

# Системная инженерия, как важнейший элемент современного инженерного образования

*Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций*

**Г.В. Аркадов**

*Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики*

**В.К. Батоврин, А.С. Сигов**

**Обсуждается необходимость включения системной инженерии в образовательные программы в сфере инженерного образования. Охарактеризована методология системной инженерии. Определена необходимость образования в системной инженерии, рассмотрены проблемы организации такого образования и требования к образовательным программам в этой области. Показано, что подготовка по системной инженерии является одним из ключевых инструментов формирования нового поколения инженеров, готовых создавать системы, конкурентоспособные на мировом рынке.**

**Ключевые слова:** системная инженерия, инженерное образование, конкурентоспособная система, образовательная программа.

**Key words:** systems engineering, engineering education, competitive system, educational programs.

## Введение

Отечественные предприятия, занятые в области высоких технологий, испытывают все возрастающий дефицит инженерных кадров, способных создавать конкурентоспособную продукцию и услуги. В результате крупные компании, работающие в атомной, аэрокосмической, оборонной, энергетической и других отраслях, вынуждены с одной стороны усиливать давление на рынок образовательных услуг, требуя от учреждений российского высшего профессионального образования реализации образовательных программ мирового уровня, а с другой – во все возрастающих масштабах привлекать зарубежных специалистов, затрачивая на это немалые ресурсы.

Кризисные явления нарастают на фоне неготовности большинства отечественных технических вузов к выпуску специалистов, способных к свободному, творческому инженерному труду в условиях рыночной экономики, когда от инженеров требуются не только базовые фундаментальные знания, но и умения и навыки ставить и решать задачи развития научно-технической сферы [1].

С другой стороны, проблемы инженерного образования обостряются на фоне объективных изменений, происходящих во внешней среде, а именно:

- беспрецедентного усложнения основного продукта инженерной деятельности – систем;



Г.В. Аркадов



В.К. Батоврин



А.С. Сигов

- высокой скорости появления и освоения новых технологий при одновременной необходимости продления (иногда неоднократно) жизненного цикла систем, уже введенных в эксплуатацию;
- постоянного нарастания конкуренции на рынке инженерной продукции и услуг;
- быстрого усложнения самой инженерной деятельности, как в части её организации, так и в части реализации.

Качества, необходимые создателям сложных, современных систем, воспитываются и развиваются еще на студенческой скамье, именно на этапе базовой вузовской подготовки возможно достижение главной цели – формирование инженера, способного в дальнейшем к созданию систем, конкурентоспособных на мировом рынке. В этих условиях от отечественных инженерных вузов требуется высокий профессионализм, способность к непрерывному совершенствованию своих образовательных программ, готовность к творческому осмыслению достижений зарубежных коллег при учете реалий отечественного рынка образовательных услуг.

В аналитическом докладе [2], подготовленном группой известных российских специалистов, указывается, что в основе всей идеологии отечественного профессионального образования лежит представление о том, каким должен быть специалист, какова техника подготовки специалистов, как добиться определенного качества специалистов, но не само представление о специализации. Анализ показывает, что на фоне постоянного появления все новых и новых специальностей и повышения требований к специалистам успех карьеры практически не зависит от названия специальности, указанной в дипломе. На основании этого авторы упомянутого доклада делают обоснованный вывод, что сама доктрина отечественного высшего образования

вызывает вопрос в части содержания и организации процесса обучения и воспитания молодых людей, поскольку вуз может снабдить выпускника определенными знаниями и компетенциями, но специалистом выпускник становится только через профессиональную практику.

Наша страна и отечественные специалисты, несмотря на более чем двадцатилетний застой в деятельности по созданию сложных систем и развитию новых технологий, ещё не утратили способности к разработке высокотехнологичных систем и поддержке их полного жизненного цикла (ЖЦ). Однако в целом конкурентоспособность систем, создаваемых отечественными инженерами в последние годы, неуклонно снижается. По мнению авторов, одна из коренных причин такого положения кроется в недооценке отечественными компаниями и высшей инженерной школой ключевой роли системной инженерии в обеспечении конкурентоспособности систем, создаваемых нашими инженерами. Полагаем, что именно системная инженерия и её важнейшие разделы, такие как программная инженерия, инженерия требований, управление изменениями, проектирование архитектур и другие являются фундаментом для построения устойчивой конструкции, в которой поддерживается ясная и стабильная связь между миссией, стратегическими целями, задачами и измеримыми результатами инженерной деятельности.

В свете сказанного становится очевидной особая роль образования в области системной инженерии при подготовке инженеров самого различного профиля от инженеров-механиков до радиоинженеров, инженеров-атомщиков, инженеров-авиастроителей, биоинженеров, программных инженеров и других специалистов по созданию систем и их элементов. Дело в том, что основная задача системной инженерии – дать заинтересованным сторонам метод и инструмент для создания

эффективных систем различных классов, отвечающих нуждам и потребностям людей. Для решения этой задачи системная инженерия, развиваясь как комплексный подход и методика, сосредоточивает внимание на самой сути, сердцевине инженерной деятельности, рассматривая её ключевые аспекты в тесной взаимосвязи. Таким образом, системная инженерия, будучи включенной в образовательные программы в сфере инженерного образования, может стать основой для создания современного комплекса программ подготовки инженеров различного профиля, той основой, которая позволит с успехом формировать совокупность компетенций, необходимых выпускникам вузов для успешной адаптации к разнообразным профессиональным инженерным практикам.

