

Системная инженерия

УДК 372.862

СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ЕЁ ВНЕДРЕНИЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

П.С. Чубик, Н.Г. Марков, Е.А. Мирошниченко, Т.С. Петровская

Томский политехнический университет

E-mail: chubik@tpu.ru; markovng@tpu.ru; mir@tpu.ru; pts@tpu.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью развития российского инженерного образования в области системной инженерии, вызванной потребностью промышленности в специалистах по созданию сложных гетерогенных систем.

Цель работы: определить задачи развития инженерного образования в области системной инженерии в России в целом и в Томском политехническом университете в частности и выработать предложения по их решению.

Методы исследования: анализ средств массовой информации, анализ литературы, анализ образовательных программ, системный анализ.

Результаты: выполнено краткое введение в проблемы, принципы и методы системной инженерии; проанализировано состояние образования в этой области в России и за рубежом; рассмотрены инициативы и первый опыт Томского политехнического университета в области модернизации образовательных программ университета в соответствии с принципами системной инженерии.

Выводы: состояние дел по образованию в области системной инженерии в России можно оценить как катастрофическое. Российские вузы совместно с промышленностью должны предпринять ряд эффективных шагов по внедрению мирового опыта в области обучения и применения системной инженерии. Внедрение должно происходить поэтапно и непрерывно, на основе формирования типовых программ и дисциплин, с учётом специфики образовательных профилей. Элементы системной инженерии целесообразно и необходимо вводить в подготовку бакалавров. Элементы прикладного системного анализа могут быть встроены в виде модулей в существующие дисциплины младших курсов.

Ключевые слова:

Системная инженерия, разработка сложных систем, инженерные образовательные программы, процессный подход, архитектурное проектирование.

Введение

По данным CNN Money и PayScale профессия системного инженера в 2009 г. считалась в США наиболее престижной и перспективной, обойдя обычных лидеров – программистов, врачей, юристов и финансистов [1]. Парадоксально, но немногие в России вообще слышали об этой профессии, что подтверждают результаты исследования по России, проведенного ВЦИОМ. В отечественных рейтингах такая профессия не значится [2]. Неудивительно, что российские специалисты оценивают состояние дел по образованию в области системной инженерии в России как катастрофическое [2–5].

Суть катастрофы становится понятной, если принять во внимание, что в настоящее время во всём мире системная инженерия является методологической основой организации и осуществления деятельности по созданию и эксплуатации систем

любого класса и назначения [3]. Для многих крупных производственных корпораций мирового рынка, создающих сложные системы, обязательным требованием к инженерам является знание и применение принципов системной инженерии, а ведущие зарубежные технические университеты готовят системных инженеров по заказу таких корпораций [3, 4].

Статья посвящена введению в проблематику системной инженерии, анализу состояния образования в этой области в России и за рубежом, а также рассмотрению инициативы и первого опыта Томского политехнического университета в области разработки «Программы модернизации ООП университета в соответствии с принципами системной инженерии». Авторы полагают, что данная статья открывает целый цикл статей, связанных с этой проблематикой.

Методология системной инженерии

Специалисты отмечают значительный рост сложности современных технических и социотехнических систем, принципиально комплексный, мультидисциплинарный характер их создания и эксплуатации, включающий в себя технические, политические, юридические, экологические, информационные, социальные и организационные аспекты. Количество таких систем нарастает лавинообразно, а сами системы превосходят исторические примеры как по сложности, так и по масштабу вовлечения разнородных организаций и даже государств. Среди технических примеров достаточно упомянуть строительство Большого адронного коллайдера, в строительстве и исследованиях с помощью которого участвовали более 10 тыс. учёных и инженеров из более чем 100 стран, а среди политико-социотехнических – построение единого Европейского союза из 27 европейских государств. В некоторых крупных проектах насчитываются тысячи подрядчиков, у каждого из которых часто не только свой национальный, но и свой профессиональный язык общения. Существенная характеристика абсолютного большинства создаваемых современных систем состоит в том, что они являются *программно-интенсивными*, в значительной мере основанными на компьютерах. Это обстоятельство не просто отмечается как один из многих факторов, оно заставляет пересматривать сложившиеся подходы к разработке и эксплуатации систем.

