

Раздел III. Программная инженерия

УДК 62 + 372.8

В.К. Батоврин

ПРОЦЕСС СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СОВОКУПНОСТИ ТРЕБОВАНИЙ К ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ

Рассмотрены особенности формирования совокупности требований к образовательной программе (ОП) по системной инженерии. В основу рассмотрения положен системный подход с выявлением заинтересованных сторон, назначения и целей ОП как системы. При определении требований различных уровней использованы рекомендации Эталонного учебного плана по системной инженерии и Руководства к своду знаний по системной инженерии. В основу валидации требований положены: удовлетворенность заинтересованных сторон и укрупненные цели подготовки инженеров, увязанные с результатами освоения ОП. Для верификации требований предложено рассматривать результаты освоения образовательной программы в увязке с когнитивными уровнями таксономии педагогических целей, например, таксономии Блума. На основании результатов анализа предложен набор требований к ОП по СИ, пригодный для использования в качестве основы при разработке вузами собственных ОП подготовки магистров по инженерным направлениям.

Системная инженерия; системный подход; инженерия требований; заинтересованные стороны; образовательная программа; таксономия Блума.

V.K. Batovrin

SYSTEMS ENGINEERING PROCESS FOR EDUCATIONAL PROGRAMS REQUIREMENTS DEVELOPMENT

The article describes different features of the development of requirements to systems engineering curriculum (SEC). Systematic approach including the identification of stakeholders, purpose and objectives of the SEC as a system is considering as a basis of our review. For definition of the goals and requirements we used the Graduate Reference Curriculum for Systems Engineering and the Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge. Generalized purposes of engineers training proposed with a view of SEC validation. The relationships of these purposes and the results of the development of SEC have been considered. To verify SEC we examined the results of SEC in conjunction with the cognitive levels of the appropriate taxonomy, such as Bloom's taxonomy. Model of requirements to SEC, suitable for use as the basis for the development of higher education master degree programs in engineering fields has been proposed.

Systems engineering; systematic approach; requirements engineering; stakeholders; educational program; Bloom's taxonomy.

Введение. Во второй половине XX в. облик традиционной инженерной деятельности стал быстро изменяться на фоне опережающего развития новых технологий. Как следствие в число дисциплин, имеющих непосредственное отношение к созданию сложных инженерных объектов, стали входить не только традиционные инженерно-технические, но и управленческие, социальные и политические дисциплины, а также науки о человеке. Для использования достижений этих более

«мягких» дисциплин инженеру необходимы дополнительные компетенции, особенно при решении задач, возникающих при построении конкурентоспособных высокотехнологичных систем.

При воспитании инженеров, отвечающих указанным требованиям, важнейшее значение приобретает системная инженерия (СИ). Сегодня СИ принято определять как комплексный, мультидисциплинарный подход, методику создания успешных систем и рассматривать эту дисциплину в качестве фундамента, на основе которого удастся поддерживать надежную и устойчивую связь между миссией, стратегическими целями, конкретными задачами и измеримыми результатами инженерной деятельности. Недаром один из крупнейших специалистов по СИ Дерек Хитчинс (Derek K. Hitchins) назвал эту дисциплину системной методологией XXI в. [1].

Крупнейшие мировые профессиональные организации, занятые в области высоких технологий, такие как Институт инженеров электротехники и электроники (The Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE), Международный совет по системной инженерии (International Council on Systems Engineering – INCOSE), Ассоциация вычислительной техники (Association for Computing Machinery – ACM) и др., мировое академическое сообщество, например, Международный совет университетов, занятых подготовкой специалистов по созданию инженерно-насыщенных систем (The Council of Engineering Systems Universities – CESUN), признают фундаментальную роль СИ в образовании современного инженера. В настоящее время подготовка по СИ в той или иной форме (бакалавриат, магистратура, дополнительное образование) осуществляется примерно в 250 зарубежных университетах, среди которых около 60 европейских вузов и 80 университетов из США и примерно 100 университетов из других стран. Осознание необходимости подготовки в СИ происходит и в нашей стране, в частности ФГОС ВПО по направлению 230400 – Информационные системы и технологии (квалификация «магистр»). СИ предусмотрена в качестве обязательной дисциплины базовой части профессионального цикла основной образовательной программы магистратуры. СИ может стать хорошей основой для разработки и реализации комплекса современных образовательных программ (ОП) подготовки отечественных инженеров различного профиля, способных к решению широкого круга инженерных задач в рыночных условиях.