#### **Методология системной инженерии**

Системная инженерия как новая прикладная системная методология появилась в середине XX века в ответ с одной стороны, на резкое усложнение научных, технических и управленческих проблем, возникающих при создании систем, а с другой – на рост ответственности за результаты этой деятельности [3,4]. Сегодня мировое научное и индустриальное сообщества признают системную инженерию в качестве методологической основы организации и осуществления деятельности по созданию систем любых классов и назначения. В свою очередь, среди направлений, где системная инженерия сосредоточивает первоочередные усилия, выделяются: управление деятельностью по созданию систем; подготовка кадров; стандартизация, развитие и обеспечение процессов системной инженерии и ряд других [5].

В научных и методических разработках зарубежных ученых системная инженерия сформировалась как междисциплинарный подход и методика, определяющие полный набор технических и управленческих усилий, необходимых для того, чтобы

преобразовать совокупность потребностей заказчика и других заинтересованных сторон, имеющих ожидания и ограничений в эффективное системное решение и поддерживать это решение в течение его жизни [6].

Более 40 лет тому назад А. Холл в своей известной книге [4] впервые описал методологию системной инженерии, определив её, как организованную творческую технологию и выделив в качестве основных следующие положения.

Первое – системная инженерия многоаспектна, и этот факт должен быть обязательно отражен при определении её предмета.

Второе – в основу деятельности системного инженера должно быть положено понимание, что целью всего процесса системной инженерии является оптимальное проведение функциональных границ между человеческими интересами, системой и её окружением. В самом же окружении выделяются три главных составных части:

- Физическое и техническое окружение.
- Деловое и экономическое окружение.
- Социальное окружение.

Третье – системная инженерия уделяет первостепенное внимание исследованию потребностей, в основе которого должно лежать использование передовых экономических теорий, учет потребностей рынка и возможность изменения этих потребностей как сейчас, так и в будущем.

Еще одна важная особенность системной инженерии заключается в тесной взаимосвязи системного мышления и системной инженерии. Действительно, основная идея системного мышления состоит в выявлении, наблюдении и понимании сложного эмерджентного поведения, возникающего в результате динамического взаимодействия систем в процессе работы. Но способность действовать на языке систем (которая так важна для инженера) не описана

в литературе по системному мышлению, а именно в этой области, на что в своей книге обращает внимание Г. Лоусон [7], системная инженерия дополняет системное мышление. Эта особенность системной инженерии еще раз подчеркивает важность её изучения для формирования мировоззрения современного инженера.

Таким образом, с первых шагов своего развития и по настоящее время системная инженерия в качестве основы инженерной деятельности выделяет системное, комплексное, совместное использование достижений техники, управления, экономики и других дисциплин. Именно такой подход придает системной инженерии особую актуальность, позволяет использовать её достижения для построения различных по назначению и природе систем в их развитии, и отличает (но не противопоставляет) системную инженерию от других более знакомых российским специалистам дисциплин, таких как управление качеством, управление проектами, управление поставками, управление ресурсами, управление рисками и т.д.

Суть системной инженерии как дисциплины, которая для достижения своих целей в рамках управления полным ЖЦ ориентируется и на решение задач управления, и на решение задач проектирования, отмечается многими специалистами. Так, крупнейший современный авторитет в этой области А. Сейдж указывает, что системная инженерия является технологией управления, сосредоточенной на контроле процессов полного ЖЦ с целью определения, разработки и применения экономически эффективных, высококачественных, надежных систем, отвечающих потребностям потребителя [8].

Понимая под ЖЦ процесс развития системы, продукта, услуги, проекта или другого созданного человеком объекта от появления замысла и формирования концепции до изъятия из обращения, системная инженерия в качестве цели управления ЖЦ ставит достижение организа-

цией состояния, когда она способна на надлежащим образом выстроенной методической основе выбирать и реализовывать эффективные процессы ЖЦ. В результате система, представляющая интерес для заинтересованных сторон, развивается на протяжении ЖЦ и приобретает способность удовлетворять установленным требованиям.

Именно поэтому системная инженерия и для многих крупных корпораций, занятых на глобальном рынке и для ведущих зарубежных технических университетов стала сегодня важнейшей, ключевой дисциплиной, овладение которой в целом, наряду с углубленным изучением её важнейших разделов является обязательным для всех специалистов, предполагающих заниматься и уже занятых профессиональной инженерной деятельностью.

#### **Необходимость образования в области системной инженерии**

Силами международного сообщества системных инженеров за последние 10-15 лет разработана и успешно апробирована совокупность теоретических и практических рекомендаций по созданию сложных систем. Близок к завершению процесс формирования интегрированной системы международных стандартов и лучших практик, содержащих правила и положения по разработке систем и управлению их ЖЦ. В этой работе планомерно участвуют все официальные международные организации стандартизации. Кроме того, в этой области активно работают широко известные в мире профессиональные организации, среди которых выделяются IEEE и INCOSE, а также ведущие мировые производители систем, такие как Boeing Company, NASA, General Dynamics, BAE Systems и другие. По существу важнейшим результатом этой деятельности является происходящее буквально у нас на глазах формирование новой культурной среды разработки систем любого класса и назначения. В этой

среде сегодня работает абсолютное большинство успешных компаний, создающих системы, конкурентоспособные на мировом рынке.

