

Федотова Алена Валериевна

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Соискатель, инженер
Fedotova Alena Valerievna
Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)
PhD Candidate, engineer
E-Mail: afedotova@acm.org

Тарасов Валерий Борисович

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Доцент
Кандидат технических наук
Tarassov Valery Borissovich
Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)
Associated professor
E-Mail: tarasov@rk9.bmstu.ru

Ветров Александр Николаевич

Тверской государственный технический университет (ТвГТУ)
Профессор
Кандидат технических наук
Vetrov Alexander Nikolaevich
Tver State Technical University (TSTU)
Professor
E-Mail: vetrov_48@mail.ru

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
05.13.12 – Системы автоматизации проектирования
09.00.08 – Философия науки и техники

Грануляция информации при моделировании жизненного цикла сложных технических систем

Information Granulation in Life Cycle Modeling for Complex Technical Systems

Аннотация: Предложен новый подход к представлению знаний о *жизненном цикле (ЖЦ) сложной технической системы (СТС)*, опирающийся на онтологическое моделирование и теорию грануляции информации. Рассмотрены онтологические аспекты ЖЦ СТС, введены понятия онтологии жизненного цикла и гранулярной метаонтологии, предложены варианты грануляции ЖЦ СТС. Дан обзор наглядных графических моделей ЖЦ. Построены оригинальные символные и графические модели ЖЦ СТС, в том числе алгебраическая и реляционная модели ЖЦ, а также графические представления в виде ментальной карты, круговых диаграмм и спиральных моделей. Прослежены связи между стадиями и этапами ЖЦ, в особенности, между стадиями проектирования и эксплуатации (включая этапы технического обслуживания). Описаны особенности стратегии проектирования для технического обслуживания.

Abstract: A new approach to representing knowledge about Life Cycle of complex technical system based on ontological modeling and information granulation theory is proposed. Some ontological aspects of system's life cycle are considered, the concepts of life cycle ontology and granular meta-ontology are introduced, possible ways of life cycle granulation are suggested. A review of life cycle visual representations is given. A few original life cycle symbolic and graphical models are constructed, including algebraic and relational models, as well as graphical representations by mind map, circular diagrams and spiral models. Some important relationships between life cycle stages and phases are revealed, in particular, between design and maintenance stages. Main peculiarities of Design for Maintenance strategy are discussed.

Ключевые слова: Жизненный цикл, сложная техническая система, стадия жизненного цикла, модель жизненного цикла, онтология, метаонтология, гранула, грануляция информации, техническое обслуживание и ремонт.

Keywords: Life cycle, complex technical system, life cycle stage, life cycle model, ontology, meta-ontology, granule, information granulation, maintenance and repair.

Введение

Понятие «жизненный цикл» и модели *жизненных циклов (ЖЦ)* для различных классов естественных и искусственных систем являются одними из важнейших объектов науковедения как «науки о науке». В то же время различные по содержанию и структуре жизненные циклы изучаются в конкретных научных областях. В частности, в современном маркетинге одной из фундаментальных концепций является представление о жизненном цикле товара – периода времени, в течение которого товар обращается на рынке, начиная с момента его выхода на рынок и заканчивая его уходом с рынка. Соответственно, выделяют такие этапы ЖЦ товара как его выведение на рынок, этап роста, этап зрелости, этап спада и ухода с рынка [7].

Настоящая работа посвящена проблемам анализа и моделирования жизненного цикла *сложных технических систем (СТС)*, включающего стадии их проектирования, производства и эксплуатации [1, 6, 26, 27]. Под СТС понимаются искусственные системы, состоящие из большого числа неоднородных элементов и подсистем, которые отличаются значительным разнообразием внутренних связей и разветвленной структурой. Для них также характерна множественность возможных состояний, а также наличие градаций 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 самолеты, корабли, орбитальные станции и т.п. Обычно подобные системы входят в состав еще более сложных человеко-технических комплексов.

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 СТС), а за конец – снятие СТС с эксплуатации (утилизацию). Концепция жизненного цикла представляет собой основной вариант реализации системного подхода к сложным техническим объектам, направленный на отображение изменений состояния 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.

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 [9,10]. 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) [16,17], 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 [28].

В работе предлагается новый подход к представлению знаний о жизненном цикле, опирающийся на онтологическое моделирование и теорию грануляции информации. Она выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №11-07-00738-а.