Указанные тенденции на фоне быстрого возрастания сложности возникающих при этом научно-технических и управленческих проблем закономерно привели к появлению и бурному развитию в XX в. двух смежных и взаимодополняющих научно-инженерных дисциплин: управлению проектами и системной инженерии. Считается, что решающим фактором, который привёл к появлению современной системной инженерии, стали крупные военно-инженерные проекты периода Второй мировой войны и срезу после её окончания. Называют два ключевых примера: Манхэттенский проект и проект по разработке ракетных вооружений, сочетающий в себе различные технологии, такие как системы управления и связи, радарные системы, системы аэродинамики, системы двигателей и ряд других.

На начальном этапе своего развития системная инженерия определялась как *комплексный подход к проектированию сложных систем*, а в качестве её ключевой цели указывалось соединение в единое целое собственно проектирования, нового научного аппарата, новой классификации частей, особой организованности и коллективных, бригадных методов работы [6].

Современных определений системной инженерии немало, и все они при формальном различии верно отражают те или иные аспекты этой дисциплины. В стандарте ISO/IEC/IEEE 24765:2010 системная инженерия определяется как *«междисци-*

плинарный подход, определяющий полный набор технических и управленческих усилий, необходимых для преобразования совокупности потребностей и ожиданий клиента и имеющихся ограничений в решение и для поддержки этого решения на протяжении его жизни». Международный совет по системной инженерии (International Council on Systems Engineering, INCOSE) определяет её следующим образом: *«Системная инженерия – это междисциплинарный подход и средства для обеспечения реализации успешных систем. Системная инженерия нацелена на целостное и согласованное понимание потребностей заинтересованных сторон; исследование возможностей; документирование требований; синтез, верификацию, валидацию и развитие решений при рассмотрении задачи во всей полноте, от исследования замысла системы до её ликвидации»* [7].

Системная инженерия давно переросла рамки инженерной дисциплины и превратилась в междисциплинарный подход, активно использующий достижения различных отраслей знаний: программной инженерии, эргономики, управления проектами, управления качеством, математики, философии, лингвистики, теории принятия решений, операционного исчисления и др.

Наряду с общим практическим и методологическим назначением системной инженерии выделяют также шесть важных специальных областей её применения: бизнес-процессы и оценка функционирования (Business Processes and Operational Assessment); архитектура систем, решений и тестирования (System/Solution/Test Architecture); анализ стоимости жизненного цикла и соотношения прибылей и затрат (Life Cycle Cost & Cost-Benefit Analysis); обеспечение пригодности к обслуживанию и логистика (Serviceability/Logistics); моделирование, имитационное моделирование и анализ (Modeling, Simulation, & Analysis); управление рисками, конфигурацией, состоянием (Management: Risk, Configuration, Baseline).

К настоящему времени системная инженерия не просто получила безоговорочное практическое признание, но вышла на уровень международной стандартизации (за последние годы принято около трёх десятков международных стандартов в этой области) и даже пошла дальше: другие международные стандарты постепенно начинают меняться и приводиться в соответствие с «системноинженерными» стандартами [3, 5].

Системная инженерия предполагает гармонию в своём составе ряда подходов [8], среди которых наиболее важными являются следующие:

- переход от редуционистского к системному подходу;
- переход от структурного к процессному подходу;
- переход от одной группы описаний ко множественности групп описаний;
- переход от рабочего проектирования (конструирования, дизайна) к обязательному предварительному архитектурному;

- переход от непосредственной реализации к моделирующей реализации;
- переход от документоцентризма к датацентризму.

Системная инженерия сосредоточена на всестороннем рассмотрении полного жизненного цикла системы, включая обеспечение заданных функциональных возможностей и характеристик, соблюдение смет и графиков работ, верификацию, производство и сопровождение, обучение персонала, вывод из эксплуатации и утилизацию системы. В рамках этого подхода сформирован единый методологический базис для описания всех процессов жизненного цикла систем.