Можно с горечью констатировать, что наша страна практического участия в формировании этой среды не принимала. Кроме того, у нас отсутствует персонал, готовый к планомерному, профессиональному применению положений и рекомендаций системной инженерии при создании систем и управлении их полным ЖЦ. К сожалению, никто и не готовит такой персонал планомерно и целенаправленно, с опорой на понимание нужд индустрии и общества. С учетом сказанного понятна необходимость организации образования в системной инженерии, причем как в рамках программ подготовки бакалавров и магистров, так и в системе дополнительного образования.

Следует также отметить, что сегодня в мире складывается положение, когда организации, занятые созданием сложных систем и их элементов, испытывают дефицит высококвалифицированных инженеров. Многие зарубежные эксперты, включая работодателей и работников высшей школы, заявляют о кризисе инженерного образования, который вызывается целым рядом причин, важнейшая из которых заключается в том, что быть инженером становится не выгодно. В частности, очень высокие требования к профессиональным компетенциям современного инженера предъявляются на фоне сравнительно невысокого уровня оплаты инженерного труда по сравнению, например, с трудом юристов, банковских служащих или управленцев. В этих условиях зарубежные коллеги высказывают мнение, что должный уровень постановки учебного процесса по системной инженерии может не только способствовать формированию единого культурного инженерного пространства, но и может помочь, о чем уже говорилось выше, в оживлении интереса молоде-

жи к профессиональной инженерной деятельности.

Свидетельством интереса зарубежного научно-педагогического сообщества к системной инженерии служит, в частности, тот факт, что за последние 3 года по рассматриваемой тематике на английском языке издано около 50 учебников и пособий, а сама системная инженерия и её отдельные разделы входят в учебные планы около 500 ведущих зарубежных университетов [9]. Методические материалы по системной инженерии и по её отдельным разделам широко представлены в образовательных сетях, в качестве примера можно назвать материалы MIT OpenCourseWare (<http://ocw.mit.edu/index.htm>) на портале Массачусетского технологического института. Наконец, крупнейшие правительственные учреждения и ведущие мировые компании различных стран разрабатывают собственные руководства по системной инженерии [10,11] и занимаются повышением квалификации в этой области своих сотрудников [12,13].

Полагаем, что, обсуждая проблемы реформирования российского инженерного образования, следует, в качестве одной из ключевых задач определить необходимость неотложного решения проблем образования в системной инженерии. Именно опора на системную инженерию способна дать возможность так организовать подготовку и переподготовку инженеров в российских вузах, чтобы на выходе были получены специалисты, способные формулировать цели и задачи по созданию конкурентоспособных систем, успешно управлять этой деятельностью и эффективно выполнять работы по их созданию.

### **Кому организовывать образование в системной инженерии?**

Для ответа на поставленный вопрос следует охарактеризовать отечественную инженерную среду. Напомним, что целевая подготовка системных инженеров в нашей стране

была начата достаточно давно: первая в СССР кафедра системотехники была организована в Московском энергетическом институте (МЭИ) в 1969 году. Постепенно подобные кафедры возникли во многих технических вузах страны, и к середине 80-х годов их, при поддержке отечественной промышленности, стало более 30. Таким образом, в СССР совместными усилиями вузов и индустрии были созданы условия для подготовки инженеров-системотехников в достаточном для страны количестве. Однако, количество не перешло в качество – отечественные инженеры-системотехники в своей основе не стали специалистами, готовыми создавать системы, конкурентоспособные на мировом рынке, специалистами, умеющими организовать и определить содержание комплекса работ по созданию сложной системы, обеспечить эффективное управление полным ЖЦ такой системы, творчески сочетать в этой работе достижения техники, управления и экономики. Наш инженер-системотехник подготавливался, в первую очередь, как технический специалист, разбирающийся в инженерных проблемах создания и функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами и владеющий технологиями создания отдельных системных элементов.

Можно указать на целый ряд причин, вызвавших подобное положение, но здесь мы укажем только на одну, а именно: оригинальный термин «System Engineering» при переводе был заменен термином «системотехника», который довольно быстро стал пониматься, как термин технический, относящийся только к сфере техники и технологий. Суть системной инженерии как междисциплинарного подхода и методики, о чем говорилось выше, оказалась в значительной степени утраченной. Можно сказать, что в период становления системотехники в СССР нашим специалистам не удалось в должной мере интегрироваться в мировую

среду системных инженеров, это затормозило развитие работ, а события конца 80-х, начала 90-х годов поставили здесь окончательную точку.