1. Онтология жизненного цикла системы

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.Грубелю, онтологию определяют как «спецификацию разделяемой разными людьми концептуализации» [21], 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 [22]. 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. Для классификации онтологий берут такие основания как цель создания, степень общности, содержимое. Онтологии бывают простыми и многоуровневыми, легкими и весомыми, статическими и динамическими (когда их компоненты явно зависят от времени). Обычно их представляют в виде деревьев – связанных ациклических ориентированных графов. В дереве только одна вершина (корень) не имеет входящих дуг, а все остальные вершины имеют по одной входящей дуге. По теореме Кэли о числе деревьев, для n понятий существует n^{n-2} варианта построения онтологий.

В настоящей разделе вводится понятие «онтология жизненного цикла системы», которая интерпретируется как онтология верхнего уровня, тесно связанная с временными онтологиями [3, 4] и опирающаяся на гранулярную метаонтологию [13]. Согласно Дж.Сова [25], онтологии верхнего уровня описывают наиболее общие, парадигматические концептуализации систем, используемые в разных предметных областях, формируя базовую систему понятий для онтологий нижнего уровня.

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 типом имеющейся информации (уровнем неопределенности) и выбираемым языком описания СТС.

Ниже в контексте моделирования ЖЦ будут использованы как классические сингулярные метаонтологии, которым соответствуют обычные ориентированные графы и деревья, так и гранулярные метаонтологии с интервальными примитивами.

Гранулярные метаонтологии предполагают рассмотрение базовых понятий нижележащей онтологии на различных уровнях абстрактности. В случае онтологий ЖЦ СТС такими базовыми понятиями являются этапы и стадии жизненного цикла. Жизненный цикл охватывает ряд стадий, которые представляют собой наиболее крупные его периоды, а стадии ЖЦ разбиваются на отдельные этапы. Эти этапы обычно связывают с основными контрольными точками (или интервалами) изменений СТС на протяжении ее жизни.

Удобным и наглядным средством визуализации онтологии являются ментальные карты (см.[2]). Основная идея использования ментальных карт заключается в автоматизированном преобразовании фрагментов текстового (последовательного) изложения в графическую (наглядно-образную) форму. Ментальная карта обладает следующими отличительными чертами: а) ее структура имеет форму куста; б) объект изучения сфокусирован в центре изображения (фокус внимания); в) основные темы, связанные с объектом изучения, расходятся от центра в виде ветвей, которые поясняются ключевыми словами; г) вторичные идеи также ветвятся; д) ветви формируют связную узловую структуру. На рис.1 приведен пример ментальной карты для онтологии ЖЦ СТС.

Введем формальное представление динамической онтологии жизненного цикла ONT_{LC} сложной технической системы с помощью модифицированной алгебраической системы (по А.И.Мальцеву), т.е. четверки

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

где C – множество понятий, связанных с ЖЦ, R – множество отношений между этими понятиями, O – множество операций над понятиями и/или отношениями, T – множество временных параметров, используемых на протяжении ЖЦ.

В качестве ядра ONT_{LC} в (1) можно взять тройку $ONT_S = \langle S, R_s, O_s \rangle$, где S – множество стадий (этапов) ЖЦ, R_s – множество связей между этими стадиями (этапами), O_s – множество операций, применяемых на стадиях (этапах) ЖЦ. В частном случае, имеем $ONT_{S1} = \langle S, < \rangle$, где $<$ есть отношение строгого линейного порядка, т.е. нереклексивное, асимметричное, транзитивное и полное отношение.

Следует отметить, что ONT_{S1} можно свести к теоретико-автоматной модели, выражаемой парой «множество состояний СТС – множество переходов между этими состояниями». Тогда ЖЦ СТС может пониматься как упорядоченное множество ее состояний – от начального до конечного состояния. В контексте ЖЦ вполне уместна аристотелева трактовка времени как меры изменения состояния СТС, рассматриваемая на базе отношения «предшествования-следования» (т.е. в терминах «раньше-позже»).

