.

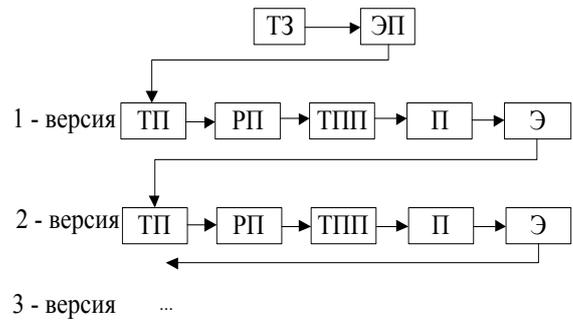


Рисунок 7 – Инкрементальная модель ЖЦ СТС

Последовательная и инкрементальная модели ЖЦ могут порой трактоваться как локальные фрагменты круговой модели

Таблица. Базовые временные отношения между этапами и стадиями жизненного цикла

Обозначения	Отношения и их инверсии	Иллюстрации	Примеры
$r_1$	Этап $a$ выполняется раньше (предшествует) этапу $b$		Этап рабочего проектирования предшествует техническому обслуживанию
$r_2$	Этап $b$ выполняется позже (следует за) этапом $a$		Этап технического обслуживания следует за рабочим проектированием
$r_3$	Этап $a$ непосредственно предшествует (прильпает к) этапу $b$		Этап эскизного проектирования непосредственно предшествует техническому проектированию
$r_4$	Этап $b$ непосредственно следует за этапом $a$		Этап технического проектирования непосредственно следует за эскизным проектированием
$r_5$	Этап $a$ частично пересекается с этапом $b$		Этап рабочего проектирования частично пересекается с этапом технологической подготовки производства
$r_6$	Этап $b$ частично пересекается с этапом $a$		Этап технологической подготовки производства частично пересекается с этапом рабочего проектирования
$r_7$	Этап $a$ лежит внутри стадии $s$		Этап технического обслуживания лежит внутри стадии эксплуатации
$r_8$	Стадия $s$ содержит этап $a$		Стадия эксплуатации содержит этап технического обслуживания
$r_9$	Этап $a$ лежит внутри стадии $s$ так, что их начальные точки совпадают		Этап подготовки технического задания лежит внутри стадий разработки, причем их начальные точки совпадают
$r_{10}$	Стадия $s$ содержит этап $a$ так, что их начальные точки совпадают		Стадии разработки содержат этап подготовки технического задания, причем их начальные точки совпадают
$r_{11}$	Этап $a$ лежит внутри стадии $s$ так, что их конечные точки совпадают		Этап снятия СТС с эксплуатации лежит внутри стадии эксплуатации, причем их конечные точки совпадают
$r_{12}$	Стадия $s$ содержит этап $a$ так, что их конечные точки совпадают		Стадия эксплуатации содержит этап снятия с эксплуатации, причем их конечные точки совпадают
$r_{13}$	Этап $a$ совпадает с этапом $b$		Этап детального проектирования совпадает с техническим и рабочим проектированием

Уменьшение сроков проектирования и производства в рамках ЖЦ СТС может быть достигнуто путем частичного запараллеливания отдельных этапов проектирования и производства (в русле совмещенной разработки) (рис.8).

В целом, моделирование связей между этапами и стадиями ЖЦ может опираться на базовые отношения между временными интервалами, лежащие в основе логики Аллена [Allen, 1983] (см. таблицу) и их расширения [Плесневич, 2003].