К объективным трудностям подготовки инженеров и осуществления инженерной деятельности в нашей стране прибавляется своя национальная беда – за последние двадцать лет мы по существу потеряли с одной стороны целое поколение специалистов-разработчиков систем, а с другой поколение преподавателей, способных на современной основе обучать студентов инженерному делу. У этого «потерянного поколения» отсутствует опыт участия в крупных системных разработках, нарушена связь с живыми носителями информации в этой области. Это поколение по существу не получило базовой, фундаментальной подготовки, отвечающей требованиям сегодняшнего дня и мировому уровню развития технологий, у заметной части этого поколения даже нет представления о достижениях мировой науки и инженерной мысли в области создания сложных систем. К сказанному следует добавить языковой барьер: как показывают оценки, большинство отечественных специалистов, а также выпускники ведущих технических университетов страны не готовы к работе в англоязычной профессиональной среде.

Отечественная высшая инженерная школа и работодатели сегодня во многом разобщены, распространена ситуация, когда крупные компании по существу заново обучают молодых инженеров, пришедших к ним на работу, приглашают к себе зарубежных специалистов, но налаживать серьезное, долговременное сотрудничество с высшей школой в силу множества причин считают нецелесообразным. Кроме того, опытные, квалифицированные кадры, подготовленные ещё в СССР, оказались психологически не готовы к восприятию современных зарубежных достижений – традиционная культура инженерной деятельности, унаследо-

ванная нами и современная западная культура подобной деятельности во многом разнятся между собой.

Преодоление культурных различий – одна из ключевых проблем, поскольку только на пути интеграции в мировое инженерное сообщество мы сможем сохранить и, возможно, развить свой национальный научно-технический потенциал в сфере создания конкурентоспособных систем. Сразу отметим, что для успешного преодоления культурных различий и накопившегося отставания недостаточно усилий одной только высшей школы. Важнейшую роль должна сыграть отечественная индустрия, которой следует найти свое место в мировом производственном процессе и на мировом рынке и сформировать ясное представление о том, какой должна быть национальная политика применительно к подготовке инженеров, способных создавать конкурентоспособные системы.

Таким образом, для организации образования в области системной инженерии нужны серьезные инфраструктурные сдвиги в отечественной инженерной среде. По существу нужно ответить, готова ли наша национальная образовательная система стать частью мировой образовательной системы и сможет ли отечественная высшая школа самостоятельно преодолеть кризис в подготовке инженеров, способных создавать конкурентоспособную продукцию и услуги. С другой стороны, наша инженерная высшая школа до сих пор не получила внятного ответа на вопрос, испытывают ли отечественная промышленность и бизнес потребность в инженерах, способных создавать конкурентоспособные системы? Или же стране в первую очередь нужны технические специалисты, готовые обслуживать зарубежную технику, а высокопрофессиональных инженеров будут нанимать, а, может быть, и учить за рубежом?

Отметим, что сотрудничество западных университетов с производителями сложных систем находится

на очень высоком уровне. Например, Массачусетский технологический институт, являющийся одним из лидеров по подготовке системных инженеров, при реализации образовательных программ в этой области сотрудничает более чем с 20 крупнейшими мировыми компаниями, среди которых Amazon.com, Inc.; Boeing Company; Dell; Harley-Davidson; General Dynamics; General Motors; Honeywell; Intel; Nokia; Northrop Grumman; Novartis AG; Raytheon и этот впечатляющий список можно продолжить.

Решение проблем инженерного образования, в частности, в системной инженерии, это общее дело отечественной индустрии и национальной высшей школы. Только целенаправленными, согласованными усилиями всех заинтересованных сторон можно решить главную задачу, а именно, обеспечить возможность устойчивого развития цельной отечественной инженерной среды, в которой могут создаваться сложные системы, конкурентоспособные на мировом рынке. Пока индустрия и вузы напрямую, минуя бюрократические барьеры, не договорятся между собой о подготовке инженеров, пока национальная промышленность не будет готова интегрироваться в международную инженерную среду и предложить выпускникам вузов достойные условия работы, пока сами инженерные вузы не осознают в полной мере необходимость срочной интеграции в мировую среду инженерного образования, системная инженерия останется в нашей стране делом отдельных энтузиастов.

В качестве повода для оптимизма здесь следует отметить, что вузы и промышленность начали решать эту задачу.

В конце 2010 года в национальном исследовательском ядерном университете МИФИ на факультете управления и экономики высоких технологий была образована кафедра стратегического планирования и методологии управления. Основные

задачи кафедры связаны с подготовкой инженеров, архитекторов и проектировщиков жизненного цикла сложных технологических объектов.

Несколько лет назад ряд ведущих инженерных вузов Москвы в тесном сотрудничестве с Международным советом по системной инженерии INCOSE учредили некоммерческую организацию – Русский институт системной инженерии – RISE, основной деятельностью которого является развитие системной инженерии в России.

В 2008–2011 годах при совместном участии Всероссийского научно-исследовательского института по эксплуатации атомных электростанций – ВНИИАЭС и RISE была проведена серия лекций, семинаров и конференций с участием ведущих мировых специалистов в области системной инженерии, управления жизненным циклом продукции и интеграции данных. Указанные мероприятия вызвали сильный интерес в инженерном сообществе и послужили фундаментом для запуска целого ряда инновационных проектов в атомной отрасли.