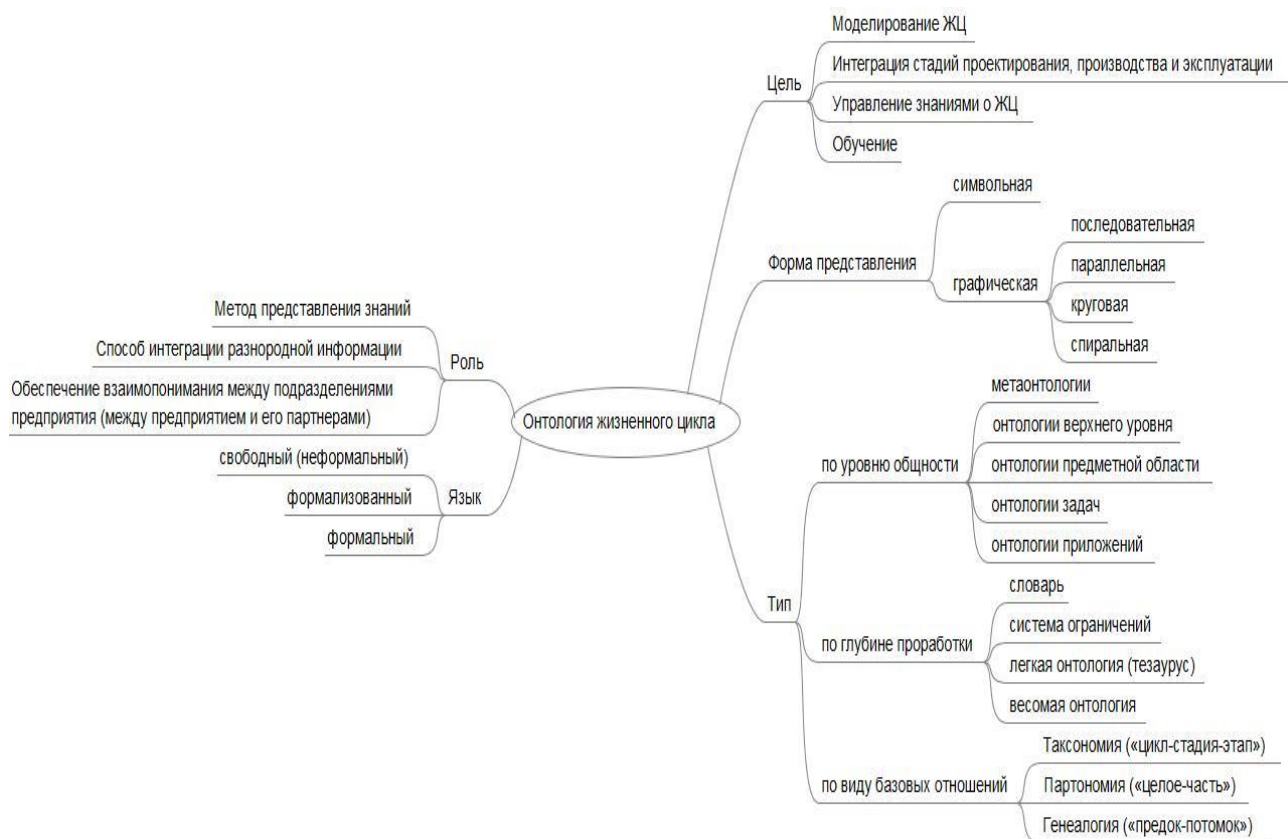


Рис. 1. Онтология жизненного цикла: представление с помощью ментальной карты

2. Варианты грануляции жизненного цикла сложной технической системы

Грануляция как способность представления и оперирования информацией и знаниями на различных уровнях абстрагирования-конкретизации представляет собой одну из ключевых характеристик познания мира человеком [13]. Она предполагает формирование целостных динамических зернистых структур – гранул (от латинского слова *granum*, означающего «зерно»), предназначенных для достижения поставленных целей. Теория грануляции включает построение, интерпретацию и формальное представление гранул; ее объектами помимо гранул являются уровни, иерархии, гранулярные структуры и соотношения между ними.

Типичные содержательные интерпретации гранул – часть целого, подзадача задачи, единица знания, степень неопределенности, обобщенное ограничение [29]. Согласно первой трактовке, гранулы выступают как базовый объект мереологии – теории частей и границ, опирающейся на отношение вложенности. В моделях жизненного цикла в качестве гранул выступают интервалы, соответствующие этапам и стадиям ЖЦ. Здесь этапы ЖЦ являются мелкозернистыми гранулами, включенными в стадии ЖЦ (крупнозернистые гранулы). При этом между этапами и стадиями нет четких границ: этапы, рассматриваемые на более детальном уровне анализа ЖЦ, могут становиться стадиями на более абстрактном уровне, и наоборот.

Следует отметить, что не существует оптимального уровня грануляции ЖЦ на отдельные этапы: размеры гранул являются проблемно-ориентированными и зависят от контекста исследования. Так в [12] введена трехмерная система жизненных циклов «ЖЦ продукта – ЖЦ процесса – ЖЦ предприятия» и предложены варианты ее грануляции. В зависимости от целей моделирования одни стадии ЖЦ могут быть представлены более

детально, а другие – менее подробно [1]. Ниже 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.