Наиболее сложные и запутанные взаимоотношения в исторической перспективе существуют между системной инженерией и управлением проектами. Обе дисциплины имеют внешне сходные цели и задачи, обе претендуют на охват комплекса проблем, связанных с созданием и эксплуатацией сложных систем различной природы. В то же время эти дисциплины возникли и развивались самостоятельно и относительно независимо, нарабатывая собственный понятийный аппарат, собственные стандарты, собственную систему обучения и сертификации и т. д. Несмотря на важную роль управления при создании продукции и предоставлении услуг системная инженерия – это более техническая, нежели управленческая дисциплина. Системная инженерия сосредоточена на *технических процессах*, таких как анализ требований, проектирование, конструирование, изготовление, верификация и валидация, функционирование, обслуживание и сопровождение, изъятие и списание, тогда как управление проектами сосредоточено на *организационных и управленческих процессах*, таких как приобретение и поставка; управление инфраструктурой, инвестициями, персоналом, рисками; планирование, оценка и контроль проекта и т. д. Если проектный менеджер в основном сосредоточен на *потоке работ*, то системный инженер – главным образом на *целевой системе*, при том что в целом различие между двумя этими видами деятельности значительно, однозначную, детерминированную границу между ними провести невозможно. В связи с этим уместно упомянуть, что с 1990-х гг. идёт постепенная конвергенция между системной инженерией и управлением проектами, а в последнее время вопрос об их взаимном влиянии и проникновении находится в стадии активного решения. Одним из признаков и одновременно следствием этого процесса является то, что абсолютно все классические процессы управления проектами вошли в ключевой стандарт по системной инженерии – ISO/IEC 15288 [9].

Вопрос о судьбе системной инженерии в нашей стране непрост. В СССР было реализовано множество сложных и крупных проектов, как гражданских, так и военных. Соответственно, был накоплен колоссальный опыт как в области управления проектами и процессами, так и в области соб-

ственно инженерной. Таким образом, вопрос о том, существовали ли в СССР системные инженеры (не по названию, а по сути), даже не рассматривается. Например, генеральный конструктор С.П. Королёв, согласно мнению современных специалистов, – это настоящий «стихийный» системный инженер. Слово «стихийный» означает отсутствие специального образования, поскольку ни системных инженеров, ни генеральных конструкторов в советских вузах, в отличие от зарубежных, не готовили.

В 1961 г. в СССР вышел перевод первой в мире книги по системной инженерии Г.Х. Гуда и Р.Э. Макола «System engineering». Редакции издательства «Советское радио» (в последующем «Радио и связь») не понравился буквальный перевод «системная инженерия», и был изобретён термин «системотехника» (по одним источникам автором слова был профессор Московского энергетического института Ф.Е. Темников, по другим – редактор русского перевода Г.Н. Поваров [6]). Термин «системотехника» вошел в историю становления системных исследований в нашей стране, кафедры системотехники появились во многих вузах. Термин со временем претерпел огромные изменения по сравнению с первоначальным смыслом. Поскольку в слове в явном виде звучала «техника», термин «системотехника» довольно быстро стал использоваться в основном в приложениях системных методов только к техническим направлениям и быстро стал утрачивать первоначальный смысл прикладной теории (технологии) систем, превратившись со временем в узкое понятие из области автоматизированных систем управления, а впоследствии мода на «системотехнику» прошла [2].

Подготовка специалистов по системной инженерии

За рубежом потребность индустрии в системных инженерах постоянно растёт и проблема подготовки системных инженеров приобретает всё большую актуальность. Сотрудничество западных университетов с промышленностью в этой связи находится на высоком уровне.

В настоящее время подготовку по системной инженерии в мире осуществляют около 250 университетов, среди которых примерно 60 европейских вузов, около 80 университетов из США и примерно 100 университетов из других стран мира [6]. Массачусетский технологический институт при реализации образовательных программ по системной инженерии сотрудничает с более чем 20 крупнейшими мировыми компаниями, а годовой бюджет этих программ составляет около ста миллионов долларов [4]. При этом речь идёт именно о подготовке системных инженеров, а не о простом наличии в учебном плане отдельной дисциплины введения в предмет.

В России системных инженеров не готовят. Учебно-методическое и другое ресурсное обеспечение такого образования планомерно не развивается. Вся работа ложится на плечи отдельных энтузиастов

тов. Благодаря их усилиям курс «Системная инженерия» читается сегодня в МФТИ, МИРЭА и МИ-СиС, в Уральском федеральном университете и ещё двух–трёх вузах. Программа обучения системной инженерии в 2012 г. включена в каталог учебных программ и курсов учебно-методического центра Всероссийского научно-исследовательского института по эксплуатации атомных электростанций (ВНИИАЭС). С 2012–2013 учебного года курс «Системная инженерия» преподаётся в магистерской подготовке ТПУ (направление 230400 «Информационные системы и технологии», профиль «геоинформационные системы»).