#### **Подходы к организации образования в системной инженерии**

Зарубежный опыт показывает, что на подготовку инженера-разработчика компонентов сложных систем уходит 6–8 лет, включая время подготовки в вузе, а для подготовки системного инженера, способного разрабатывать общесистемные решения и заниматься системной интеграцией, требуется 10–15 лет. Причем в последнем случае для достижения высокого уровня профессионализма системному инженеру необходим опыт работы в компании – мировом лидере в своей области. Таким образом, следует исходить из того, что обучение системной инженерии следует проводить на всех уровнях образовательных программ от бакалавриата до системы повышения квалификации и переподготовки инженеров.

При организации образования в системной инженерии полезно принять во внимание зарубежный опыт, анализ которого показывает, что первоочередные усилия следует сосредоточить:

- На консолидации профессиональной и академической общности, заинтересованной в преодолении кризиса инженерного образования в нашей стране.
- На ускоренном изучении и внедрении передового зарубежного опыта организации обучения системной инженерии и подготовки системных инженеров.
- На выделении пилотных направлений подготовки для апробации разрабатываемых учебных программ.
- На ускоренном формировании комплекса эталонных учебно-методических материалов по системной инженерии, доступных в сети Интернет. Здесь за основу могут быть взяты результаты работ по проекту VKCASE (Body of Knowledge and Curriculum to Advance Systems Engineering), нацеленному на создание свода знаний и учебного плана по современной системной инженерии [14]. Этот проект реализуется при поддержке Института инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE), Международного совета по системной инженерии (International Council on System Engineering, INCOSE), Ассоциации вычислительной техники (Association for Computing Machinery, ACM) и многих других всемирно известных академических и профессиональных организаций.
- На специальной подготовке отечественных преподавателей по системной инженерии и смежным дисциплинам в ведущих зарубежных вузах, осуществляемой при поддержке российской

промышленности и профессиональных организаций.

- На переводе на русский язык комплекса лучших зарубежных учебников и книг по системной инженерии, подобно тому, как это было сделано в СССР по инициативе профессора Г.Н. Поварова в 60-х годах прошлого века.

Проблемы консолидации профессиональной и академической общественности, заинтересованной в сохранении и развитии профессиональной инженерной среды в нашей стране, мы затронули выше.

При изучении зарубежного опыта организации образовательных программ выясняется, что коллеги выделяют два очевидных вопроса: выявление ключевых компетенций, необходимых инженеру-создателю сложных систем и формирование базовых требований к содержанию образовательных программ. В качестве примера можно привести публикацию 15 сотрудников Национального космического агентства США, которые в общей сложности имеют 390-летний (почти четыре века) коллективный опыт работы системными инженерами при реализации проектов в аэрокосмической области [15]. Эти специалисты выделили 11 основных личных качеств, которыми на их взгляд должен обладать хороший системный инженер, а именно:

1. Интеллектуальная любознательность, выражающаяся в первую очередь в способности и желании постоянно учиться новому.

2. Способность видеть целое даже при наличии множества мелких деталей, включающая, в частности, умение не терять основную главную цель и объединять для разговора на одном языке ученых, разработчиков, операторов и другие заинтересованные стороны, невзирая на изменения, возникающие по мере развития ЖЦ.

3. Способность к выделению общесистемных связей и закономерностей, с помощью которой

первоклассный системный инженер может помочь другим членам команды проекта в установлении места их системных решений в общей картине и в работе на достижение общих системных целей.

4. Высокая коммуникабельность – способность слушать, писать и говорить так, чтобы способствовать наведению мостов между инженерами и управленцами на основе использования единых терминов, процессов и процедур.

5. Выраженная готовность к лидерству и к работе в команде, предполагающая, в частности, наличие глубоких и многосторонних технических знаний, энтузиазма в достижении поставленных целей, креативности и инженерного инстинкта.

6. Готовность к изменениям, предполагающая, в том числе, понимание неизбежности изменений.

7. Приспособленность к работе в условиях неопределенности и недостаточности информации, предполагающая, в частности, способность к толкованию неполных и противоречивых требований.

8. Специфическая убежденность в том, что следует надеяться на лучшее, но планировать худшее, предполагающая, в частности, что системный инженер постоянно проверяет и перепроверяет детали, имеющие отношение к обеспечению технической целостности системы.

9. Наличие разнообразных технических навыков – способность применять обоснованные технические решения, что требует от системного инженера знание множества технических дисциплин на уровне эксперта.

10. Уверенность в себе и решительность, но не высокомерие, так как даже хороший системный инженер может ошибаться.

11. Способность строго выполнять предписания по реализации процесса при понимании того, когда надо остановиться и внести изменения, что предполагает способность системного инженера не только фор-

**Рис. 1. Примерный профиль деятельности системного инженера (а) и современного инженера-специалиста (б)**

Рис. 1а)

