

УДК 62.05

Д.Е. Кожевников, старший преподаватель¹, ведущий научный сотрудник², dekozhevnikov@mephi.ru,

А.С. Королев, кандидат технических наук, доцент, доцент¹,
askorolev@mephi.ru

Б.В. Сазонов, кандидат философских наук, ведущий научный сотрудник³, bsazonov@yandex.ru

¹Кафедра стратегического планирования и методологии управления
Национального Исследовательского Ядерного Университета МИФИ

²Институт государственного и муниципального управления Национального
Исследовательского Университета Высшая Школа Экономики

³Институт системного анализа Российской Академии Российской Академии
Наук

Компетентностная модель и роль системного инженера в управлении жизненным циклом объекта атомной отрасли

Аннотация

В статье проведен анализ проблем использования системного подхода и подхода жизненного цикла в системной инженерии. Рассматривается становление и развитие понятий этих двух подходов в практике инженерной деятельности, направленной на создание технических систем высокой сложности. В качестве результата приводится рамочная компетентностная модель позиции системного инженера в отечественной атомной отрасли.

Ключевые слова

Системная инженерия, жизненный цикл, управление жизненным циклом

Abstract

The paper analyses a problem of application of the system approach and the lifecycle approach in systems engineering. Evaluation of the main concepts of these two approaches in systems engineering practice is considered in the connection to

complex technical systems development. As a result presented a competence framework for the systems engineer position in the Russian Nuclear industry.

Keywords

Systems approach, product lifecycle, systems engineering, system methodology

Введение

Развитие системной инженерии в различных отраслях отечественной промышленности ставит актуальную задачу определения профессиональных основ и профиля компетенций роли системного инженера, а также обозначает проблемы разделения ответственности между системным инженером и другими руководителями, включенными в процессы создания и эксплуатации сложных долгоживущих технических объектов. Дает ли введение роли системного инженера и дисциплины системной инженерии на предприятиях какой-то выигрыш в решении реальных производственных проблем, или является данью моды? В данной работе проведен анализ развития деятельности по созданию сложных технических систем. Предметом исследования явилось место системного инженера как институционального субъекта в процессах создания, эксплуатации и последующей утилизации сложных технических систем. Исследование проведено как на базе описанных в литературе и известных авторам из собственного продолжительного опыта фактов из области развития системного подхода и системной инженерии, так и на материале ряда проектов, проведенных с участием специалистов кафедры 82 МИФИ в 2011-2014 годах главным образом на предприятиях атомной отрасли.

Основным методом исследования был выбран широко используемый в рамках общей методологии метод псевдогенетического анализа (см., например, [1]). Приведено соответствие шагов классического системного подхода с этапами процесса системной инженерии, с учетом имеющихся в мире различных вариаций этого процесса, в том числе, процесса проектирования и разработки технических систем согласно серии ГОСТ 34. Рассмотрена задача управления жизненным циклом и субъектная роль системного инженера в этой задаче.

Субъектность системного инженера в процессе управления жизненным циклом искусственных систем рассматривается как по отношению к остальным участникам этого процесса, так и по отношению к самому процессу. На основе анализа формируется рамочная компетентностная модель позиции системного инженера. Делается вывод о преимуществе комплексной, холистической прикладной методологии системной инженерии по сравнению с другими подходами в выборе оптимального варианта реализации процессов (практик) при создании сложных технических систем.

Теоретический анализ подходов

Начиная с 1970-х гг. общепризнанной фундаментальной методикой, применяемой при создании сложных технических систем, стал системный подход, состоящий применительно к инженерной деятельности из шести основных шагов [1,2]:

- Определение цели или описание проблем.
- Разработка требований и критериев.
- Синтез системных решений.
- Анализ/оценка системных решений.
- Выбор варианта реализации системы.
- Реализация системы.

Легко видеть, что эти шаги (по сути – функции или области знаний) могут выполняться в ходе создания системы в разной последовательности, в том числе одновременно. Для обеспечения гарантированного и эффективного получения желаемого результата этого не достаточно – нужна методика, превращающая создание системы из неуправляемой, естественно протекающей последовательности действий в управляемый и воспроизводимый процесс.

В ответ на эту потребность, примерно в это же время, в качестве организационной основы создания сложных систем на междисциплинарном уровне, в мире стала формироваться прикладная методология системной

инженерии. В ее основе лежит процесс, позволяющий правильным образом построить деятельность при создании сложных систем. Называя такой процесс морфологией системной инженерии, один из основоположников подхода жизненного цикла Б. Бланчард, видимо, подразумевал, что именно процесс системной инженерии является той искусственной конструкцией, которая обеспечивает реализацию единой задачи управления системной инженерией, вне зависимости от конкретной предметной области, а именно - надежное превращение требований в результат.