Иногда можно встретить информацию о том, что в тех или иных российских вузах готовят системных инженеров. В качестве примера можно привести две программы подготовки в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики: в «Центре авторизованного обучения IT-технологиям» и в «Академии методов и техники управления». Первая программа под «системным инженером» подразумевает «специалиста по проектированию, созданию и администрированию информационных систем», вторая – «специалиста по эксплуатации аппаратно-программных комплексов персональных ЭВМ и сетей». Очевидно, подобный казус является следствием слабой информированности некоторых вузов и общего разрыва с мировым опытом в этой области.

Целенаправленную подготовку системных инженеров даже в наиболее передовых вузах России пока заменяет включение в учебный план отдельной дисциплины обзорного характера под названием «системная инженерия» или «введение в системную инженерию». Это лучше, чем ничего, однако подобная дисциплина не способна сформировать соответствующего специалиста и может служить лишь импульсом к дальнейшему самообразованию.

В свою очередь, недостаток системного подхода в образовании, науке, экономической, общественной, государственной и международной деятельности приводит российское образование, науку, производство, экономику к функционированию на низких уровнях иерархии в интеграции в систему международного разделения труда, к специализации на низкотехнологичных, низкосистемных и низкооплачиваемых видах деятельности [10].

Специалисты считают [3], что при организации образования в области системной инженерии в России с учётом мирового опыта первоочередные усилия следует сосредоточить на:

- консолидации профессиональной и академической общественности, заинтересованной в преодолении кризиса инженерного образования в нашей стране;
- ускоренном изучении и внедрении передового зарубежного опыта организации обучения системной инженерии и подготовки системных инженеров;

- выделении пилотных направлений подготовки для апробации разрабатываемых учебных программ;
- ускоренном формировании комплекса эталонных учебно-методических материалов по системной инженерии, доступных в Интернет;
- специальной подготовке отечественных преподавателей по системной инженерии и смежным дисциплинам в ведущих зарубежных вузах, осуществляемой при поддержке российской промышленности и профессиональных организаций;
- переводе на русский язык комплекса лучших зарубежных учебников и книг по системной инженерии.

Важно не совершать прошлых ошибок, к которым можно отнести не критичное стремление к «самобытности». Большинство специалистов отмечает, что, например, введение термина «системотехника» было не последним фактором в печальной судьбе системной инженерии в СССР [2–6]. Однако авторы некоторых современных публикаций, верно описывая проблему и состояние дел, при этом призывают «не гнаться за импортными стандартами образования в области Systems Engineering», а создать «принципиально новое направление образования и деятельности», предлагая в качестве его названия термин «системостроение» [10]. Нужно ли говорить, что «системостроение» очевидно ничем не лучше «системотехники». Предложение «не следовать зарубежным путём», взамен создавая «принципиально новое направление», не учитывает имеющийся негативный опыт.

Внедрение преподавания системной инженерии в образовательные программы ТПУ

В 2012 г. в ТПУ инициирован проект с целью создания нормативной и методической базы для интеграции принципов системной инженерии в образовательные программы бакалавриата и магистратуры в области техники и технологий. Рабочей группой был выполнен анализ понятия «системная инженерия», сделан обзор текущего состояния дел по системной инженерии в мире и России, определение задач системы образования для становления системной инженерии в России, проведён анализ основных образовательных программ (ООП) магистратуры ТПУ с точки зрения преподавания системной инженерии, сформулированы предложения по организации преподавания системной инженерии в ТПУ [11].

В результате анализа образовательных программ магистерской подготовки в области техники и технологий в университете установлено, что они могут быть объединены в три группы.

Первая группа включает в себя образовательные программы, связанные с автоматизацией технологических процессов и IT-технологиями. Эти ООП в наибольшей мере отвечают требованиям подготовки магистров с компетенциями в области системной инженерии. Магистранты изучают дисциплины, в которых им преподаются основная

терминология, понятия, методы и подходы, используемые в том числе в системной инженерии. Хорошая основа закладывается уже на уровне предшествующей бакалаврской подготовки по этим направлениям.

Вторая группа объединяет образовательные программы направлений, ориентированных на формирование компетенций, необходимых для создания, эксплуатации и сервисного обслуживания устройств, аппаратов и агрегатов (например, «Теплоэнергетика и теплотехника», «Машиностроение» и др.). Эти ООП отличает сравнительно большая проектная практика. Почти во всех программах этой группы в той или мере представлены дисциплины профессионального цикла, где закладываются знания и навыки проектирования, конструирования, дизайна, а в отдельных случаях – элементы системного анализа. При бакалаврской подготовке студенты приобретают опыт проектирования объектов профессиональной деятельности, однако бакалавры и магистранты практически не погружены в предмет и стандарты системной инженерии и в малой степени владеют современной терминологией в этой сфере.