Вначале будем представлять отдельные стадии жизненного цикла 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,

$$ЖЦ_1 = П \cup Пр \cup Э, \quad П \cap Пр = Пр \cap Э = Э \cap П = \emptyset \quad (2)$$

$$\text{или } ЖЦ_2 = Пр \cup Э \cup Р, \quad П \cap Пр = Пр \cap Э = Э \cap Р = Р \cap П = \emptyset.$$

Здесь структура $ЖЦ_2$ отражает «экологический императив» современного производства и тесно связана с концепцией «обращения ЖЦ» от стадии утилизации СТС к стадии ее создания [24]. В то же время первый вариант разбиения ЖЦ СТС в виде структуры $ЖЦ_1$ (2) можно изобразить в виде секторов круга (рис.2).

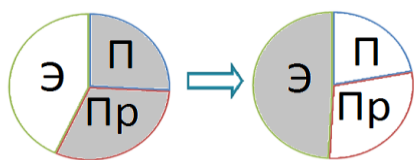


Рис. 2. Круговое представление ЖЦ на основе разбиения: иллюстрация идеи сокращения сроков проектирования и производства и продления срока эксплуатации системы

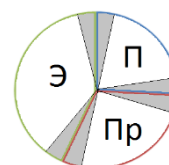


Рис.3. Круговое представление ЖЦ на основе покрытия: наличие совместных работ на всех стадиях

Одним из основных ресурсов управления ЖЦ 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 может использоваться, например, стратегия 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 стадии благодаря усовершенствованию системы технического обслуживания и ремонта. Следует отметить, что расходы на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) являются наиболее предсказуемой и управляемой составляющей общих расходов на эксплуатацию, причем ее величина может колебаться от 10% до 50% в зависимости от совершенства действующей системы технической эксплуатации.

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 стадий $Э$ и $П$ формируется техническое задание на разрабатываемую систему, на стыке $П$ и $Пр$ разрабатываются технологии производства, а такие процессы как техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) предполагает 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 (рис.3). Здесь $П \cap Пр \neq \emptyset$, $Пр \cap Э \neq \emptyset$, $Э \cap П \neq \emptyset$.

3. Краткий обзор существующих моделей жизненного цикла технических систем

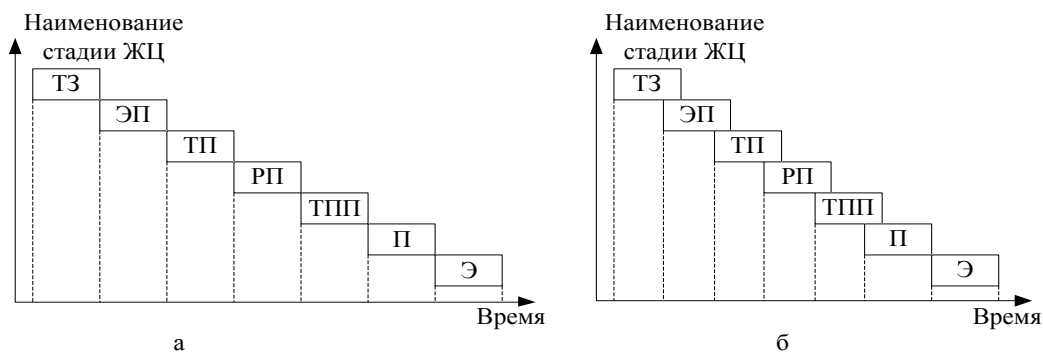
Модель жизненного цикла системы позволяет определить базовую структуру, объединяющую все этапы, работы и процессы, встречающиеся на протяжении ЖЦ. Она зависит от объема проекта, требований к технической системе, условий окружающей среды.

На сегодняшний день существует множество моделей и диаграмм, отображающих этапы и стадии жизненного цикла изделия. При этом две знаменитые метафоры времени – «колесо времени» и «стрела времени» – привели к появлению двух, на первый взгляд, противоречащих друг другу моделей ЖЦ – линейной и круговой.

Рассмотрим последовательную, последовательно-параллельную, инкрементальную и спиральную модели ЖЦ. Классическая последовательная (водопадная) модель (рис.4а), опирающаяся на ГОСТ 34.601-90, широко используется в проектно-конструкторской и производственной деятельности. В ней этапы идут один за другим: каждый этап начинается только после окончания предыдущего этапа.

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

Уменьшение сроков проектирования и производства в рамках ЖЦ СТС может быть достигнуто благодаря частичному запараллеливанию отдельных этапов проектирования и производства (в русле совмещенной разработки) (рис.4б) [23]. В целом, моделирование связей между этапами и стадиями ЖЦ СТС может опираться на базовые отношения между временными интервалами, лежащие в основе логики Аллена [15] (см. таблицу).