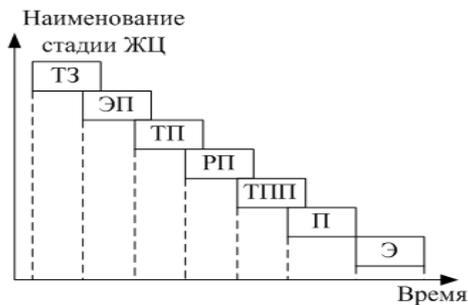


Рисунок 8 – Параллельно-последовательная модель ЖЦ СТС

В темпоральной логике Аллена в качестве временных примитивов используются интервалы. Здесь временной интервал  $a$  есть упорядоченная пара  $(a^-, a^+)$ , такая, что  $a^- < a^+$ , где  $a^-$  и  $a^+$  рассматриваются как моменты времени (например, на вещественной оси). Структура времени может быть любой (например, линейной или ветвящейся) в зависимости от конкретной ситуации (см. [Еремеев, 2003; Кандрашина, 1989]).

Интервальной интерпретацией называется функция, отображающая временной интервал на числовую ось. Множество базисных интервальных отношений временной логики Аллена определяется через отношения между концами интервалов (см. таблицу).

Взаимное усиление достоинств и компенсация недостатков линейной и круговой моделей в отдельности достигается путем их интеграции и построения синтетической, спиральной модели ЖЦ.

Линейная модель времени выражает такие свойства времени как течение, направленность, необратимость, тогда как круговая модель делает акцент на итеративность и ритмичности процессов на протяжении ЖЦ. Итеративный характер работ адекватно отражается с помощью спиральной модели. При этом обеспечивается возможность перехода на следующий этап ЖЦ, не дожидаясь окончания предыдущего этапа. Более того, недостающую работу можно выполнить на следующей итерации.

Наиболее известной спиральной моделью ЖЦ считается модель Б.Бозма [Boehm, 1986], которая предназначена для отображения жизненного цикла программного обеспечения (ЖЦ ПО) и предусматривает анализ рисков (рисунок 9).



Рисунок 9 – Спиральная модель ЖЦ Бозма

Отметим, что исторически более ранней и существенно более детальной была спиральная модель ЖЦ Л.А.Кашубы и В.Б.Тарасова. Она изложена в кандидатской диссертации последнего, защищенной в 1982г., но подробные публикации об этой модели появились лишь в 1990-х годах [Кашуба, 1998; Tarassov, 1994].

### 2.3. Спиральные представления жизненного цикла системы: формальные модели и их содержательный анализ

Рассмотрим формальную запись спиральной модели ЖЦ СТС. Спираль – это кривая, которая огибает некоторую центральную точку или ось, постепенно приближаясь или удаляясь от неё, в зависимости от направления обхода кривой [Савелов, 2010]. Спирали обычно описывают в полярных координатах.

Пусть  $M=(x,y)$  – произвольная точка плоскости, заданная своими декартовыми координатами. Поставим теперь в соответствие этой точке  $M$  два других числа – ее полярные координаты, а именно, число  $r$ , равное длине отрезка  $OM$ :  $r = l(OM)$ , и число  $\varphi$ , равное величине угла в радианах между положительной полуосью абсцисс и отрезком  $OM$ , причем угол отсчитывается в направлении против часовой стрелки (рисунок 10). В результате имеем  $M = (r, \varphi)$ , где число  $r$  называется радиусом точки  $M$ , а число  $\varphi$  – ее углом.

Спираль Архимеда (рисунок 10) есть плоская кривая, которую описывает точка, движущаяся равномерно-поступательно от центра  $O$  по равномерно вращающемуся радиусу. В полярных координатах уравнение Архимедовой спирали, положенной в основу модели ЖЦ [Tarassov, 1994] имеет вид