Третья группа включает в себя образовательные программы, доминирующим признаком которых является формирование компетенций, связанных с технологическими процессами и явлениями, относящимися к естественным наукам (например, «Материаловедение и технология материалов», «Химическая технология» и др.). Эти магистерские программы ориентированы на анализ процессов, проектирование и управление ими в сфере технологий. Как и программы второй группы, они не закладывают значимого базиса для системной инженерии.

Опираясь на зарубежный и отечественный опыт, а также на проведенный анализ, рабочая

группа сформулировала целый ряд предложений по становлению преподавания системной инженерии в ТПУ. Объем статьи не позволяет рассмотреть все эти предложения, однако можно особо отметить следующие.

1. Элементы системной инженерии целесообразно и необходимо вводить в подготовку бакалавров. Элементы прикладного системного анализа могут быть встроены в виде модулей в существующие дисциплины младших курсов. В рамках таких модулей также рекомендуется знакомить студентов с языками архитектурного описания систем (Archimate, SysML). Азы управления проектами должны даваться студентам в рамках многосеместрового модуля «Подготовка к комплексной инженерной деятельности».
2. Учитывая упомянутое разделение программ магистратуры в области техники и технологий по трем группам, целесообразно провести разработку трёх унифицированных дисциплин «Системная инженерия» разной сложности. При этом для второй и третьей групп программ магистратуры эти курсы могут иметь одинаковую теоретическую часть, но различаться по наполнению практической составляющей.

В рамках блока предложений особо рассмотрена проблема подготовки и переподготовки преподавательского состава.

С весеннего семестра 2013 г. на кафедре вычислительной техники ТПУ начато преподавание дисциплины «Системная инженерия» в рамках подготовки магистров по направлению 230400 «Информационные системы и технологии». Опыт преподавания, использованные подходы, выявленные проблемы и используемые решения требуют отдельного анализа и будут рассмотрены в следующей статье цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Best jobs in America: Money/PayScale.com's list of great careers // CNN Money. 2009. URL: <http://money.cnn.com/magazines/money/mag/bestjobs/2009/snapshots/1.html> (дата обращения: 01.06.2013).
2. Холкин Д.В. Системная инженерия – новая профессия для новой энергетики // Энергоразвитие. – 2011. – № 3 (13). – С. 1–3.
3. Аркадов Г.В., Батоврин В.К., Сигов А.С. Системная инженерия, как важнейший элемент современного инженерного образования // Инженерное образование. – 2012. – № 9. – С. 12–25.
4. Батоврин В.К. Образование в системной инженерии – проблемы подготовки специалистов для создания конкурентоспособных систем // Открытое образование. – 2010. – № 6. – С. 164–172.
5. Батоврин В.К. Современное состояние международных стандартов системной и программной инженерии // Бизнес-информатика. – 2009. – № 3. – С. 3–10.
6. Батоврин В.К. Современная системная инженерия. Этапы развития // Датчики и системы. – 2013. – № 3. – С. 48–59.
7. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) version 1.0. 2012. URL: www.sebokwiki.org (дата обращения: 01.06.2013).
8. Левенчук А.И. Десять гармонизированных подходов системной инженерии. 2009. URL: <http://ailev.livejournal.com/699665.html> (дата обращения: 01.06.2013).
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288–2005 «Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем», ISO/IEC 15288:2008 – System Life Cycle Processes. – М: Стандартинформ, 2006. – 57 с.
10. Говоров В.Л., Галахов М.А., Иванов М.Г. Системные проблемы образования в России и предположения по их решению. 2012. URL: <http://sch.fizteh.ru/think-info/syst-obr-arph5fgmgji.pdf> (дата обращения: 01.06.2013).
11. Системная инженерия и задачи инженерной подготовки в ТПУ. Аналитический обзор. 2012. URL: http://portal.tpu.ru:7777/standard/design/syst_engineerin/Tab/Syst.pdf (дата обращения: 01.06.2013).

Поступила 15.07.2013 г.

SYSTEMS ENGINEERING AND ITS APPLICATION TO EDUCATIONAL PROGRAMS OF THE TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY

P.S. Chubik, N.G. Markov, E.A. Miroshnichenko, T.S. Petrovskaya

Tomsk Polytechnic University

The urgency of the work is caused by the need to develop Russian engineering education in the field of systems engineering caused by industry demand for specialists in developing complex heterogeneous systems.

Study objective is to determine tasks of engineering education development in the field of systems engineering in Russia as a whole and at the Tomsk Polytechnic University in particular, and to develop proposals to solve them.

Study methods: analysis of mass media, literature review, analysis of educational programs, systems analysis.

Results: The authors have carried out a brief introduction into the issues, principles and methods of systems engineering. The state of education in this field in Russia and abroad was analyzed. The initiatives and the first experience of the Tomsk Polytechnic University in modernization of educational programs in accordance with the principles of systems engineering were considered.

Conclusions: The state of education in the field of systems engineering in Russia can be considered as catastrophic. Russian universities and industry have to take a number of effective steps for implementing the world experience in the field of learning and application of systems engineering. Implementation should be gradual and continuous based on the creation of sample programs and courses, subject to specificity of educational profiles. It is appropriate and necessary to introduce systems engineering elements into bachelors training. Fundamentals of the applied system analysis can be integrated into existing courses of the first years as modules.

Key words:

Systems engineering, development of complex systems, engineering educational programs, process approach, architectural design.

REFERENCES

1. *Best jobs in America: Money/PayScale.com's list of great careers.* CNN Money. 2009. Available at: <http://money.cnn.com/magazines/moneymag/bestjobs/2009/snapshots/1.html> (accessed 01 June 2013).
2. Holkin D.V. Sistemnaya inzheneriya – novaya professiya dlya novoy energetiki [Systems Engineering is a new profession for new power engineering]. *Energorazvitie*, 2011, no. 3 (13), pp. 1–3.
3. Arkadov G.V., Batovrin V.K., Sigov A.S. Sistemnaya inzheneriya, kak vazhneyshiy element sovremennogo inzhenernogo obrazovaniya [Systems Engineering as an essential element of modern engineering education]. *Inzhenernoe obrazovanie*, 2012, no. 9, pp. 12–25.
4. Batovrin V.K. Obrazovanie v sistemnoy inzheneriy – problemy podgotovki spetsialistov dlya sozdaniya konkurentosposobnykh sistem [Education in systems engineering – the problems of training engineers for developing competitive systems]. *Otkrytoe obrazovanie*, 2010, no. 6, pp. 164–172.
5. Batovrin V.K. Sovremennoe sostoyanie mezhdunarodnykh standartov sistemnoy i programmnoy inzhenerii [The current state of international standards of systems and software engineering]. *Biznes-informatika*, 2009, no. 3, pp. 3–10.
6. Batovrin V.K. Sovremennaya sistemnaya inzheneriya. Etapy razvitiya [Modern Systems Engineering. Stages of evolution]. *Datchiki i sistemy*, 2013, no. 3, pp. 48–59.
7. *Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) version 1.0.* 2012. Available at: www.sebokwiki.org (accessed 01 June 2013).
8. Levenchuk A.I. Desyat harmonizirovannykh podkhodov sistemnoy inzhenerii [Ten harmonized approaches of systems engineering]. 2009. Available at: <http://ailev.livejournal.com/699665.html> (accessed 01 June 2013).
9. GOST R ISO/MEK 15288–2005 *Informatsionnaya tehnologiya. Sistemnaya inzheneriya. Protsessy zhiznennogo tsikla system* [State Standard 15288–2005. Information technology. Systems Engineering. System Life Cycle Processes] ISO/IEC 15288:2008 – System Life Cycle Processes. Moscow, Stadartinform, 2006. 57 p.
10. Govorov V.L., Galahov M.A., Ivanov M.G. *Sistemnye problemy obrazovaniya v Rossii i predpolozheniya po ikh resheniyu* [Systemic problems of education in Russia and assumptions for dealing with them]. 2012. Available at: <http://sch.fizteh.ru/think-info/syst-obr-arph5fgmgji.pdf> (accessed 01 June 2013).
11. *Sistemnaya inzheneriya i zadachi inzhenernoy podgotovki v TPU. Analiticheskiy obzor* [Systems Engineering and objectives of engineering education in the TPU. Analytical review]. 2012. Available at: http://portal.tpu.ru:7777/standard/design/syst_engineerin/Tab/Syst.pdf (accessed 01 June 2013).