ТЗ – техническое задание; ЭП – эскизное проектирование; ТП – техническое проектирование; РП – рабочее проектирование; ТПП – технологическая подготовка производства; П – производство; Э – эксплуатация

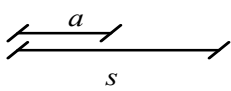
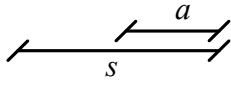
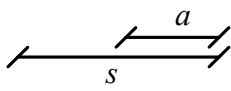
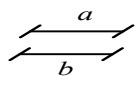
Рис.

4. Последовательная (а) и параллельно-последовательная (б) модели ЖЦ СТС

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 (примыкает 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

Инкрементальная модель также подразумевает линейную последовательность стадий ЖЦ, но предусматривает несколько инкрементов (версий) с запланированным улучшением продукции (рис.5). 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 разработку более совершенного продукта с заключением нового договора.

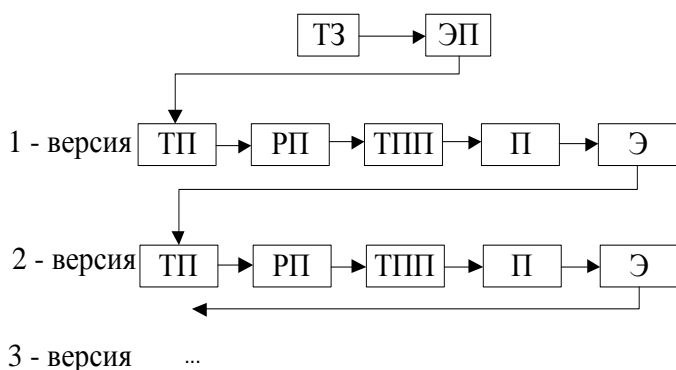


Рис. 5. Инкрементальная модель ЖЦ СТС



Рис. 6. Спиральная модель ЖЦ ПО Бозма

С одной стороны, последовательная и инкрементальная модели ЖЦ могут порой трактоваться как локальные фрагменты круговой модели. С другой стороны, усиление достоинств и компенсация недостатков линейной и круговой моделей в отдельности достигается путем их интеграции и построения синтетической, спиральной модели ЖЦ. Итеративный характер процессов и работ на протяжении ЖЦ СТС 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 [18], появившаяся в 1986г.: она предназначена для отображения жизненного цикла программного обеспечения (ЖЦ ПО) и предусматривает анализ рисков (рис.6). Необходимо отметить, что исторически более ранней и существенно более детальной была спиральная модель ЖЦ, введенная Л.А.Кашубой и В.Б.Тарасовым. Она подробно изложена в кандидатской диссертации последнего, защищенной в 1982г., однако подробные публикации об этой модели появились лишь в 1990-х годах [5, 29].

4. Спиральные представления жизненного цикла: формальные модели и содержательный анализ

Рассмотрим формальное представление 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 [8]. 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 φ , равное величине угла в радианах между положительной полуосью абсцисс и отрезком OM , причем угол отсчитывается в направлении против часовой стрелки (рис.7). В результате имеем $M = (r, \varphi)$, где число r называется радиусом точки M , а число φ – ее углом.

Спираль Архимеда (рис.7) 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 [29], имеет вид

$$r = a\varphi + b, \quad (3)$$

где a – параметр вращения спирали и b – характеристика расстояния между витками.

Главным недостатком спирали Архимеда (3) является равномерное расстояние между витками, что не позволяет отобразить такие явления как ускорение ЖЦ (уменьшение времени) на его начальных этапах и замедление ЖЦ на стадии эксплуатации (продление сроков эксплуатации).

Более адекватным представлением ЖЦ видится логарифмическая спираль (рис.8), которая задается следующим уравнением в полярных координатах

$$r = \exp(a\varphi), \quad (4)$$

У логарифмической спирали (4) расстояние между витками изменяется, что обеспечивает возможность отображения эффектов нелинейности времени в ЖЦ.

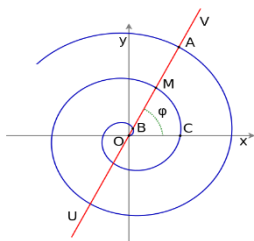


Рис. 7. Спираль Архимеда

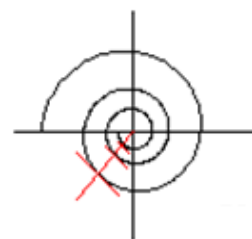


Рис. 8. Логарифмическая спираль

На рис.9 представлена модель ЖЦ СТС Л.А.Кашубы [29], где каждый виток спирали соответствует итерации жизненного цикла. Основная цель ее создания заключалась не столько в интеграции различных стадий ЖЦ, сколько в детальном анализе стадий проектирования и связей между ними в интересах сокращения сроков проектирования. Поэтому в ней слабо представлены работы на стадии производства и практически отсутствует описание стадии эксплуатации. В настоящей работе мы стремимся модифицировать исходную спиральную модель (с большим вниманием к стадии эксплуатации СТС), а также отобразить в ее структуре требования сокращения сроков проектирования и производства и увеличения периода эксплуатации (в частности, благодаря планированию и организации технического обслуживания и ремонта).