Инженерия сложных систем восходит к древним временам, однако сложилась как самостоятельная дисциплина одновременно с проектным управлением и кибернетикой – в годы «больших проектов» после окончания Второй Мировой войны, в 40-50-е годы 20 века. Процесс системной инженерии построен так, чтобы задавать основные шаги деятельности по созданию успешных (в рыночном и техническом смысле) систем на основе баланса интересов всех заинтересованных сторон. В принципе, с учетом прикладного характера методологии системной инженерии, он не должен быть одинаковым для всех типов систем. Сейчас в мире существует более двадцати версий процессов системной инженерии, так или иначе отличающихся друг от друга в зависимости от взятой на вооружение практики создания сложных систем. Наиболее известны на мировом уровне метод системной инженерии по А.Косякову [3] и процесс SIMILAR Т.Бахилла [4], которые представляют собой связанные обратными верификационными и валидационными связями последовательности шагов, приводящих к гарантированному результату. Заслуживает упоминания и классический каскадный процесс, нашедший отражение в серии ГОСТ 24.x – 34.x, который представляет собой вырожденный, жесткий процесс с отсутствующими обратными связями.

Можно определить соответствие между приведенным выше системным подходом к инженерной деятельности и любым процессом системной инженерии, выявив взаимосвязи между соответствующими шагами (табл.1).

Таблица 1. Соответствие шагов системного подхода шагам системной инженерии

Функции системного подхода	Процесс СИ по Косякову	Процесс SIMILAR	Каскадная разработка
Определение цели или описание проблем	Анализ требований	Формулирование проблемы, Оценка ценности системы	Формирование требований
Разработка требований и критериев		Исследование альтернатив, Повторная оценка	Разработка концепции
Синтез системных решений	Функциональное описание	Моделирование системы, Повторная оценка	Техническое задание
Анализ системных решений			Эскизный проект
Выбор системы			Технический проект
Реализация системы	Описание физической реализации	Интеграция системы Запуск системы	Ввод в действие
	Валидация проектных решений	Оценка поведения Повторная оценка	Сопровождение

Таким образом, сформировалось некоторое разнообразие инструментов реализации системно-инженерного подхода, а вместе с ним появилась задача выбора конкретной реализации процесса и соответствующая управленческая задача. Понятие «управление» в этом случае сводится к выбору модели и последующей корректировке по отклонениям процесса разработки от задаваемых ей параметров, что соответствует англоязычному термину “Control”, которое на русский язык корректнее было бы перевести как «Регулирование». Такая задача успешно решалась одним из управленцев в

рамках проекта создания системы – руководителем проекта или главным конструктором/главным инженером проекта в рамках его полномочий [5].

Необходимо заметить, что все процессы системной инженерии подразумевают построение модели системы и процесса ее создания (это справедливо и для каскадной разработки, в которой роль модели выполняет набор жестко структурированных документарных артефактов). Ситуация может быть проиллюстрирована схемой (рис. 1).

Проектная работа осуществляется инженерами E1 и E2 в ходе процесса развития модели системы M, а наложение модели на техническую реализацию N производится в соответствии с моделью при помощи формализованных процедур, в норме не содержащих значительной вариативности. На практике же, как в процессе проектирования, так и в процессе физической реализации проекта, каждый раз возникает большое количество специфических проблем, лежащих за пределами ответственности указанных выше управленцев, и заставляющих процесс создания системы развиваться естественным, слабо контролируемым образом.

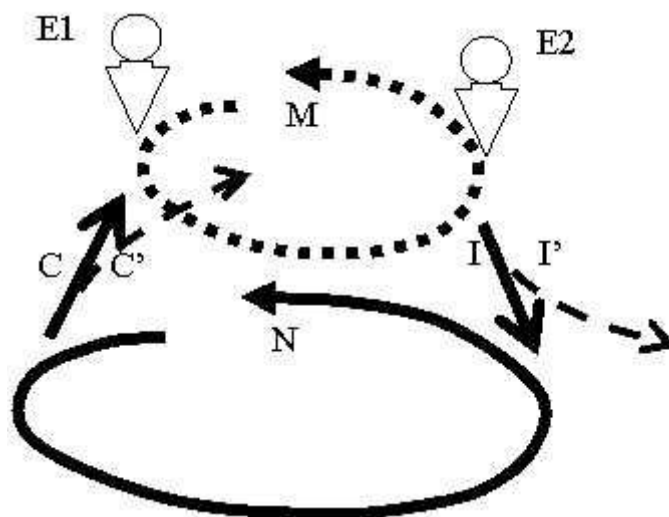


Рис. 1. Отделение модели от предметной деятельности

Эти проблемы можно проиллюстрировать следующими примерами из практики инженерии объектов атомной отрасли, которые авторам довелось решать в собственной деятельности:

- невозможность своевременной валидации требований к подсистеме в силу несоответствия проектных артефактов различных групп разработчиков по формату представления (ошибка – разрыв в модели M);
- несоответствие массогабаритных характеристик подсистем агрегата технологическим местам в силу недостаточной детализации требований (дефект реализации I’);
- несвоевременное выявление несовместимости стандартных конструкторских элементов в силу конфликта по технологическим допускам (ошибка интеграции в цикле N);
- невозможность мониторинга параметров устаревшего технологического процесса в силу отсутствия соответствующего измерительного оборудования на рынке (дефект контроля С’)

Следующим шагом в направлении выделения системной инженерии в отдельную компетенцию стала адаптация понятия жизненного цикла. В рамках системной инженерии под жизненным циклом (ЖЦ) понимается процесс развития искусственной системы от замысла до вывода из эксплуатации [6]. При этом акцент делался на преодолении неуправляемости данного процесса в целях получения ценности для конечного пользователя системы, в целях преодоления проблем, аналогичных последней из вышеизложенных. Для изображения жизненного цикла стали использоваться модели, иллюстрирующие процесс создания единичной системы, концентрирующиеся на каком-то из аспектов создания – V-образная модель, T-образная и другие.

Подход ЖЦ заключается в том, что необходимо выбрать подходящую модель процесса системной инженерии (СИ), представленную в виде последовательности этапов, формализовать процессы ЖЦ на каждом этапе модели и обеспечить управление этими процессами. Представленные в таблице выше процессы изображены как линейные, однако верификационные связи создают итерации между этапами как в модельной плоскости, так и между моделью и реализацией. При этом, каждый этап жизненного цикла может

рассматриваться как самостоятельный проект создания системы, являющейся результатом этапа. Таким образом, процесс системной инженерии будет повторяться на каждом этапе ЖЦ с новой спецификацией входных и выходных данных на каждой такой итерации.

Очевидно, что в реализацию процесса системной инженерии вовлечены различные инженерные области (напр., E1..E3, рис. 2) и соответствующие персоналии, обладающие необходимыми компетенциями.

При управлении жизненным циклом (УЖЦ) процесс ЖЦ рассматривается в виде набора контрольных точек, в каждой из которых должен быть представлен текущий срез модели в виде документа или набора документов, например «иерархическая структура работ», «функциональная архитектура», «логическая архитектура». Т.Бахилл определяет 8 основных документов системного инженера: описание проблемной ситуации, требования заказчика, производные требования, верификация и валидация, исследование концепции, модель сценариев, проектная модель, отображение и управление.

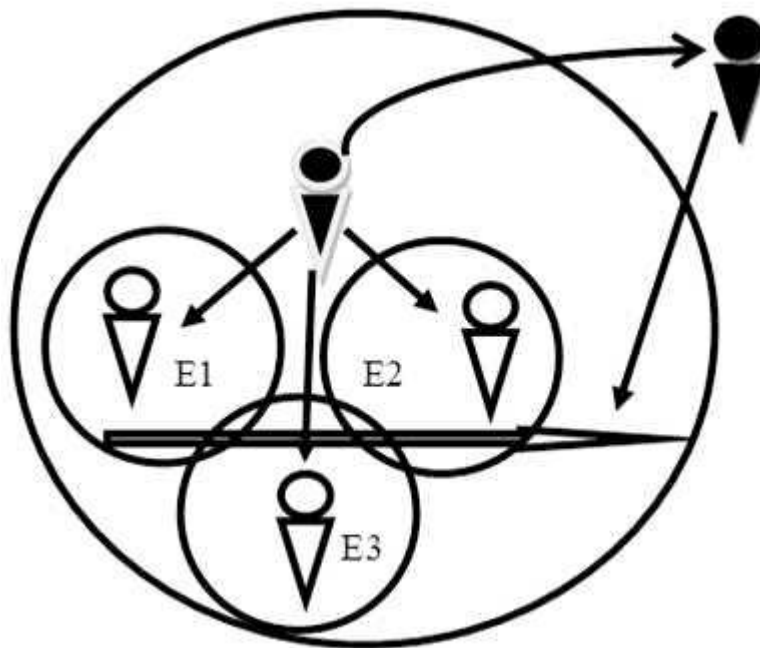


Рис. 2. Субъектные роли системного инженера в процессе создания сложного технического изделия

Не являясь целью процесса, эти документы представляют собой управленческие артефакты, на основе которых принимается решение о дальнейших шагах в проекте. Анализируя [5], можно прийти к выводу, что субъектом принятия такого решения не может стать как ни одна из персоналий (Е1..Е3), так и ни один из управленцев (руководитель проекта, главный инженер, главный конструктор).

Таким образом, вместе с процессом системная инженерия привносит в действительность создания сложных систем новую фигуру (роль), обозначенную как «системный инженер», обладающую функцией управления и субъектностью, по отношению как ко всем участникам жизненного цикла, так и по отношению к самому системно-инженерному процессу (рис.3), а также специфическим объектом управления – жизненным циклом технической системы.

Очевидно, что управленческая функция системного инженера теперь уже не может сводиться к однократному выбору модели главным инженером или руководителем проекта, а требует непрерывного контроля. В духе большинства международных «управленческих» стандартов, как только в организации определено, на какой стадии ЖЦ и согласно каким документам должно приниматься решение, начинает действовать кибернетическая модель, где пороговым значением является показатель качества «документа» - то есть стандартизованного артефакта, в качестве которого выступает проект системы, проходящий несколько стадий от идеи и набора начальных требований до комплекта рабочей и эксплуатационной документации. Имеющийся артефакт сравнивается с независимо развивающейся совокупностью требований, с учетом степени вариативности, необходимо возникающей при его реализации в предметной деятельности, и по результатам принимается решение, в рамках стратегии УЖЦ в организации. Например, стратегия может быть следующей: переходим к следующему шагу, если «качество» артефакта не менее 80% от эталонного, приостанавливаем работу, если «качество» между 10% и 20%,

закрываем проект, если «качество» менее 10%. При этом, чтобы не оставаться в плену качественных метрик, системная инженерия предлагает технологии измерения качества на основе процессов верификации и валидации. Разработка метрик и поддержание процедур такого измерения также ложится на системного инженера.

В более широком смысле понятие «управление жизненным циклом» закреплено стандартом ISO/IEC 15288:2008 [6]. В этом случае мы говорим уже не о фиксированной модели процесса управления разработкой, а о больших наборах процессов (практик), сопровождающих создание системы от момента появления идеи до момента вывода ее из эксплуатации и последующей утилизации. Управленческой задачей в этом случае является выбор и реализация той совокупности процессов, которые позволяют в конкретной ситуации наиболее эффективно решить поставленную задачу. Стандарт предписывает системному инженеру обосновать и описать (и поддерживать в актуальном состоянии в течение всего жизненного цикла проекта) конкретную модель жизненного цикла создаваемой системы.

Существенным моментом является разделение в рамках системной инженерии организационных и инженерных описаний проекта. Организационные описания относятся к компетенции проектных менеджеров и связаны с обработкой типичных проектных атрибутов – вех, ресурсов, переходов, тогда как инженерные описания связываются с деятельностью системного инженера по применению практик в рамках стадий ЖЦ, итеративностью разработки, валидацией архитектурных решений.

Блок-схема, описывающая применение процесса системной инженерии на этапах ЖЦ систем, приведена ниже (рис.3).

Как видно, каждый этап связан с соседними этапами множеством стрелок, задающих итерационность с высокой степенью вложенности. Смысл этой итерационности в том, что, в силу существенной системности и внутренней

многосвязности сложных технических изделий, ранее выявление проблем, вариативность и сильная внутренняя связность решений позволяет избежать больших холостых пробегов, характерных для работы жестко функционально структурированных команд со слабой связностью.

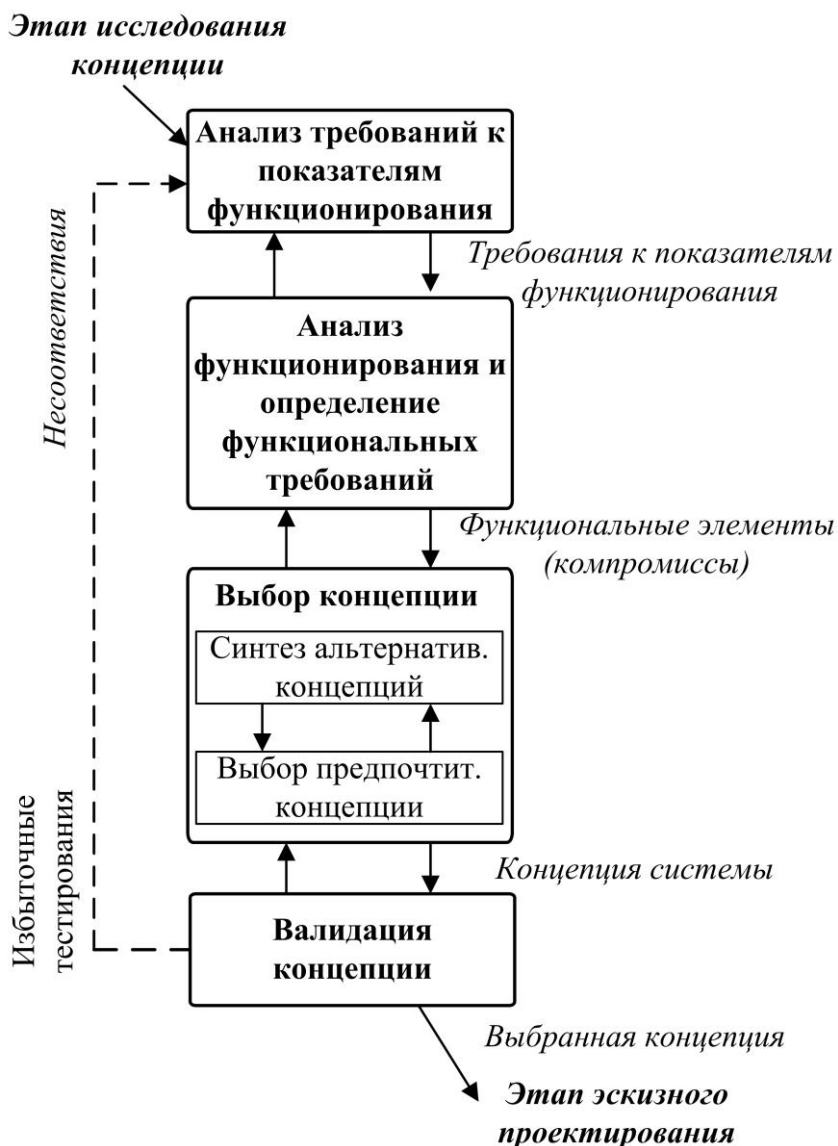


Рис. 3 Блок схема процесса системной инженерии на этапе определения концепции системы

Системный инженер постоянно оказывается перед выбором оптимального варианта реализации процессов (практик), руководствуясь не жесткой моделью, а скорее библиотекой принципов и показателями эффективности, которые необходимо поддерживать.

Одним из таких принципов является перенос максимума решений на возможно более ранний этап проектирования системы. Как правило, применение этого принципа выражается в большом объеме работ, приходящемся на этап разработки концепции изделия. Казалось бы, вполне очевидное решение. Однако, применение данного принципа в отрыве от комплексной, холистической прикладной методологии системной инженерии, приводит, как известно из практики, к неудовлетворительным результатам.

Выводы

На основе проведенного анализа можно представить компетентностную модель, сопоставленную с ролью системного инженера в виде набора из 4 групп требований, которые детализируются в соответствии с конкретной информационной, технологической и управленческой средой функционирования объекта:

- способность организовывать и управлять продуктивной коммуникацией между стейкхолдерами на протяжении всего жизненного цикла изделия;
- способность формировать на основе частных представлений об изделии системное представление, выраженное в виде совокупности взаимосвязанных требований и ограничений, определять степень реализации данных требований, как формально (верификация), так и по сути (валидация), а также управлять итерациями процесса их реализации;
- способность формировать и поддерживать единую информационную модель изделия на протяжении его жизненного цикла, включая инструменты и процедуры реализации модели в предметной деятельности, а также инструменты и процедуры контроля и отражения в модели фактических характеристик реализованных изделий, с учетом различий в системах, используемых исполнителями и необходимых ограничений их доступа к информации друг друга;

- способность измерять и принимать квалифицированное решение в области качества проектных, технологических и эксплуатационных документов на протяжении всего жизненного цикла изделия, и определять на его основе оптимальный вариант развития изделия.

Представляется, что в текущей инфраструктуре отечественных отраслей отсутствует организационное место, способное, на данный момент, принять на себя данные компетенции и связанные с ним полномочия и ответственность. Однако, данная проблема осознается, и в составе головных компаний отрасли формируются соответствующие подразделения. Проблемой остается кадровое, нормативное и методическое обеспечение данной деятельности.

Заключение

В статье выполнен анализ понятий и методик системного подхода, подхода жизненного цикла и системной инженерии, используемых в современной инженерной деятельности в качестве инструментария борьбы со сложностью, которой характеризуется процесс создания систем.

Выполненный анализ позволяет сформулировать ряд выводов, существенных как для применения методологии системной инженерии, в современном ее понимании, в России, так и для конструирования образовательных программ в области системной инженерии.

1. На сегодняшний момент на российских предприятиях и в отраслях отсутствует позиция, адекватная по полномочиям, целям и задачам позиции системного инженера. Вместе с тем, переход к современным технологиям проектирования на основе компьютерных технологий моделирования, делает такую позицию обязательной.

2. Основой компетенции системного инженера является многомерное системное мышление, дающее возможность управлять таким объектом как жизненный цикл сложной системы. Подобное управление подразумевает владение техниками, не используемыми ни в одной другой управленческой

области, в первую очередь – техниками организации модели-ориентированной кооперации в виртуальной среде.

3. Методика системной инженерии, реализующая соответствующий процесс деятельности на каждом из этапов жизненного цикла системы, направлена на создание успешных, с точки зрения всех заинтересованных сторон, систем – прежде всего, по таким ценностным показателям, как стоимость полного жизненного цикла системы и календарный график создания системы. В этом видится преимущество этой методики перед методиками каскадного типа разработки, к которым относится методика, заложенная в ГОСТ 34.

4. Сделанный анализ дает основу для дальнейшей теоретической проработки таких прикладных аспектов системно-инженерной деятельности как: требования к характеристикам единой среды моделирования, методология организации единого коммуникационного пространства, методология принятия решений о качестве проектных артефактов, модели жизненного цикла сверхсложных систем длительного срока эксплуатации, методология управления жизненным циклом систем социо-технического типа и др.

Список литературы

1. А.А.Тюков. Техника псевдогенетического разворачивания схем [Электронный ресурс] // Фонд Г.П. Щедровицкого: сайт: -- <http://www.fondgp.ru/lib/conferences/2009/notes/6> (дата обращения 16.04.2015).

2. Ramo S., St. Clair R. K. The Systems Approach. Fresh Solutions to Complex Problems Through Combining Science and Practical Common Sense. KNI, INCORPORATED, 1998.

3. Батоврин В.К. Предисловие к изданию Косяков А., Свит У. и др. Системная инженерия. Принципы и практика. – М.: ДМК-Пресс, 2014 – 624 с.: ил.

4. Косяков А., Свит У. и др. Системная инженерия. Принципы и практика. – М.: ДМК-Пресс, 2014 – 624 с.: ил.

5. Bahill, A.T. and Gissing, B. "Re-evaluating systems engineering concepts using systems thinking," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C Applications and Reviews, 28(4), 516-527, 1998.

6. Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих. // 4-е издание, дополненное, утв. постановлением Минтруда РФ от 21 августа 1998 г. N 37 с изменениями от 21 января, 4 августа 2000 г., 20 апреля 2001 г., 31 мая, 20 июня 2002 г., 28 июля, 12 ноября 2003 г., 25 июля 2005 г., 7 ноября 2006 г., 17 сентября 2007 г., 29 апреля 2008 г.

7. ISO/IEC/IEEE 15288:2008. Systems and Software Engineering -- System Life Cycle Processes. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commissions.

Kozevnikov D.E.^{1,2}, dekozhevnikov@mephi.ru,

Korolev A.S.¹, askorolev@mephi.ru

Sazonov B.V.³, bsazonov@yandex.ru

¹National Research Nuclear University MEPhI

²National Research University Higher School of Economics

³Institute for Systems Analysis Russian Academy of Sciences

Competency Profile and Role of Systems Engineer in Lifecycle Management Process for Nuclear Object

Abstract

The paper presents a comparative analysis of systems approach and lifecycle approach in systems engineering. The main concepts of these approaches are considered in a historical aspect of systems engineering practice for complex systems development. As a result the competence framework for systems engineer position is provided for Russian nuclear industry.

Keywords

Systems Engineering, System Lifecycle, Lifecycle Management