Отечественный опыт преподавания СИ и смежных с ней дисциплин только складывается. Поэтому уровень зрелости требований к базовым компетенциям, которые должны быть сформированы у студентов в процессе обучения, можно охарактеризовать как начальный. Таким образом, весьма актуальной является задача разработки концептуальной основы и принципов построения совокупности требований к ОП по СИ, пригодных к адаптации в условиях конкретного вуза.

Системный подход к разработке требований к ОП. Согласно С. Рамо [2] основными элементами системного подхода в инженерной деятельности являются: определение цели или описание проблем; разработка требований и критериев; синтез системы; анализ системы; выбор системы и, наконец, реализация систем. Целенаправленное итеративное использование совокупности или определенной части этих элементов принято называть методом или процессом СИ [3]. Известны различные варианты процесса СИ, например, описанные в стандартах ISO/IEC 26702 или EIA-632, но во всех случаях важнейшим элементом этого процесса является деятельность по разработке совокупности требований к системе. В этой работе мы рассмотрим действия по формированию совокупности требований, которые могут быть взяты за основу при разработке различных ОП. На примере ОП по СИ будет выделена базовая совокупность требований, которая может быть использована вузами при разработке собственных ОП по СИ.

На начальном этапе формирования ОП следует выделить ключевые заинтересованные стороны (ЗС), выявить их цели, проблемы и предложить подходы к решению этих проблем, основанных на достижении баланса интересов и потребностей всех ЗС. В качестве основы для установления такого баланса может быть, например, выбран подход, ориентированный на достижение приемлемости (ценности) решения для всех ЗС [4].

При разработке требований и критериев можно воспользоваться рекомендациями, полученными СИ в области инженерии, требований [3]. В соответствии с ними выделим 4 типа требований к ОП, а именно: требования назначения, к функционированию, к характеристикам ОП в целом и, наконец, к характеристиками элементов ОП (требования реализации). Учтем также, что важнейшими критериями качества требований являются: измеримость требований, их полнота, а также прослеживаемость.

В данной работе мы сосредоточимся на трех типах требований, так как именно они позволяют сформировать базовую совокупность требований к ОП по СИ, пригодную для адаптации к условиям большинства конкретных образовательных учреждений. Требования реализации будут рассмотрены бегло, так как их анализ требует более тщательного учета конкретных условий.

Требования назначения ОП. Требования назначения имеют общий характер и раскрывают цели создания системы в целом. Выполнение этих требований определяет возможность успешного использования системы по назначению. С требованиями назначения связывается важнейший критерий успешности создаваемой ОП – объективное, полученное на основе общепризнанного компромисса, свидетельство удовлетворенности ЗС. Этот критерий может, в частности, быть задан как критерий приемлемости решения, он удовлетворяет условию измеримости [4] и является ключевым для валидации, т.е. получения объективных свидетельств того, что построена «правильная» ОП. В дальнейшем требования назначения мы будем связывать с целями подготовки, для достижения которых реализуется ОП.

Применительно к ОП по СИ в качестве ключевых ЗС выделим: работодателей; студентов; вузы и государство. Роли, интересы и взаимоотношения между этими ЗС в системе инженерного образования были нами рассмотрены в [5], где показано, что для достижения удовлетворенности ЗС ОП по СИ должна быть построена так, чтобы в результате её успешного освоения выпускники магистратуры, во-первых, продемонстрировали способность к практической деятельности по созданию систем хотя бы в одном из прикладных разделов, таких как аэрокосмические, оборонные, информационные, финансовые, медицинские, транспортные, телекоммуникационные системы. Во-вторых, от выпускников ОП требуется умение практически использовать принципы СИ применительно, хотя бы к одному классу систем (например, системам с особыми требованиями по обеспечению безопасности, встроенным системам, автоматизированным системам и т.п.), либо по отношению хотя бы к одному из таких важных системных показателей, как безопасность, надежность, быстродействие, насыщенность передовыми технологиями, ремонтно-пригодность, доступность по цене и т.п.

Взяв за основу два указанных положения и рекомендации Эталонного учебного плана по СИ [6] примем в качестве требований назначения, что ОП по СИ должна обеспечить достижение следующих целей подготовки (достижение целей подтверждается результатами валидации ОП):

1. *Владение подходом жизненного цикла*, включая способность на протяжении полного жизненного цикла (ЖЦ) (или на его отдельных этапах) успешно анализировать, проектировать или реализовывать пригодные к производству и использованию, эффективные, пригодные к сопровожде-

нию, экономически приемлемые комплексные системные решения применительно к продукции, услугам, предприятиям, а также к мега-системам (системе систем). Эта цель может быть уточнена с учетом особенностей конкретного типа или класса систем, с которыми придется иметь дело выпускнику, например, информационных систем или с учетом особенностей конкретной предметной области, например, авиакосмической промышленности.

2. *Готовность использовать мультидисциплинарный подход*, включая способность успешно выполнять различные роли в мультидисциплинарных командах с различными формами членства, в том числе роль технического эксперта или роль руководителя на различных уровнях.
3. *Профессионализм*, включая демонстрацию профессионализма, способность к профессиональному развитию на основе непрерывного обучения и активного участия в профессиональной деятельности, а также содействие развитию своей области профессиональной деятельности. Сюда относятся и ответственное и этическое поведение на основе понимания общественной пользы.
4. *Коммуникабельность*, включая умение успешно общаться (читать, писать, говорить, слушать и иллюстрировать) устно и письменно, а также с использованием вновь появляющихся способов и средств массовой информации, особенно во взаимодействии с ЗС и коллегами.

Заметим, что валидация ОП отличается рядом особенностей. Важнейшая из них заключается в том, что как подтверждает зарубежный [6] и наш собственный опыт, для получения объективных свидетельств того, что выпускник достиг указанных выше целей подготовки, требуется примерно 3–5 лет. Причем в течение этого времени выпускник магистратуры должен обязательно получить опыт работы на предприятии, входящем в состав ЗС, а также регулярно повышать свою профессиональную квалификацию.

Требования к функционированию ОП. Требования к функционированию связываются с выполняемыми действиями, а также задачами, решаемыми системой в процессе практического применения, и предъявляются к ОП в целом. Поскольку важнейшей задачей ОП является обеспечение подготовки профессиональных кадров, мы далее будем описывать требования к функционированию в виде требований к результатам освоения ОП. Для анализа полноты и прослеживаемости требований к функционированию будем использовать матрицу прослеживаемости (МП) «цели-результаты освоения» ОП.

Наш и зарубежный [6] опыт показывают, что требования к контролируемым результатам освоения ОП по СИ следует предъявлять в 4-х областях: *концепции СИ, роль СИ, практика СИ и профессиональные основы СИ*.

В результате изучения концепций СИ, будущий инженер должен получить знания, широта и глубина которых достаточна для эффективного выполнения профессиональных обязанностей. При изучении концепций СИ целесообразно предусмотреть 3 уровня детализации: исходный (основы), основной (сосредоточение) и передовой (детализация), причем все эти уровни обязательно должны быть отражены в ОП.

В результате изучения роли СИ у выпускника ОП должна быть сформирована способность к эффективной работе в составе междисциплинарной команды создателей системы. Здесь полезно выделить следующие разделы: предметная область СИ, где рассматривается применение СИ в выделенных отраслях, например, авиакосмической промышленности; специальные разделы СИ, где рассматривается применение принципов СИ для достижения специальных целей, например,

безопасности, экономичности, надежности систем; междисциплинарная связь, где рассматривается взаимосвязь СИ с такими дисциплинами, как управление проектами, управление персоналом, управление закупками и т.п. ПО в системах, где рассматриваются вопросы инженерии программных систем, необходимые для успешной разработки системной продукции и услуг.

В результате изучения практик СИ обеспечиваются условия, необходимые для достижения выпускником успеха в создании эффективных систем. Здесь выделяются разделы: увязывание требований к системе и ее элементам; оценка проблем/решений, включая навыки многокритериальной оценки альтернативных стратегий и решений; реализм, включая понимание и оценку проблем применения СИ в реальных задачах на протяжении ЖЦ системы.

Результаты изучения профессиональных основ СИ обеспечивают выпускнику условия, необходимые для реализации успешной профессиональной карьеры. Здесь можно выделить три основных раздела: профессиональное развитие, работа в команде и профессиональная этика.

В табл. 1 приведена МП «цели – результаты освоения» ОП по СИ с указанием экспертных оценок силы связи между отдельными составляющими, где ОС обозначает очень сильную связь, С – сильную связь, Ср – явную связь и Сл – слабую связь. Из 52 элементов МП 3 относятся к категории ОС, 16 – С, 25 – Ср и 8 – Сл, т.е. связь между целями и результатами освоения ОП хорошая, при этом каждая отдельно взятая цель в достаточной степени поддерживается результатами освоения ОП. Требования к функционированию ОП можно считать полными, хотя в отношении цели «профессионализм» требования, возможно, потребуются дополнить. При необходимости может быть выполнен и детальный анализ МП, например, с использованием механизмов нечеткой логики.

Таблица 1

Матрица прослеживаемости цели/результаты освоения ОП

Результаты	Цели			
	Подход ЖЦ	Работа в команде	Профессионализм	Коммуникабельность
Концепции СИ				
Основа	ОС	Ср	Ср	Ср
Сосредоточение	ОС	Ср	Ср	Сл
Детализация	С	Ср	Ср	Ср
Роль СИ				
Предметная область	ОС	Ср	Ср	С
Специальные разделы	Ср	Ср	Ср	С
Междисциплинарная связь	Ср	С	Сл	Ср
ПО в системах	С	С	Сл	Сл

Окончание табл. 1

	Цели			
Результаты	Подход ЖЦ	Работа в команде	Профессионализм	Коммуникабельность
Практика СИ				
Увязывание требований	С	Ср	Сл	С
Оценка проблем/решений	С	Ср	Сл	С
Реализм	С	С	Ср	Ср
Профессиональные основы СИ				
Профессиональное развитие	С	Ср	Ср	Ср
Командная работа	Ср	С	Ср	С
Этика	Сл	Сл	С	Ср

Требования к характеристикам ОП. Требования к характеристикам относятся главным образом к тому, насколько хорошо ОП отвечает предъявляемым к ней требованиям. Эти требования должны быть объективными и количественными, т.е. измеримыми. В целях обеспечения измеримости требований к характеристикам ОП мы станем использовать одну из общепризнанных таксономий педагогических целей – таксономию Блума. Возможно использование и других таксономий, например, О.Е. Лебедева или В.П. Беспалько, принципиально важно определить собственно измеряемый показатель, единицу измерения и условия или контекст, в котором применяется показатель. Таким образом, ключевым критерием для верификации ОП, т.е. для получения объективных свидетельств того, что построена «правильная» ОП, становится соответствие результатов освоения ОП установленным уровням таксономии Блума.

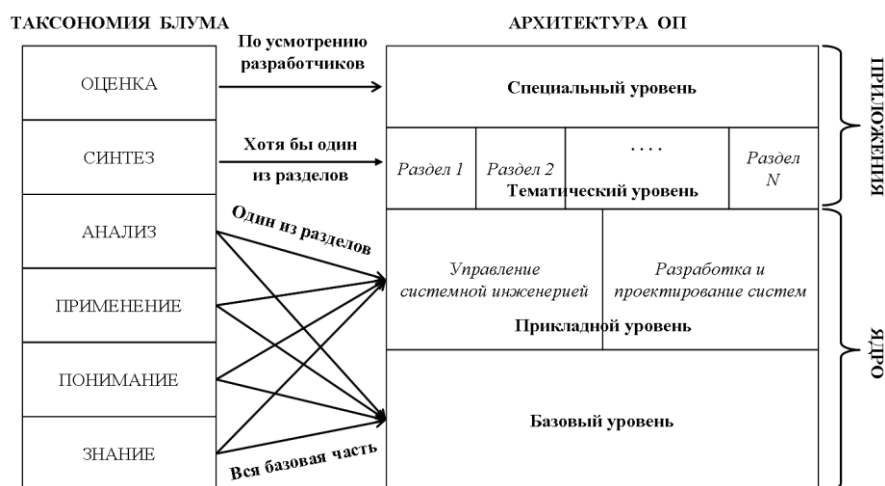


Рис. 1. Принципы оценки результатов ОП по СИ

В соответствии с рекомендациями эталонного учебного плана по СИ [6] выделим в составе архитектуры ОП по СИ *ядро*, включающее базовый и прикладной уровни, и *приложения*, включающие тематический и специальный уровни (более подробно архитектуру ОП по СИ мы предполагаем рассмотреть отдельно). Далее при верификации ОП будем исходить из того, что результаты освоения дисциплин ядра должны соответствовать уровням – *Знание, Понимание, Применение, Анализ* – таксономии Блума, а результаты освоения хотя бы одного из тематических разделов должны соответствовать уровню *Синтез* таксономии Блума (рис. 1). Уровень *Оценка* использовать не обязательно, но по усмотрению разработчиков ОП он может применяться на специальном уровне архитектуры ОП, например, при выполнении проектов, связанных с проведением студенческих НИР. Способы контроля результатов освоения ОП могут быть установлены разработчиком ОП на всех уровнях самостоятельно.

Требования реализации. Требования реализации относятся к атрибутам физического воплощения системы и по мере развития системных решений обычно уточняются. При реализации ОП в качестве исходных элементов удобно выбрать общепризнанные в данной предметной области дидактические единицы. В случае ОП по СИ естественно принять основные дидактические единицы (табл. 2), определенные в Руководстве к своду знаний по системной инженерии – SEBoK [7].