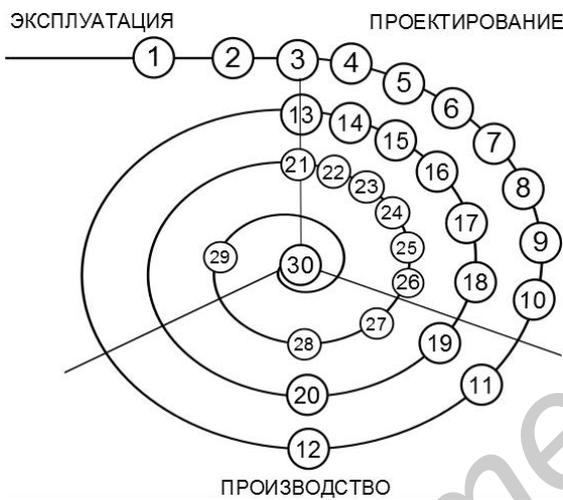
$$r = a\varphi + b \quad (6)$$

где  $a$  – параметр вращения спирали и  $b$  – характеристика расстояния между витками. Здесь возможна следующая интерпретация параметров спирали: угол  $\varphi$  – период времени, коэффициент  $a$  – производительность работ, коэффициент  $b$  – уровень грануляции, а  $r$  – состояние системы.

Главным недостатком спирали Архимеда (6) является равномерное расстояние между витками, что не позволяет отобразить такие явления как ускорение ЖЦ (уменьшение времени разработки) на его начальных этапах и замедление ЖЦ на стадии эксплуатации (продление сроков эксплуатации).

Более адекватным представлением ЖЦ видится логарифмическая спираль (рисунок 11), которая задается следующим уравнением в полярных координатах

$$r = \exp(a\varphi). \quad (7)$$



а

1. Формирование потребности в СТС.
2. Определение числа потенциальных потребителей, объема и стоимости производства.
3. Разработка технического задания (ТЗ).
- 4-7. Стадия проектирования: 4. Концептуальное проектирование (разработка и защита технического предложения). 5. Эскизное проектирование. 6. Техническое проектирование. 7. Рабочее проектирование.
- 8-10. Стадия технологической подготовки производства: 8. Разработка комплекта технологической документации. 9. Разработка конструкции технологического оснащения. 10. Разработка организационно-технической документации.
11. Изготовление технологического оснащения.
12. Изготовление опытного образца СТС.
13. Испытание опытного образца СТС.
- 14, 22. Корректировка технического проекта СТС.
- 15, 23. Корректировка рабочего проекта СТС.
- 16, 24. Корректировка документации по технологии изготовления СТС.
- 17, 25. Корректировка документации по оснастке.
- 18, 26. Корректировка организационно-технической документации.
19. Изготовление средств дооснащения.
20. Изготовление серийного образца СТС.
21. Испытание серийного образца СТС.
27. Модернизация дооснащения.
28. Изготовление партии заказанной СТС.
29. Использование СТС по назначению.
30. Утилизация СТС.

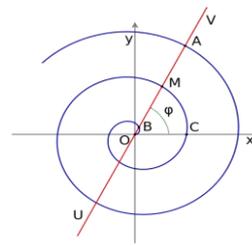


Рисунок 10 – Спираль Архимеда

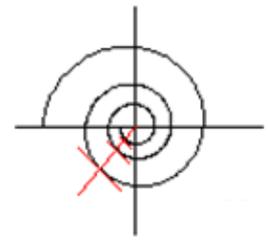
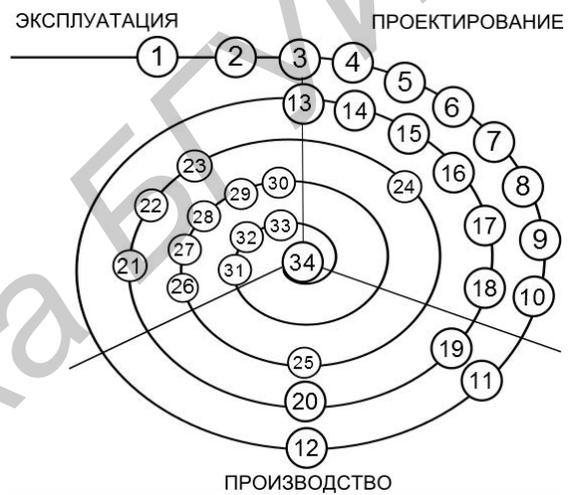


Рисунок 11 – Логарифмическая спираль

У логарифмической спирали (7) расстояние между витками изменяется, что обеспечивает возможность отображения эффектов нелинейности времени при различных вариантах развертывания ЖЦ (рисунок 11).



б

1. Формирование потребности в СТС.
2. Определение числа потенциальных потребителей, объема и стоимости производства.
3. Разработка технического задания (ТЗ).
- 4-7. Стадия проектирования: 4. Концептуальное проектирование (разработка и защита технического предложения). 5. Эскизное проектирование. 6. Техническое проектирование. 7. Рабочее проектирование.
- 8-10. Стадия технологической подготовки производства: 8. Разработка комплекта технологической документации. 9. Разработка конструкции технологического оснащения. 10. Разработка организационно-технической документации.
11. Изготовление технологического оснащения.
12. Изготовление опытного образца СТС.
13. Испытание опытного образца СТС.
14. Корректировка технического проекта СТС.
15. Корректировка рабочего проекта СТС.
16. Корректировка документации по технологии изготовления СТС.
17. Корректировка документации по оснастке.
18. Корректировка организационно-технической документации.
19. Изготовление средств дооснащения.
20. Серийное производство.
21. Транспортировка и хранение СТС.
22. Ввод в эксплуатацию.
23. Использование СТС в соответствии со служебным назначением.
24. Корректировка проекта в требуемом объеме.
25. Модернизация СТС.
26. Осмотры, диагностика СТС.
27. Гарантийное техническое обслуживание СТС.
28. Текущий ремонт СТС.
29. Применение СТС в соответствии со служебным назначением.
30. Периодическое ТО.
31. Капитальный ремонт.
32. Послегарантийное ТО.
33. Применение СТС в соответствии со служебным назначением.
34. Утилизация СТС.

Рисунок 12 – Спиральные модели жизненного цикла СТС с акцентом на задачу уменьшения сроков проектирования (а) и задачу обеспечения заданных сроков (увеличения сроков) эксплуатации (б)

В зависимости от целей моделирования степень детализации этапов на отдельных стадиях ЖЦ может различаться. Например, когда решается задача сокращения сроков проектирования, число этапов проектирования в спиральной модели может быть существенно больше, чем число этапов производства и эксплуатации. Напротив, если главное внимание уделяется обеспечению требуемого периода эксплуатации СТС, то в спиральной модели наиболее детально рассматривают этапы технического обслуживания и ремонта.

На рисунках 12 и 13 представлены модели ЖЦ СТС для этих двух случаев, где каждый виток спирали соответствует итерации жизненного цикла.

## Заключение

В настоящей работе рассмотрены как наглядные, так и абстрактные модели онтологий жизненного цикла сложной технической системы. Показано, что одним из важнейших аспектов обеспечения эффективности современных систем управления жизненным циклом СТС является управление знаниями, относящимися к ЖЦ, на базе онтологий. Следует отметить, что в отличие от проблематики жизненного цикла онтологий, по которой имеется немало публикаций в зарубежной и отечественной литературе, вопросы построения онтологий ЖЦ как на верхнем, так и на нижнем уровне, все еще остаются недостаточно изученными.

Дальнейшее направление наших работ связано с развитием методик грануляции ЖЦ и разработкой моделей гранулярных онтологий, а также с построением конструктивных интерпретаций параметров спиральных моделей в интересах формализации, расчета и оптимизации ключевых характеристик ЖЦ СТС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №11-07-00738-а и №14-07-00846).

## Библиографический список

- [Анисов, 2001] Анисов А.М. Свойства времени/ А.М.Анисов // Логические исследования. Вып.8. – М.: Наука, 2001. – С.5-24.
- [Валькман, 1998] Валькман, Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели. – Киев: Port-Royal, 1998.
- [Волкова, 2004] Волкова, В.Н. Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник / В.Н.Волкова, В.Н.Козлов. – М. Высшая школа, 2004.
- [Гаврилова, 2008] Гаврилова, Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем/ Т.А.Гаврилова // Новости искусственного интеллекта, 2003, №2, с.24-30.
- [Гаврилова, 2008] Гаврилова, Т.А. Визуальные методы работы со знаниями: попытка обзора / Т.А. Гаврилова, Н.А. Гулякина // Искусственный интеллект и принятие решений, 2008, № 1, с.15-21.
- [Еремеев, 2003] Еремеев, А.П. Методы представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / А.П.Еремеев, В.В.Троицкий // Известия РАН: Теория и системы управления, 2003, №5, с.75-88.
- [Кашуба, 1998] Кашуба, Л.А. Параллельное проектирование средствами CAE/CAD/CAM в жизненном цикле изделий

машиностроения/ Л.А. Кашуба // Программные продукты и системы, 1998, №3, с.24-30.

[Кандрашина, 1989] Кандрашина, Е.Ю. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах/ Е.Ю.Кандрашина, Л.В.Литвинцева, Д.А.Поспелов. – М.: Наука, 1989.

[Колчин, 2002] Колчин, А.Ф. Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Стрекалов, М.В. Овсянников, С.В. Сумароков. – М.: Анахарсис, 2002.

[Кудрявцев, 2010] Кудрявцев, Д.В. Системы управления знаниями и применение онтологий. – СПб: Изд-во Политехнического университета, 2010.

[Любинская, 2002] Любинская, Л.Н. Проблема времени в контексте междисциплинарных исследований/ Л.Н.Любинская, С.В.Лепилин. – М.: Прогресс-Традиция, 2002.

[Мартынов, 2001] Мартынов, В.В. Основы семантического кодирования. Опыт представления и преобразования знаний. – Мн.: Европейский гуманитарный университет, 2001.

[Молчанов, 1990] Молчанов, Ю.Б. Проблема времени в современной науке. – М.: Наука, 1990.

[Плесневич, 2003] Плесневич, Г.С. Дедукция в некоторых расширениях интервальной логики Аллена/ Г.С.Плесневич// Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов II-го международного научно-практического семинара (Коломна, 15-17 мая 2003г.) – М.: Физматлит, 2003. – С.83-92.

[Попов, 2001] Попов, Э.В. Корпоративные системы управления знаниями/ Э.В.Попов// Новости искусственного интеллекта, 2001, №1, с.14-25.

[Райзберг, 2007] Райзберг, Б.А. Жизненный цикл товара. Современный экономический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. / Б.А.Райзберг, Л.Ш.Лозовский, Е.Б. Стародубцева. – М.: ИНФРА-М, 2007.

[Савелов, 2010] Савелов, А.А. Плоские кривые: систематика, свойства, применения. Справочное руководство. Изд.3. – М.: Либроком, 2010.

[Спицнадель, 2000] Спицнадель, В.Н. Основы системного анализа: Учебное пособие. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000.

[Субетто, 1989] Субетто, А.И. Проблема цикличности развития. – Л.: ВИИ им. А.Ф. Можайского, 1989.

[Тарасов, 1998] Тарасов, В.Б. Концепция метаКИП: от компьютерно-интегрированного производства к Internet/Intranet-сетям предприятий/ В.Б.Тарасов// Программные продукты и системы, 1998, №3, с.19-22.

[Тарасов, 2006] Тарасов, В.Б. Развитие компьютерных средств управления предприятиями: системы четвертого поколения/ В.Б.Тарасов, Д.В.Черемисов// Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями. Сборник докладов 9-й Российской научно-практической конференции (Москва, 26-27 апреля 2006 г.). – М.: МЭСИ, 2006. – С.399-403.

[Тарасов, 2011] Тарасов, В.Б. Грануляция информации, нестандартные и гибридные нечеткие множества/ В.Б.Тарасов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник трудов VI-й Международной научно-практической конференции (ИММВ-2011, Коломна, 16-19 мая 2011 г.). – М.: Физматлит, 2011. – Т.1. – С.35-49.

[Тарасов, 2012] Тарасов, В.Б. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами/ В.Б.Тарасов, А.П.Калуцкая, М.Н.Святкина// Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы II-й международной научно-технической конференции (Минск, БГУИР, 16-18 февраля 2012 г.). – Минск: БГУИР, 2012. – С. 267-278.