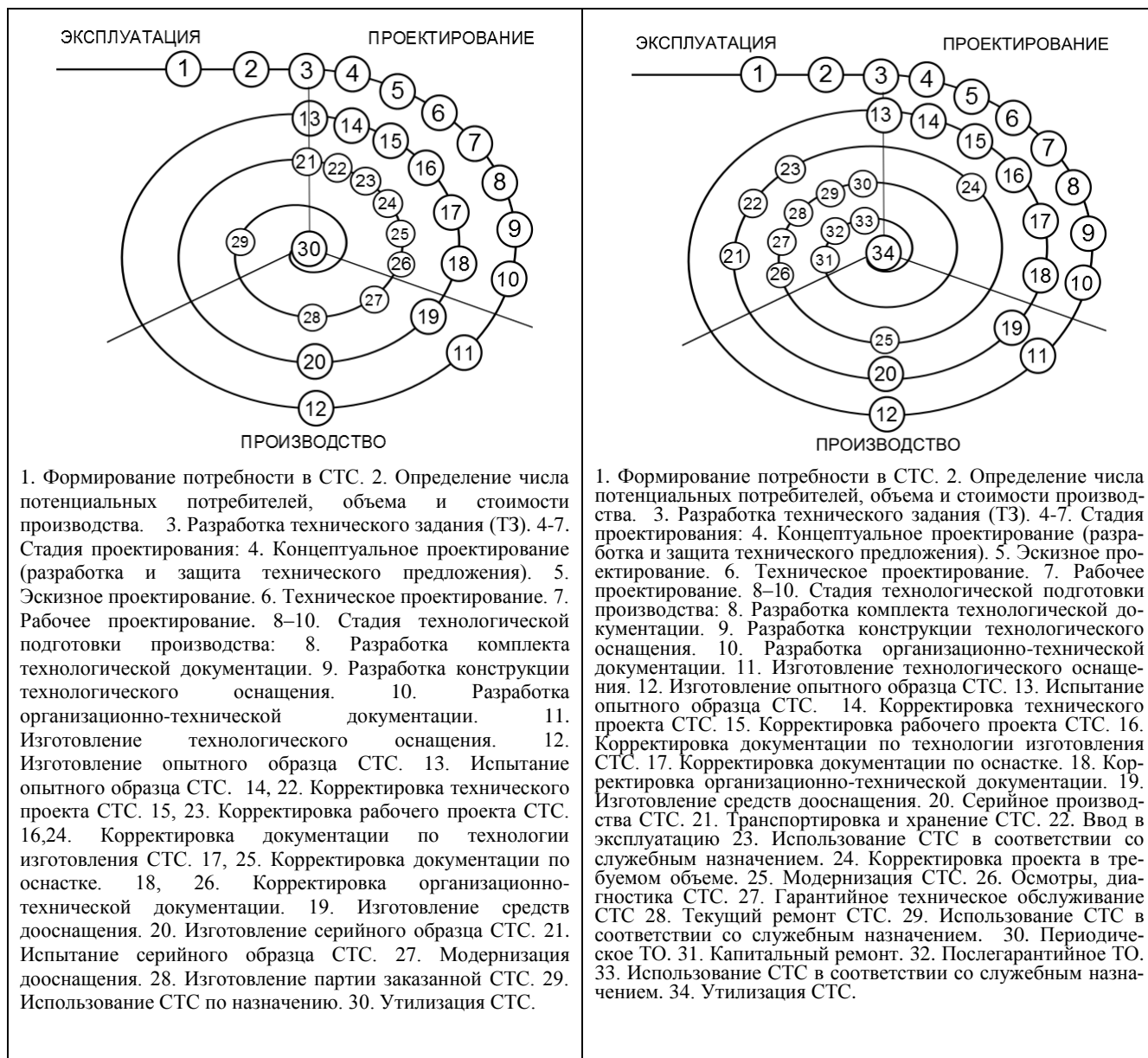


Рис. 9. Спиральная модель ЖЦ СТС Кашубы и вариант ее развития с большим акцентом на стадию эксплуатации (этапы потребления, сопровождения, мониторинга, технического обслуживания и ремонта, утилизации)

В настоящей работе мы стремимся модифицировать исходную спиральную модель (с большим вниманием к стадии эксплуатации СТС), а также отобразить в ее структуре требования сокращения сроков проектирования и производства и увеличения периода

эксплуатации (в частности, благодаря итерациям этапов технического обслуживания и ремонта, а также более тщательному их планированию).