Таблица 2

Разделы и основные дидактические единицы SEBoK

Разделы	Основные дидактические единицы
Системы	Основные системные представления. Наука о системах. Системное мышление. Моделирование систем. Системный подход в инженерном деле
СИ и менеджмент	Модели ЖЦ. Описание концепции использования. Описание систем. Реализация систем. Развертывание и применение систем. Управление инженерной деятельностью. Управление ЖЦ продукции и услуг. Стандарты СИ
Применения СИ	Разработка продукции. Разработка услуг. Разработка систем предприятия. Система систем
Практика СИ в организации	Обеспечение нужд бизнеса и предприятия. Обеспечение нужд производственных коллективов. Обеспечен. нужд работников
Связь СИ с другими дисциплинами	СИ и программная инженерия. СИ и управление проектами. СИ и организация производства. СИ и закупки/поставки. СИ и специальная инженерная деятельность

После выделения дидактических единиц следует построить МП «результаты освоения ОП – дидактические единицы», и по результатам ее анализа принять решение о порядке отражения той или иной дидактической единицы в ОП. При необходимости требования реализации итеративно уточняются, пока не будет получен окончательный вариант воплощения элементов ОП.

Заключение. Предложен вариант процесса СИ, пригодный для формирования совокупности требований к различным ОП. Отличительной особенностью процесса являются: нацеленность на обеспечение баланса интересов ЗС и исполь-

зование матриц прослеживаемости «цель-результаты» освоения ОП и «результаты-дидактические единицы» ОП. В качестве основы для валидации ОП предложен критерий приемлемости (ценности) целей подготовки, для достижения которых реализуется ОП. Для верификации ОП использована таксономия Блума. С учетом рекомендаций Эталонного учебного плана по системной инженерии и Руководства к своду знаний по системной инженерии [6, 7] описана совокупность требований к ОП по СИ, пригодная для использования в качестве основы при разработке вузами собственных ОП подготовки магистров по инженерным направлениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hitchins D.K.* Systems Engineering. A 21st Century Systems Methodology. – Wiley, 2007. – 504 p.
2. *Ramo S., St.Clair R.K.* The Systems Approach. Fresh Solutions to Complex Problems through Combining Science and Practical Common Sense. – KNI Incorporated, Anaheim, California, 1998. – 168 p.
3. *Kossiakoff A. et al.* Systems Engineering. Principles and Practice. – Wiley, 2011. – 559 p.
4. *Батоврин В.К.* Управление жизненным циклом электронных образовательных ресурсов на основе оценки ценности // Труды XVIII Всероссийской научно-методической конференции “Телематика’2011”. – СПб.: ИТМО, 2011. – Т. 1 – С. 100-101.
5. *Батоврин В.К.* Современные тенденции в организации профессиональной подготовки инженерных кадров // Федерализм. – 2013. – № 3 (71). – С. 51-66.
6. Graduate Reference Curriculum for Systems Engineering – GRCSE (version 1.0). – December 2012. Режим доступа: <http://www.bkcase.org>.
7. Systems Engineering Body of Knowledge – SEBoK (v.1.10). – April 2013. Режим доступа: <http://www.bkcase.org>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.М. Глумов.

Батоврин Виктор Константинович – Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА); e-mail: batovrin@mirea.ru; 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, 78; тел.: 84954349445; кафедра информационных систем; зав. кафедрой

Batovrin Victor Konstantinovich – Moscow State Technical University for Radioengineering, Electronics and Automation (MSTU MIREA); e-mail: batovrin@mirea.ru; 78, Prospect Vernadskogo, Moscow, 119454, Russia; phone: +74954349445; the department of information systems; head of department

УДК 004.42

Е.Р. Мунтян, М.Ю. Поленов, А.И. Костюк

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Приведено описание программной среды используемой при формировании управленческих решений в вузах. Данное программное обеспечение разработано на кафедре вычислительной техники Инженерно-технологической академии Южного федерального университета (ЮФУ). Исходными данными для созданного программного продукта являются список профессорско-преподавательского состава и таблица, содержащая сведения об учебной нагрузке отдельной кафедры. Разработанная среда позволяет автоматизировать генерацию индивидуальной учебной нагрузки, представленной в XML-формате, которая может быть далее преобразована в файл excel-формата. Синтезированный алгоритм расчета учебной нагрузки преподавателей кафедры учитывает все виды учебной нагрузки, используемые в ЮФУ в настоящее время, однако содержание таблиц базы данных может