[Allen, 1983] Allen, J.F. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals/ J.F.Allen// Communications of the ACM, 1983, vol.26, p. 832-843.

[Alting, 2006] Alting, L. Life Cycle Engineering and Management / L.Alting, M.Z.Hauschild, H.Wenzel // Sustainability in Manufacturing: Recovery of Resources in Product and Material Cycles. – Berlin: Springer Verlag, 2006. – P. 31-67.

[Boehm, 1986] Boehm, B. A Spiral Model of Software Development and Enhancement/ B.Boehm// ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 1986, vol.11, №4, p.14-24.

[Bralla, 1996] Bralla, J.G. Design for Excellence. – New York: McGraw-Hill, 1996.

[Euzenat, 2005] Euzenat J. Time Granularity// J.Euzenat, A.Montanari // Handbook of Temporal Reasoning in Artificial Intelligence/ Ed. by M.Fisher, D.Gabbay, L.Vila. – Amsterdam: Elsevier, 2005. – P.59-118.

[Gruber, 1993] Gruber, T.R. A Translation Approach to Portable Ontologies/ T.R.Gruber// Knowledge Acquisition, 1993, vol.5, №2, P.199-220.

[Guarino, 1995] Guarino, N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation/ N.Guarino// International Journal of Human-Computer Studies, 1995, vol.43, №5-6, p.625-640.

[Kimura, 1996] Kimura, F. Product Life Cycle Modeling for Inverse Manufacturing/ F.Kimura, H.Suzuki // Proceedings of IFIP WG 5.3 International Conference on Life Cycle Modeling for Innovative Products and Processes (PROLAMAT'95, November 29-December 1, 1995)/ Ed. by F.L. Krause, H. Hansen. – Berlin: Springer Verlag, 1996. – P.81-89.

[SAP ERP, 2008] SAP ERP. Построение эффективной системы управления: Пер. с англ. – М.: Альпина бизнес букс, 2008.

[Sowa, 1995] Sowa, J.F. Top-Level Ontological Categories/ J.F.Sowa// International Journal of Human-Computer Studies, 1995, vol.43, №5-6, p.669-685.

[Spur, 1996] Spur, G. Life Cycle Modeling as a Management Challenge/ G.Spur// Proceedings of IFIP WG 5.3 International Conference on Life Cycle Modeling for Innovative Products and Processes (PROLAMAT'95, November 29-December 1, 1995)/ Ed. by F.L. Krause, H. Hansen. – Berlin: Springer Verlag, 1996. – P.3-13.

[Stark, 2011] Stark, J. Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realization, 2<sup>nd</sup> ed. – London: Springer-Verlag, 2011.

[Tarassov, 1996] Tarassov, V.B. Some Theoretical Issues of Lifecycle Engineering/ V.B.Tarassov// Proceedings of IFIP WG 5.3 International Conference on Life Cycle Modeling for Innovative Products and Processes (PROLAMAT'95, November 29-December 1, 1995)/ Ed. by F.L.Krause, H.Hansen. – Berlin: Springer Verlag, 1996. – P.90-92.

[Tarassov, 1994] Tarassov, V.B. Concurrent Engineering and AI Methodologies: Opening New Frontiers/ V.B.Tarassov, L.A. Kashuba, N.A.Cherepanov // Proceedings of the IFIP International Conference on Feature Modeling and Recognition in Advanced CAD/CAM Systems. – Valenciennes, 1994. – Vol.2. – P. 869-888.

[Zadeh, 1997] Zadeh L.A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic/ L.A.Zadeh// Fuzzy Sets and Systems, 1997, vol.90, p. 111-127.

## LIFECYCLE ONTOLOGIES FOR COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Tarassov V.B. \*, Fedotova A.M. \*,  
Cherepanov N.V. \*\*

\**Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia*

**Vbulbov@yahoo.com**  
**afedotova@acm.org**

\*\**Lavochkin Corporation, Khimki,  
Moscow Region, Russia*

**nv137@yandex.ru**

Some problems of Product Lifecycle Management for a Complex Technical System are faced. An ontological approach to lifecycle analysis and modeling is proposed. A system of both visual and abstract lifecycle models is built. A special attention is paid to the problems of constructing granular ontologies and spiral lifecycle models

**Keywords:** knowledge representation, knowledge management, meta-model, ontology, meta-ontology, granulation, lifecycle

## Introduction

The paper is devoted to the problems of lifecycle analysis and modeling for complex technical systems. The lifecycle includes the stages of design, production and use. A new approach to representing and integrating lifecycle knowledge based on ontological modeling and information granulation techniques is suggested.

## Main Part

Some ontological problems of lifecycle management for complex technical systems are considered. By a complex technical system we mean artificial system that includes a great number of heterogeneous elements and subsystems possessing a considerable variety of internal links and sophisticated structure. Such systems have a plurality of possible working states and graduated faulty states (here the fault of some elements decreases the efficiency of the whole system but not necessarily brings about complete systems's breakdown). Typical examples of complex technical systems are modern ships, aircrafts, spaceships, orbital observatories. As a rule such complex systems are an intrinsic part of even more sophisticated socio-technical systems.

Product Lifecycle Management is the process of managing the entire lifecycle of a product from its conception, through design and manufacture, to service, disposal and dismantling. It integrates data, processes, personnel and organizations to provide a product information backbone for modern computer integrated (in particular, virtual and extended) enterprises. Three core aspects of PLM are:

Universal, secure, managed access and use of product definition information;

Maintaining the integrity of product-related information throughout the life of the product or plant;

Managing and maintaining various processes used to create, manage, disseminate, share and apply product-related information.

The concept of lifecycle represents a basic implementation of systemic approach to complex technical objects that consists in visualizing their state changes for a temporal interval. By the end of XX<sup>th</sup> century-the beginning of XXI<sup>st</sup> century the notion of lifecycle has become wider. Now it also encompasses the stage of recycling that underlies the idea of lifecycle conversion.

Product Lifecycle Engineering consists in using modern information/ communication infrastructure to design, simulate and integrate various stages of product lifecycle. Its main goal is to construct an overall vision of the product lifecycle by using modern modelling and simulation techniques and tools in the framework of virtual engineering. Nowadays lifecycle engineering is seen as a basis for enterprise integration; it encompasses such aspects as lifecycle simultaneous engineering, lifecycle knowledge (meta-knowledge) engineering and lifecycle uncertainty/vagueness management. Lifecycle knowledge engineering includes both visual representation of lifecycle structure and resource (in particular, time) optimization between lifecycle stages and phases, for instance, the decrease of design time and the increase of exploitation time.

Our ontological approach to lifecycle knowledge engineering supposes the construction of both visual and formal models of lifecycle ontologies. Here formal models are based on Maltsev's concept of algebraic system, whereas visual representations encompass linear, circular and spiral models.

In this paper the main attention is paid to lifecycle ontology viewed as higher order ontology together with granular meta-ontology.

The term meta-ontology means «ontology over ontologies». Meta-ontology provides us with both appropriate mathematical specification of ontology and necessary tools for representing and merging various ontologies. Here granular meta-ontology is of primary concern; it is based on such concepts as granule, level, hierarchy, relations between levels.

Today granule may be seen as a basic object of mereology – the theory of parthood relations: both «part to whole» and «part to part within a whole» relations. Generally, granule can be viewed as a subset of a set. A more restricted definition was suggested by L.A.Zadeh: granule is a collection of objects which are drawn together by indistinguishability, similarity, proximity or functionality. Granules are investigated at a particular level that specifies the degree of abstraction or precision. Different levels focus on different, though related, types of granules. Levels are connected through an order relation. A family of ordered levels forms a hierarchy. Such a hierarchy represents different levels of granularity; by selecting these levels we can obtain different layers of knowledge.

Any granular meta-ontology supposes the consideration of basic notions of the lower ontologies on various abstraction levels. In case of system's lifecycle the basic notions are lifecycle stages and phases. Here lifecycle stages are usually divided into lifecycle phases, where each phase corresponds to a specific system's state. So the stage is viewed as a coarse-grained lifecycle object, whereas the phase is a fine-grained object.

Generally, lifecycle granulation supposes the consideration of such problems as: 1) definition of basic granulation principles and criteria; 2) classification and interpretation of lifecycle granules; 3) analysis of lifecycle granulation approaches and techniques; 4) development of formal granular lifecycle models; 5) construction of mappings between various granularity levels; 6) specification of quantitative parameters of both lifecycle granules and granulation process itself.

It is worth stressing that it does not exist an optimal granulation level; granule sizes are problem-oriented and depend on investigation context. Some lifecycle phases can be considered in a more detailed way and other – less thoroughly, with taking into account modeling objectives. We also envisage lifecycle representations with various abstraction degrees: a) rather simple circular representation based on either partition or covering; b) more sophisticated spiral representations showing interrelations between lifecycle phases, as well as between its phases and stages.

Besides, lifecycle ontology seen as top-level ontology is representable by a mind map. Here such ontology characteristics as its goal, role, language, basic relations and representation form are of special concern.

Basic time theories are mentioned in the context of

lifecycle modeling: substantial and relational, static and dynamic, pointwise and interval time. Our approach is based on relational time model and interval time primitives. We take well-known Allen's temporal logic relations to model the links between lifecycle phases (or lifecycle stages and phases). These are basically two types of relations: consequence and overlapping relations.

Two time metaphors – «time wheel» and «time arrow» – bring about lifecycle circular and consequent models respectively. On the one hand, consequent linear models express such time properties as course, ordering facility, irreversibility. On the other hand, circular time models make emphasis on alternations, reiterations, rhythms, self-sustaining processes. In our paper, we try to reconcile these opposite models by constructing and analyzing spiral lifecycle models.

Let us recall that in polar coordinates each point on a plane is determined by a distance from a fixed point  $r$ ,  $r \geq 0$  and an angle  $\varphi \in [-\pi, +\pi]$  from a fixed direction:  $M = (r, \varphi)$ . A spiral is a curve that winds around a fixed center point at a continuously increasing or decreasing distance from the point. In our paper we consider two spirals – Archimedean spiral and logarithmic spiral. The first one is the locus of points corresponding to the locations over time of a point moving away from a fixed point with a constant speed along a line which rotates with constant angular velocity. It is given by the equation  $r = a + b\varphi$ , where changing the parameter  $a$  will turn the spiral, while  $b$  controls the distance between successive turnings. In the context of lifecycle we interpret these spiral parameters in the following way:  $\varphi$  is the time interval,  $a$  is the productivity index,  $b$  is the level and  $r$  is system's state.

The Archimedean spiral has the property that any ray from the origin intersects successive turnings of the spiral in points with a constant separation distance. Hence, such lifecycle features as time acceleration on early phases of lifecycle (for instance, decrease of design time) or time deceleration on later phases (increase of exploitation period) cannot be taken into account by using the Archimedean spiral.

In contrast to this, in a logarithmic spiral these distances, as well as the distances of the intersection points measured from the origin, form a geometric progression.

In the paper we give two spiral representations of system's lifecycle: the first one is oriented to the design for  $X$  concept and the second one helps to ensure a required exploitation period by a more detailed consideration of maintenance procedures.

## Conclusion

A very important way of enabling the effectiveness of modern PLM systems consists in implementing lifecycle knowledge management on the basis of ontological approach. To differ from the rather popular topic of ontology lifecycle the problems of ontological consideration of complex system's lifecycle are still not sufficiently studied.

Our future work will be related to the analysis of lifecycle granulation techniques and further development of basic indices for granular ontologies.