Согласно ГОСТ 25866-83, эксплуатация есть стадия ЖЦ СТС, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество. Она включает этапы транспортировки и хранения СТС, ее ввода в эксплуатацию и использования по назначению, технического обслуживания и ремонта. Остановимся подробнее на двух последних этапах.

Техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) – это комплекс операций по поддержанию и восстановлению работоспособности или исправности СТС в процессе ее эксплуатации. Виды технического обслуживания (ремонта) выделяются по таким признакам как этап существования, объем работ, периодичность, условия эксплуатации, и пр. Прежде всего, существуют гарантийное и послегарантийное ТО. Состав работ по техническому обслуживанию включает в себя: периодическое ТО, оперативное ТО, специальное ТО, ТО при хранении, контрольно-восстановительные работы, неплановые работы. Планирование работ по техническому обслуживанию и ремонту осуществляется следующим образом: по событию, регламентное обслуживание, по состоянию. В свою очередь, ремонтные работы подразделяются на текущий ремонт и капитальный ремонт.

Основными параметрами, характеризующими совершенство системы ТОиР, являются объем и периодичность выполнения работ по техническому обслуживанию, оказывающие прямое влияние на эксплуатационные расходы и продолжительность эксплуатации СТС.

Авторами уделяется основное внимание аспектам периодического технического обслуживания СТС, выполняемого в соответствии с установленными в эксплуатационной документации интервалами времени.

5. Проектирование для технического обслуживания

Настоящий раздел посвящен анализу взаимосвязей между различными стадиями жизненного цикла, возникших сравнительно недавно. Поскольку общие издержки по ЖЦ СТС в основном формируются на стадии проектирования, в последние два десятилетия появились и активно развиваются новые инженерные стратегии, принципы и правила, направленные на сокращение этих издержек. Это достигается путем предварительной проработки на начальных стадиях ЖЦ СТС (а именно, на этапах проектирования) важнейших аспектов ее производства и эксплуатации, обычно затрагиваемых только на более поздних стадиях жизненного цикла. Такие новые стратегии объединяются термином «Проектирование для X» (Design for X) [19], где под X понимаются любые стадии и этапы ЖЦ, следующие за проектированием. Например, «проектирование для производства» (Design for Manufacturing), «проектирование для сборки» (Design for Assembly) или «проектирование для рекуперации СТС» (Design for Recycling). Среди этих стратегий важное место занимает «проектирование для технического обслуживания» (Design for Maintenance) – свод принципов и правил разработки СТС, направленных на обеспечение простоты ее технического обслуживания и ремонта, а также уменьшение их стоимости [20]. По сути, речь идет о проектировании эксплуатационной надежности будущей системы на начальных стадиях ее ЖЦ.

Под надежностью СТС понимается ее способность сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих выполнение требуемых функций в заданных условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки. Этот термин принято употреблять в узком и широком смыслах. Интуитивно надёжность связывают с недопустимостью отказов в работе. Это и есть понимание надёжности в «узком» смысле как свойства объекта сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Очевидно, что надежность тесно

связана с различными сторонами процесса эксплуатации. Надёжность в «широком» смысле есть комплексное свойство, которое в зависимости от назначения СТС и условий ее эксплуатации может включать в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, а также определённое сочетание этих свойств. Соответственно для количественной оценки надёжности используют как единичные показатели (характеризующие только одно свойство надёжности), так и комплексные показатели (характеризующие несколько свойств надёжности).

В русле технического обслуживания повышенное внимание уделяется свойству ремонтпригодности (Design for Maintainability), т.е. приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путём технического обслуживания и ремонта. Иными словами, должна обеспечиваться простота, лёгкость и удобность разборки и сборки компонентов и подсистем СТС руками или с минимальным набором инструментов. Ключевыми показателями ремонтпригодности являются вероятность восстановления работоспособного состояния и среднее время восстановления.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы теории жизненного цикла сложных технических систем. Введены понятия онтологии жизненного цикла, рассматриваемой как онтология верхнего уровня и гранулярной метаонтологии, определяющей выбор интервальных примитивов ЖЦ. Дан краткий обзор наглядных графических моделей ЖЦ, позволивший раскрыть их достоинства и недостатки. Построены оригинальные символьные и графические модели ЖЦ СТС, в том числе алгебраическая и реляционная модели ЖЦ, а также его графические представления в виде ментальной карты, круговых диаграмм и спиральных моделей. Прослежены связи между стадиями и этапами ЖЦ, в особенности, между стадиями проектирования и технического обслуживания. Описаны особенности стратегии проектирования для технического обслуживания.