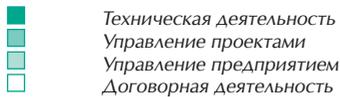
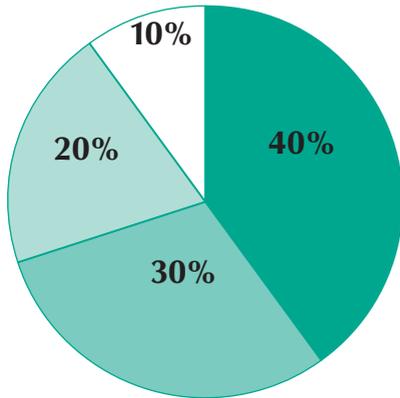
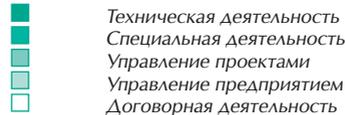
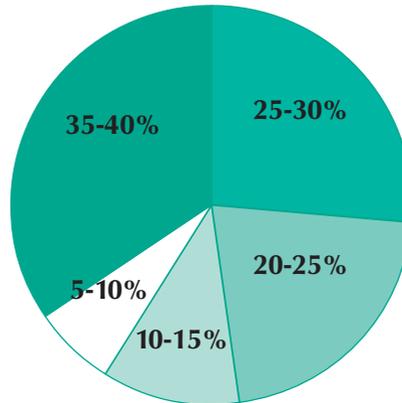


Рис. 1б)



мально описать, но и «почувствовать» процессы.

С другой стороны, в зарубежных публикациях можно найти и более детальное описание требований к компетенциям системных инженеров, среди них, например [16]:

1. Умение управлять требованиями на всех уровнях системной иерархии.
2. Владение современными методами и инструментами разработ-

ки систем, включая архитектурный подход.

3. Владение методами и инструментами анализа систем, включая моделирование, анализ надежности, анализ рисков, анализ технико-экономических характеристик и т.п.

4. Умение организовывать и проводить испытания систем и анализировать результаты испытаний.

5. Умение налаживать эффективное человеко-машинное взаимодействие.

**Таблица 1**  
**Типовые процессы ЖЦ систем в соответствии со стандартом ISO/IEC 15288**

Процессы организационного обеспечения проекта	Процессы проекта	Технические процессы
1. Управление моделью ЖЦ 2. Управление инфраструктурой 3. Управление портфелем проектов 4. Управление персоналом 5. Управление качеством	1. Планирование проекта 2. Оценка и контроль проекта 3. Принятие решений 4. Управление рисками 5. Управление конфигурацией 6. Управление информацией 7. Измерение	1. Определение требований заинтересованных сторон 2. Анализ требований 3. Проектирование архитектуры 4. Реализация 5. Комплексирование 6. Верификация 7. Передача 8. Валидация 9. Функционирование 10. Сопровождение 11. Вывод из эксплуатации и утилизация
<b>Процессы соглашения</b>  1. Приобретение 2. Поставка		

Таблица 2

Направление подготовки	Профессиональные компетенции (виды деятельности) по ФГОС 3								
	Всего	Общие	Научно-исследовательская	Организационно-управленческая	Проектно-конструкторская	Сервисно-эксплуатационная	Монтажно-наладочная	Производственно-технологическая	Другие
140400 Электроэнергетика и электротехника	51 (32)	7 (9)	8 (3)	10 (7)	10 (6)	4 (0)	2 (0)	10 (6)	0 (1) (педагогическая)
140700 Ядерная энергетика и теплофизика	19 (28)	7 (9)	3 (5)	3 (6)	3 (4)	0 (0)	3 (0)	0 (0)	0 (4) (педагогическая)
141100 Энергетическое машиностроение	24 (22)	7 (9)	2 (4)	3 (2)	6 (4)	4 (объединены) (1)		2 (1)	1 (0) (педагогическая)
150700 Машиностроение	26 (26)	0 (0)	4 (4)	8 (13)	6 (4)	0 (0)	0 (0)	8 (5)	0 (0)
160100 Авиастроение	21 (23)	0 (0)	0 (7)	4 (7)	11 (5)	0 (0)	0 (0)	6 (0)	0 (4) (проектно-технологическая)
180100 Кораблестроение	19 (29)	0 (0)	4 (7)	5 (9)	3 (4)	2 (5) (технико-эксплуатационная)		0 (0)	5 (4)
200100 Приборостроение	33 (31)	8 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (8)	0 (0)	0 (0)	7 (5)	0 (0)
210400 Радиотехника	32 (27)	7 (6)	5 (5)	4 (5)	5 (4)	4 (0)	2 (0)	5 (0)	1 (5) (проектно-технологическая) 0 (2) (научно-педагогическая)
220100 Системный анализ и управление	13 (13)	7 (6)	2 (1)	0 (0)	4 (3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (2) (научно-педагогическая) 0 (1) (проектно-технологическая)
231000 Программная инженерия	27 (17)	0 (0)	5 (3)	4 (3)	6 (3)	2 (1)	0 (0)	2 (1) (технологическая), 3 (1) (производственная)	3 (2) (аналитическая), 2 (3) (педагогическая)
В среднем по бакалавриату (магистратуре)	26 (26)	4 (4)	3 (5)	5 (6)	6 (5)	1 (1)	1 (0)	5 (3)	1 (2)

6. Умение реализовывать интегрированные системные решения, учитывающие гетерогенность и возможную распределенность элементов, составляющих систему.

7. Владение процессным подходом.

8. Умение управлять изменениями.

Рассматривая вопросы обучения системной инженерии и подготовки системных инженеров, можно проанализировать основополагающие стандарты системной и программной инженерии [17, 18], рекомендации

международных организаций занятых в этой сфере [6] и, наконец, авторские рекомендации (см., например, [7]), и охарактеризовать в целом типовой профиль деятельности системного инженера и современного инженера-специалиста (рис.1).

Как видно, основные усилия системного инженера сосредоточены на технической и проектной деятельности, причем проектная деятельность включает как работы по управлению проектом создания системы, так и работы по управлению рисками и конфигурацией, принятию реше-

ний, измерению и т.д. С другой стороны, в процессе создания системы примерно треть усилий системного инженера приходится на организационно-управленческую деятельность и деятельность по подготовке и реализации соглашений. Типовые процессы, с которыми системному инженеру приходится иметь дело на различных стадиях ЖЦ целевой системы, показаны в Таблице 1.

Интересно сравнить приведенные профили с некоторыми профилями компетенций выпускников вузов, осваивающих программы подготовки бакалавров, специалистов и магистров по инженерным направлениям, предусмотренным ФГОС 3 (Таблица 2). Думаем, что эти данные требуют отдельного углубленного анализа, но даже при предварительном рассмотрении видно отсутствие системы при формировании профилей компетенций бакалавров и магистров, которые подготавливаются в наших вузах к профессиональной инженерной деятельности. Похожая картина имеет место и для специалистов, обучаемых по ФГОС 3.

Полагаем, что при выделении пилотных направлений надо начинать с создания эффективной системы переподготовки и повышения квалификации кадров по системной инженерии. И начинать эту работу надо с подготовки профессиональных преподавателей системной инженерии, поскольку сегодня в России их по существу не осталось. С учетом масштабов и многоаспектности обсуждаемой проблемы трудно ожидать, что она будет решена в обозримом будущем на государственном уровне. По-видимому, при поиске решений следует в первую очередь ориентироваться на помощь корпораций, заинтересованных в создании конкурентоспособных комплексных систем и в выходе на мировой рынок, а также в сохранении и возможном расширении своего влияния на этом рынке. Здесь может оказаться интересным опыт ГК «Росатом» и его предприятий, на которых, начиная с

2008 года, идет планомерное внедрение в инженерную деятельность рекомендаций базовых международных стандартов управления ЖЦ систем ISO/IEC 15288 и информационной поддержки ЖЦ ISO 15926.

При формировании комплекса эталонных учебно-методических материалов по системной инженерии, доступных в сети Интернет, создатели должны рассматривать системную инженерии и смежные с ней дисциплины как базовые для реализации учебных планов инженеров-разработчиков сложных систем. Кроме того, полагаем, что Ассоциация инженерного образования России и Ассоциация технических университетов России могли бы поддержать оперативное издание методических материалов проекта VKCASE на русском языке и их последующее обсуждение академической общественностью инженерных вузов страны.

Что касается переподготовки отечественных преподавателей и издания переводов на русский язык лучших зарубежных книг по системной инженерии, то такая работа начата по инициативе RISE.

В заключение этого раздела отметим, что при разработке учебных программ по системной инженерии и смежным дисциплинам следует стремиться к глубокой интеграции отечественной высшей школы в мировое сообщество разработчиков сложных систем, к ускоренному освоению достижений мировой научной и инженерной мысли в этой области, к эффективной адаптации зарубежных программ и методик к нашим условиям. При этом тема разработки и реализации образовательных программ по системной инженерии в силу своей важности и большого объема требует, безусловно, отдельного подробного рассмотрения на страницах академических, отраслевых и вузовских журналов.

### **Заключение**

Недостаток внимания к организации и практической реализации образования в области системной инженерии, проблема «потерянного поколения» разработчиков систем, необходимость учета и сглаживания культурных различий между быстро развивающейся западной и стареющей отечественной школой системных разработок являются, по нашему мнению, серьезным вызовом, стоящим перед отечественной инженерной высшей школой.

Для выхода из создавшейся ситуации необходима максимально глубокая интеграция отечественной инженерной высшей школы в мировое сообщество разработчиков сложных систем, ускоренное освоение достижений мировой научной и инженерной мысли в области системной инженерии, с включением системной инженерии и смежных с ней дисциплин в образовательные программы бакалавриата, специалитета и магистратуры по направлениям подготовки инженеров. Необходимо также проводить целенаправленную адаптацию сохранившихся отечественных методик и традиций разра-

ботки сложных систем к признанной международным сообществом методологии системных разработок.

Важнейшее значение приобретает системное движение, которое объединяя все заинтересованные стороны, в частности, преподавателей, специалистов, а также студентов и аспирантов может внести определяющий вклад в формирование и возможное развитие в нашей стране современной образовательной среды, пригодной для подготовки и повышения квалификации инженеров разработчиков сложных систем. Это тем более важно, что в нынешних условиях дожидаться формирования такой среды по принципу сверху-вниз не приходится.

Полагаем, что подготовка по системной инженерии является важным инструментом формирования нового поколения инженеров готовых создавать системы конкурентоспособные на мировом рынке, инструментом пригодным для ответа на вызовы и решения целого ряда проблем, стоящих сегодня перед инженерным образованием и инженерным делом в России.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Похолоков Ю.П. Инженерная мысль в России – полет прерван? // Аккредитация в образовании. – 2010. – № 40 – С. 27–29.
2. Высшее образование в России: состояние и направления развития: аналит. докл. / под ред. проф. В.Л. Глазычева; Фонд «Наследие Евразии». – М.: [Б. и.], 2004. – 144 с.
3. Гуд Г.Х. Системотехника. Введение в проектирование больших систем: пер. с англ. / Г.Х. Гуд, Р.Э. Макол. – М.: Сов. радио, 1962. – 384 с.
4. Холл А. Опыт методологии для системотехники: пер. с англ. / А. Холл. – М.: Сов. радио, 1975. – 448 с.
5. INCOSE-TP-2004-004-02. Systems engineering vision 2020 [Electronic resource] / Techn. operations Int. Council on systems eng. (INCOSE). – Vers. 2.03; Sept. 2007. – [Seattle, Washington]: INCOSE, 2007. – 32 p. – URL: [http://www.incose.org/ProductsPubs/pdf/SEVision2020\\_20071003\\_v2\\_03.pdf](http://www.incose.org/ProductsPubs/pdf/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf), free. – Tit. from the screen.
6. Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities; INCOSE-TP-2003-002-03.2.1 / eds. by Cecilia Haskins, Kevin Forsberg; Int. Council on Systems Eng (INCOSE). – Vers. 3.2.1, Jan. 2011. – Seattle, Washington: INCOSE, 2011. – 374 p.
7. Lawson H. A journey through the systems landscape / Harold “Bud” Lawson. – London: College Publ., 2010. – 274 p. – (Systems thinking and systems engineering; Vol. 1).
8. Sage A.P. Systems management for information technology and software engineering / Andrew P. Sage. – N. Y.: Wiley, 1995. – 624 p.
9. Systems engineering graduate programs [Electronic resource] // GradSchools.com: [site]. – [S. l.], 2006–2012. – URL: <http://www.gradschools.com/search-programs/systems-engineering>, free. – Tit. from the screen.
10. Systems engineering guide for systems of systems [Electronic resource] / Office of the deputy under secretary of defense for acquisition and technol., systems and software eng. – Vers. 1.0, Aug. 2008. – Washington: ODUSD(A&T)SSE, 2008. – 148 p. – URL: <http://www.acq.osd.mil/se/docs/SE-Guide-for-SoS.pdf>, free. – Tit. from the screen.
11. NASA Systems engineering handbook [Electronic resource] / Nat. Aeronautics and Space Administration. – Washington: NASA, 2007. – 360 p. – (NASA/SP-2007-6105; Rev. 1). – URL: <http://education.ksc.nasa.gov/esmdspacegrant/Documents/NASA%20SP-2007-6105%20Rev%201%20Final%2031Dec2007.pdf>, free. – Tit. from the screen.
12. Defense Acquisition University. Learn. Perform. Succeed [Electronic resource]: [site] – [Fort Belvoir], [2012?]. – URL: <http://www.dau.mil/default.aspx>, free. – Tit. from the screen.
13. Trudeau P. Designing and enhancing a systems engineering training and development program [Electronic resource] / Philip N. Trudeau // MITRE Corporation: [site]. – Bedford, 2010 (March). – 21 p. – URL: [http://www.mitre.org/work/tech\\_papers/2010/10\\_0678/10\\_0678.pdf](http://www.mitre.org/work/tech_papers/2010/10_0678/10_0678.pdf), free. – Tit. from the tit. screen.
14. Body of knowledge and curriculum to advance systems engineering [Electronic resource]: [site] / Stevens Inst. of Technol., Naval Postgraduate School. – [S. l.], [2009–2012]. – URL: <http://www.bkcase.org>, free. – Tit. from the tit. screen.
15. The art and science of systems engineering [Electronic resource] / M. Bay, B. Gerstenmaier, M. Griffin [et al.]; NASA // NASA: [site]. – [S. l.], 2009. – 18 Jan. – 10 p. – URL: [http://www.nasa.gov/pdf/311199main\\_Art\\_and\\_Sci\\_of\\_SE\\_SHORT\\_1\\_20\\_09.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/311199main_Art_and_Sci_of_SE_SHORT_1_20_09.pdf), free. – Tit. from the tit. screen.
16. Sheard S. Twelve systems engineering roles [Electronic resource]: publ. in: Proc. of the INCOSE 6th Annu. Int. symp. «Systems engineering: practices and tools» – INCOSE-96 (Boston, MA, USA, July 7–11, 1996) // The Int. Council on systems engineering (INCOSE) web-site. – [S. l.]: INCOSE, 1996–2012. – 8 p. – URL: <http://www.incose.org/educationcareers/PDF/12-roles.pdf> free. – Tit. from the tit. screen.
17. ISO/IEC 15288: 2008. Systems and software engineering – System life cycle processes / Int. Org. for Standardization; Int. Electrotech. Commiss. – 2nd ed. (updated 2008-03-18). – Geneva: ISO/IEC-IEEE, 2008. – 84 p. – (ISO/IEC 15288; IEEE Std 15288-2008).
18. ISO/IEC 12207: 2008 Systems and software engineering – Software life cycle processes / Int. Org. for Standardization; Int. Electrotech. Commiss. – 2nd ed. (updated 2008-02-01). – Geneva: ISO/IEC-IEEE, 2008. – 138 p. – (ISO/IEC 12207; IEEE Std 12207-2008).