Дальнейшие перспективы исследования связаны с разработкой компьютерных методов и систем планирования технического обслуживания и ремонта оборудования [14], что позволит улучшить их организацию в структуре ЖЦ и увеличить период эксплуатации СТС. Будут также предложены модели и интерфейсы интеграции систем периодического технического обслуживания в существующие системы класса PLM (Product Lifecycle Management) и EAM (Enterprise Asset Management).

ЛИТЕРАТУРА

1. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели. – Киев: Port-Royal, 1998.
2. Гаврилова Т.А., Гулякина Н.А. Визуальные методы работы со знаниями: попытка обзора// Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – №1. – С. 15-21.
3. Еремеев А.П., Троицкий В.В. Методы представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений// Известия РАН: Теория и системы управления. – 2003. – №5. – С. 75-88.
4. Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. – М.: Наука, 1989.
5. Кашуба Л.А. Параллельное проектирование средствами САЕ/CAD/CAM в

- жизненном цикле изделий машиностроения // Программные продукты и системы. – 1998. – №3. – С. 24-30.
6. Колчин А.Ф., Стрекалов А.Ф., Овсянников М.В., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. – М.: Анахарсис, 2002.
 7. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Жизненный цикл товара// Современный экономический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2007.
 8. Савелов А.А. Плоские кривые: Систематика, свойства, применения. Справочное руководство. Изд.3. – М.: Либрок, 2010.
 9. Спицнадель В. Н. Основы системного анализа: Учебное пособие. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000.
 10. Субетто А.И. Проблема цикличности развития. – Л.: ВИИ им. А.Ф. Можайского, 1989.
 11. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели.– М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003.
 12. Тарасов В.Б. Концепция метаКИП: от компьютерно-интегрированного производства к Internet/Intranet-сетям предприятий // Программные продукты и системы. – 1998. – №3. – С. 19-22.
 13. Тарасов В.Б., Калуцкая А.П., Святкина М.Н. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами// 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.
 14. Федотова А.В. Управление процессами технического обслуживания авиационного оборудования на основе метода программирования в ограничениях // Программные продукты и системы. – 2013. – №4.
 15. Allen J.F. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals// Communications of the ACM. – 1983. – Vol.26. – P. 832-843.
 16. Alting L. Life Cycle Design// Concurrent Engineering: Issues, Practice and Technology. – 1994. – Vol.1. – №6. – P. 19-27
 17. Alting L., Hauschild M.Z, Wenzel H. Life Cycle Engineering and Management. Sustainability in Manufacturing: Recovery of Resources in Product and Material Cycles. – Berlin: Springer Verlag, 2006. – P. 31-67.
 18. Boehm B. A Spiral Model of Software Development and Enhancement// ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. – 1986. – Vol.11, №4. – P. 14-24.
 19. Bralla J.G. Design for Excellence. – New York: McGraw-Hill, 1996.
 20. Gits C.W. Design of Maintenance Concepts// International Journal of Production Economics. – 1992. – Vol.24. – P. 217-226.
 21. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontologies// Knowledge Acquisition. – 1993. – Vol.5, №2. – P. 199-220.
 22. Guarino N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation//

- International Journal of Human-Computer Studies. – 1995. – Vol.43. – №5-6. – P. 625-640.
23. Jo H.H., Hamid R.P., Wong J.P. Concurrent Engineering. The Manufacturing Philosophy for the 90's// Computers in Industrial Engineering. – 1991. – Vol.21. – P. 35-39.
 24. Kimura F., Suzuki H. Product Life Cycle Modeling for Inverse Manufacturing // 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.
 25. Sowa J.F. Top-Level Ontological Categories// [International Journal of Human-Computer Studies](#). – 1995. – Vol.43, №5-6. – P. 669-685.
 26. Spur G. Life Cycle Modeling as a Management Challenge// 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.
 27. Stark J. Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realization, 2nd ed. – London: Springer-Verlag, 2011.
 28. Tarassov V.B. Some Theoretical Issues of Lifecycle Engineering. 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.
 29. Tarassov V.B., Kashuba L.A., Cherepanov N.A. Concurrent Engineering and AI Methodologies: Opening New Frontiers// Proceedings of the IFIP International Conference on Feature Modeling and Recognition in Advanced CAD/CAM Systems. – 1994. – Vol.2. – P. 869-888.
 30. Zadeh L.A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic // Fuzzy Sets and Systems. – 1997. – Vol.90. – P. 111-127.

Рецензент: Еремеев Александр Павлович, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой прикладной математики ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ».