

*Виктор БАТОВРИН*

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

*В статье анализируются современные тенденции в организации профессиональной подготовки инженерных кадров, а также содержание подготовки в условиях изменения требований к современным инженерам. Указывается на необходимость незамедлительного повышения уровня системности в организации и развитии инженерного образования. Обсуждается необходимость включения системной инженерии в образовательные программы в сфере инженерного образования. Показано, что подготовка по системной инженерии является одним из ключевых инструментов формирования нового поколения инженеров.*

**Ключевые слова:** заинтересованные стороны, инженерное дело, инженерное образование, системная инженерия, системный подход

Состояние инженерного дела является одним из ключевых факторов, характеризующих способность государства к самостоятельному и устойчивому развитию. Однако по результатам анализа, проведенного Ассоциацией инженерного образования России (далее – АИОР), состояние отечественного инженерного дела нельзя признать удовлетворительным: 28% экспертов считают, что инженерное дело находится в состоянии системного кризиса, 30% – в критическом состоянии и 27% – стагнирует<sup>1</sup>. Это подтверждают и объективные данные.

Например, доля машин, оборудования и технологий в структуре российского экспорта, по различным оценкам, лежит в пределах от 2,9 до 5% (США – 37%, Япония – 42%).

Плачевное состояние отечественного инженерного дела напрямую связано с *тяжелым положением современного российского инженерного образования*. В частности, авторитетные специалисты в области государственного строительства и подготовки кадров полагают, что большинство отечественных технических вузов не готовы к выпуску специалистов, способных к свободному, творческому инженерному труду в условиях

<sup>1</sup> Рекомендации Общероссийской научно-практической конференции «Подходы к формированию национальной доктрины инженерного образования России в условиях новой индустриализации» (4–6 декабря 2012 г., г. Томск) // Инженерное образование. 2012. № 11. С. 174–177.

рыночной экономики, а отечественное инженерное образование находится в критическом состоянии<sup>2</sup>.

Это тем более печально, поскольку отечественные инженерная школа и система инженерного образования, *основанные на идее единства фундаментальных и прикладных исследований*, внесли существенный вклад в формирование технической среды, в которой сегодня живет человечество<sup>3</sup>. К наиболее важным составляющим этого вклада Велихов и Бетелин относят *концепцию генерального конструктора сложной технической системы*, которая базировалась на принципе научного, технического и организационного единоначалия при создании сложных инженерных объектов.

Действительно, своим прошлым успехам отечественная инженерная школа во многом обязана тому, что при ее создании и развитии за основу был взят системный подход. Именно такой подход к оценке содержания и к управлению инженерной деятельностью, с учетом национальных культурных традиций, наряду с зарубежными научно-техническими достижениями, позволили создать в Российской империи, а в дальнейшем развить в СССР выдающуюся инженерную школу, выстроить *целостную и эффективную систему инженерного образования*. Но упомянутые принципы, положенные в основу реализации системного подхода к развитию инженерного дела в СССР, повлекли за собой и высокий уровень системных рисков.

В частности, генеральный конструктор мог оказаться как сильным, так и слабым звеном в системе управления инженерным проектом, т.к. слишком высокий вес связи «первое лицо государства – генеральный конструктор» мешал объективному учету потребностей других заинтересованных сторон, например, интересов общества. К каким практическим последствиям приводил высокий уровень подобных рисков известно всем, кто интересовался судьбой крупных инженерных проектов в СССР.

### ***Системный подход в сфере инженерного образования***

Приходится констатировать, что сегодня в нашей стране системный подход к организации и развитию инженерного дела и инженерного образования отсутствует.

Так, *не определена промышленная политика*. В итоге Россия оказалась в уникальном положении – страна, обладая собственной, выпестованной в течение многих лет инженерной школой, допускает, что рынок инженерно-технической продукции и услуг гражданского назначения стал практически полностью занят зарубежными компаниями. В оборонительной сфере отсутствие конкурентоспособных отечественных инженерных разработок, особенно в области элементной базы и информационных технологий, ставит нас в зависимость от внешнего окружения, угрожая национальной безопасности. Вкладом в эту угрозу является и то,

<sup>2</sup> См., напр.: *Похолков Ю.П.* Инженерная мысль в России – полет прерван? // Аккредитация в образовании. 2010. № 40. С. 27–29; *Кресс В.М., Огородова Л.М., Похолков Ю.П.* Инженерное образование и инженерное дело в России: проблемы и решения // Инженерное образование. 2012. № 11. С. 18–23.

<sup>3</sup> *Велихов Е.П., Бетелин В.Б.* Промышленность, инновации, образование и наука Российской Федерации // Вестник РАН. 2008. Т. 78. № 6. 500–512.

что общество утрачивает понимание социальной значимости инженерной профессии, в т.ч. и потому, что у Правительства РФ отсутствует внятная стратегия улучшения положения дел в этом важнейшем вопросе.

Во многом по этой причине в области инженерного образования оказалась разрушенной система прогнозирования и планирования потребности в инженерных кадрах, а при переходе на двухуровневую систему подготовки было утрачено понимание, как соотнести новый подход с тем, что стране необходимы не обладатели степеней бакалавра и магистра, а инженеры, способные к успешной проектной и производственной деятельности. Отсутствие системности при определении требований к содержанию инженерного образования и к принципам оценки его качества привело к тому, что государство при создании образовательных стандартов практически не учло нужды современной промышленности, мнение профессионального сообщества, а также, и это *главное*, изменения, произошедшие за последние двадцать лет в мире в облике и содержании инженерного труда. Отсутствие системности сказалось и в том, что при реализации компетентностного подхода, взятого за основу при разработке федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения (далее – ФГОС), *не было сформировано единого подхода* к классификации компетенций, принципам и методам их измерения; к обеспечению прослеживаемости между способностью к эффективному инженерному труду и требованиями к компетенциям и к содержанию образовательных программ (далее – ОП). На необходимость систематизации при формировании профилей компетенций бакалавров, магистров и специалистов, подготавливаемых к инженерной деятельности в соответствии с требованиями ФГОС, указывают сегодня многие специалисты<sup>4</sup>.

Отсутствие системности в государственной промышленной политике и в сфере кадрового обеспечения экономики привело к тому, что эффективность мер, принимаемых государством в этой области, низка. Результаты же реализуемых проектов характеризует локальность и непоставимость с затратами на них, тем более что достаточность мер, принимаемых государством в этой области, трудно адекватно оценить.

Напомним, что при формировании общих принципов решения сложной системной задачи, такой как обеспечение устойчивого развития инженерного дела и инженерного образования, нужно добиться, чтобы система, реализующая эти принципы, имела разнообразие большее, чем разнообразие решаемой проблемы (в кибернетике это условие известно как закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби). Это означает, что эффективное и достаточное управление в сфере кадрового обеспечения экономики может быть спроектировано *только на системной основе*, а для его реализуемости требуется свести до минимума количество контролируемых параметров и четко определить способы их измерения.

В частности, системный подход предполагает, что при формировании политики в сфере подготовки инженерных кадров мы выделим нужды

<sup>4</sup> См., напр.: Аркадов Г.В., Батоврин В.К., Сигов А.С. Системная инженерия, как важнейший элемент современного инженерного образования // Инженерное образование. 2012. № 9. С. 12–25; Горленко О.А., Попков В.И. Компетентностный подход в инженерном образовании // Инженерное образование. 2012. № 11. С. 88–90.

и интересы ключевых заинтересованных сторон и определим пути удовлетворения этих нужд (т.е. в центре внимания должны находиться скорее гуманитарные, а не технические проблемы). Причем пути развития инженерного образования будут различаться в зависимости от избранного баланса между требованиями повышения благосостояния населения страны, нуждами повышения обороноспособности и требованиями обеспечения конкурентоспособности высокотехнологичных отраслей промышленности на мировом рынке. Но каков бы этот баланс ни был, приходится констатировать, что *выпускники бакалавриата*, востребованные, когда речь идет о необходимости ремонта и обслуживания зарубежной техники, *решать сложные инженерные задачи*, постоянно возникающие в высокотехнологичных отраслях промышленности, *не способны*.

Следовательно, развитие инженерного образования может быть связано *только с развитием инженерной магистратуры*. Как мы полагаем, в реализуемых в такой магистратуре ОП акцент должен быть сделан на приобретении современных инженерных компетенций, а также способности работы в команде, а не на формировании, как это принято сейчас, аморфной готовности к научной и/или педагогической деятельности.

### ***Системный подход и целостность системы инженерного образования***

Одним из следствий отсутствия системности в государственной политике кадрового обеспечения является высокий риск потери целостности системы инженерного образования. Вероятность и тяжесть последствий этого риска заметно увеличиваются на фоне *неготовности отечественной инженерной высшей школы к трезвой самооценке*.

Так, 59% экспертов АИОР, среди которых более 80% – представители научно-образовательного сообщества, считают уровень подготовки современных российских инженеров удовлетворительным, 25% – хорошим и 2% – отличным. Другими словами, как резонно замечают некоторые авторы<sup>5</sup>, мы готовим инженеров хорошо, но работают они плохо, по независящим от нас и от них причинам.

Риск возрастает и на фоне запуска США, Китаем, Индией, рядом других крупных государств, а также ЕС, масштабных программ подготовки инженеров нового поколения. Подобные программы активно разрабатываются в ответ на заметное обострение проблем организации инженерного дела, важнейшей из которых считается быстро нарастающий дефицит квалифицированных инженеров<sup>6</sup>.

Еще одним фактором риска является то, что все более заметную роль в обеспечении устойчивости развития системы образования и инженерного дела начинает играть *демографический фактор*.

Среди мер, предпринимаемых промышленно развитыми странами для компенсации постоянно растущего дефицита инженеров, важнейшее

<sup>5</sup> Кресс В.М., Огородова Л.М., Похолков Ю.П. Инженерное образование и инженерное дело в России: проблемы и решения // Инженерное образование. 2012. № 11. С. 18–23.

<sup>6</sup> Некоторые обобщенные данные об этих программах можно найти в публикации, подготовленной в рамках инициированного Минпромторгом РФ проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу» (см.: Боровков А.И. и др. Современное инженерное образование: учебное пособие / СПб.: изд-во Политехнического ун-та, 2012).

место занимает укрепление и развитие национальных систем инженерного образования, которое ведется с активным привлечением граждан из стран третьего мира (как в лице студентов, так и в лице наиболее квалифицированных преподавателей). В свою очередь, страны с быстро растущим населением прилагают неординарные усилия по выращиванию молодых национальных инженерно-технических и научных кадров на основе усиления и модернизации своих систем образования. Время, когда эти страны смогут воспользоваться своим конкурентным преимуществом, не за горами. Достаточно сказать, что на долю двух государств-миллиардеров, Китая и Индии, в 2007 г. приходилось уже около 30% от общей численности научно-технического персонала в мире, тогда как всего тремя годами ранее эта доля составляла примерно 20%<sup>7</sup>.

Одним из признаков возможной потери целостности отечественной системы инженерного образования является рост числа собственных систем подготовки инженерных кадров, формируемых силами ведущих отечественных высокотехнологичных предприятий в содружестве с отдельными образовательными учреждениями. Предприятия объясняют необходимость этой работы ростом дефицита кадров, способных создавать сложные инженерные объекты, а также неготовностью вузов к ликвидации этого дефицита. Более того, многие предприятия стали рассматривать наличие у себя такой (во многом автономной) системы подготовки как конкурентное преимущество<sup>8</sup>. По нашим наблюдениям, тенденция к созданию образовательных систем, замкнутых на отдельную, пусть и крупную, корпорацию, постоянно нарастает. И это в государстве, жители которого лучше многих других знают, насколько «успешным» может быть опыт построения коммунизма в отдельно взятой стране.

Полагаем, что только целостная, развиваемая на системной основе национальная система инженерного образования способна удовлетворить потребность в современных инженерных кадрах и обеспечить воспроизводство кадрового потенциала как страны, так и ее отдельных территорий. При этом следует помнить, что хорошее инженерное образование *стоит дорого* и невозможно подготовить современного инженера, затратив, как это принято сейчас в нашей стране, около 20 тыс. долл. на одного студента за весь срок обучения. Реальные затраты должны быть на один-два порядка выше, тем более если вспомнить об обветшании инфраструктуры инженерных вузов.

В такой ситуации обеспечить модернизацию инженерного образования и подготовки кадров для инновационной экономики *реально только на национальном уровне*.

При этом как федеральный Центр, так и субъекты Федерации должны определить, сколько современных центров подготовки инженерных кадров они, прикладывая совместные усилия, могут себе

<sup>7</sup> Медовников Д., Оганесян Т., Розмирович С. Главные люди в стране // Эксперт. 2011. № 15 (749).

<sup>8</sup> Министр образования и науки России ознакомился с системой подготовки кадров для новосибирского авиазавода «Сухого». / URL: <http://www.sukhoi.org/news/company/?id=5149>

сегодня позволить. Также необходимо ответить на вопрос: где эти центры должны быть расположены.

Подобных центров не должно быть много, а подготовка в них *не может и не должна рассматриваться* как элемент реализации социальной политики в сфере образования. Создавая совместно с регионами и высокотехнологичными предприятиями подобные центры, мы решаем социальные проблемы опосредованно (например, за счет усиления позиций на мировой политической арене). Кроме того, как никогда остро стоит вопрос обеспечения центров современного инженерного образования отечественными преподавательскими кадрами, знакомыми с мировой практикой решения сложных инженерных задач. Наконец, для устойчивого воспроизводства квалифицированных и компетентных инженерных кадров необходимо срочно принимать *систему мер по повышению социального статуса инженера*, в т.ч. по стимулированию интереса школьников и их родителей к выбору инженерной профессии. Решение задачи повышения престижа инженерной профессии должно стать одним из главных приоритетов государственной и региональной политики в сфере развития инженерного дела и кадрового потенциала страны и ее территорий.

В заключение раздела заметим, что современный инженер – это не узкий специалист, хорошо выполняющий определенные функции. Это творческая личность, способная к командной работе и обладающая вкусом и способностью к решению практических задач. Причем интерес к профессии у современного инженера должен преобладать над интересами карьерного роста. Это обстоятельство следует, по нашему мнению, рассматривать как один из ключевых факторов при решении задач модернизации и развития отечественной системы инженерного образования.

### ***Система инженерного образования и заинтересованные стороны***

Для анализа взаимодействия системы инженерного образования с заинтересованными сторонами (далее – ЗС), которые нуждаются в ее развитии, удобны системноцентрический подход и, соответственно, «луковичная» модель ЗС<sup>9</sup>.

Сложившиеся сегодня применительно к образовательной системе отношения ЗС упрощенно показаны на *рисунке 1*. В центре помещена совокупность услуг, предоставляемых системой инженерного образования, а также операторы, в данном случае вуз, повседневно обеспечивающие функционирование системы.

В совокупности образовательные услуги и вуз могут рассматриваться как образовательная система в узком смысле. При рассмотрении объемлющей системы (образовательной системы в широком смысле) к системе в узком смысле добавляются функциональный бенефициар (студенты), приобретатели, среди которых выделяются клиенты-работодатели и администратор образовательных услуг – государство, а

<sup>9</sup> Ian Alexander, Ljerka Beus-Dukic. Discovering requirements: how to specify products and services. Wiley. 2009.

также координаторы в лице предприятий-работодателей, находящихся во взаимодействии с системой в узком смысле. При рассмотрении окружения к перечисленным ЗС добавятся:

- государство в качестве финансового бенефициара;
- конкуренты, общество, политики, государство, как регулятор в сфере образования;
- разработчик системы.

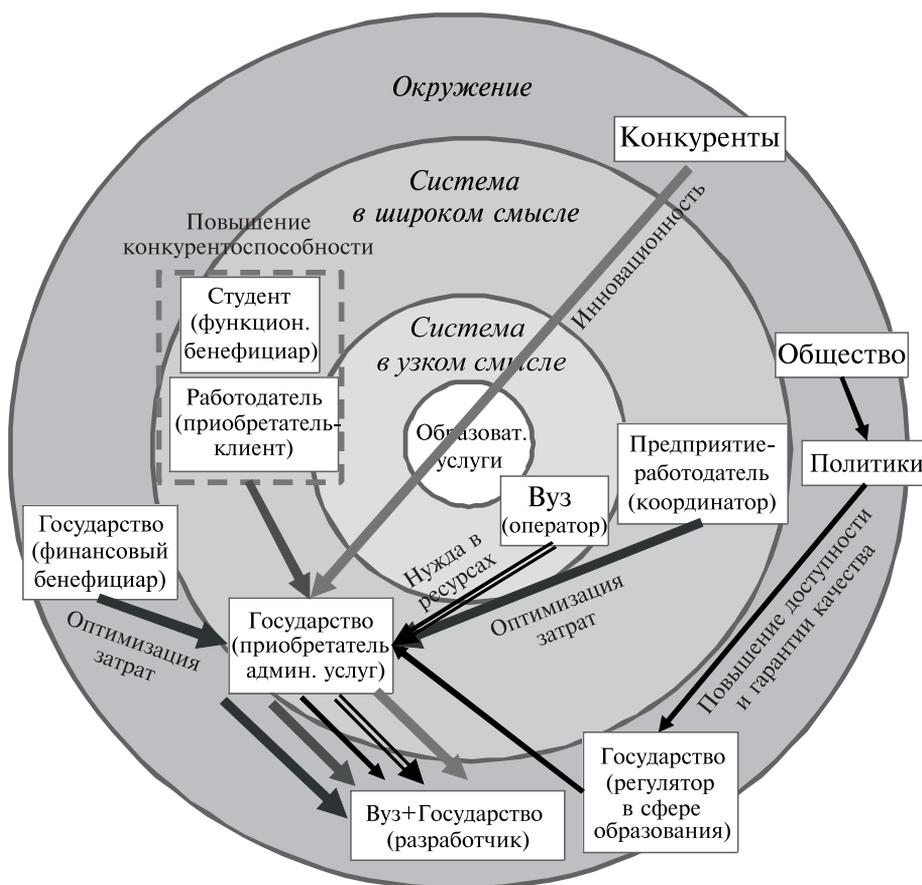


Рис. 1. Отношения между заинтересованными сторонами в системе инженерного образования

Разработчик, в роли которого сегодня выступает тандем «вуз + государство», разрабатывает систему образовательных услуг. Причем государство в этом тандеме занимается главным образом верификацией и валидацией системных решений. Однако эта работа сегодня организована государством так, что вузам трудно подумать о модернизации системы образовательных услуг.

При этом разработчик находится под сильным разноплановым давлением.

Во-первых, целевые клиенты обладают здравым смыслом и хорошо понимают, что такое конкурентоспособное инженерное образование.

Они хотят, чтобы при реализации ОП были доступны разнообразные и качественные образовательные ресурсы, а также использовались современные технологии, чтобы преподаватели обладали передовыми знаниями, умениями и навыками в своей области, чтобы инфраструктура вуза была современной и т.д.

Во-вторых, операторы образовательных услуг, т.е. государственные вузы, постоянно требуют улучшения ресурсообеспечения.

В-третьих, давление со стороны конкурентов постоянно возрастает. Причем среди конкурентов сегодня выделяются не столько зарубежные инженерные вузы, о которых мы говорили выше, сколько многочисленные отечественные и некоторые зарубежные вузы, предлагающие конкурентоспособные ОП в других, не инженерных, областях. В ответ система инженерного образования должна стать инновационной, иначе она проиграет в конкурентной борьбе.

В-четвертых, общество, требуя доступности и гарантий качества высшего образования, оказывает давление на политиков (среди которых немало политиканов), а они, в свою очередь, на государство, которое является регулятором, издающим законодательные акты и стандарты в области образования.

В-пятых, одновременно государство как финансовый бенефициар требует оптимизации затрат на образование. Системы предприятий-работодателей, с которыми образовательная система находится в постоянном взаимодействии, также хотят оптимизировать затраты, которые они несут, выполняя функции координаторов.

Наконец, в-шестых, администратор образовательных услуг, который по существу находится в позиции приобретателя (внутренний клиент, представляющий клиентов рынка образовательных услуг), несет ответственность за комплексный учет всех, включая конфликтующие, требований и доведение этих требований до разработчика<sup>10</sup>.

Таким образом, становится очевидным, что наше государство перегружено многочисленными, зачастую взаимоисключающими, функциями в рассматриваемой области. А это *не позволяет ему эффективно управлять развитием образовательной системы*.

Далее, в отсутствие обязательного распределения выпускников вузов отношения в треугольнике «государство – вуз – работодатель» (администратор – оператор – координатор образовательных услуг) не являются определяющими при модернизации системы инженерного образования. Намного более важными для развития этой системы представляются отношения в треугольнике «студент – вуз – работодатель». Последнее подтверждается как опытом зарубежных коллег<sup>11</sup>, так и известными нам очень немногими отечественными примерами эффективно работающей магистратуры по инженерным направлениям, где в основе успеха лежит способность работодателя-партнера сформировать конкурентоспособное предложение на рынке труда, а также его готовность сотрудничать с вузом в модернизации ОП.

<sup>10</sup> Заметим, что функции администратора образовательных услуг у нас сегодня также выполняет государство.

<sup>11</sup> См.: Graduate Reference Curriculum for Systems Engineering – GRCSE (version 1.0). <http://www.bkcase.org>

### **Требования к современным инженерам и содержание образовательных программ**

Развитие технологий во второй половине XX в. не только оказало очень сильное влияние на природу инженерной продукции и услуг, но и *принципиально изменило облик инженерной деятельности*. В результате в число областей, имеющих отношение к созданию сложных инженерных объектов, входят не только традиционная инженерная, но и управленческая деятельность, а также социальная и политическая сферы и науки о человеке. Эти последние более «мягкие» виды деятельности требуют от инженера дополнительного внимания, особенно когда решаются сложные задачи, характерные для систем уровня предприятия или территориально-распределенных систем. Данная особенность, наряду с высокой скоростью обновления технологий, с необходимостью продления (иногда неоднократного) жизненного цикла систем уже введенных в эксплуатацию, с постоянным нарастанием конкуренции на рынке инженерной продукции и услуг, с быстрым усложнением самой инженерной деятельности предъявляют *качественно новые требования* к инженерам и к содержанию ОП.

Кроме того, начиная с 90-х гг. заметно ускорился процесс глобализации лучших практик и стандартов инженерной деятельности, что привело за рубежом к появлению по существу новой культуры инженерного труда. Отечественная же инженерная школа оказалась в это время *оторванной* от происходящих изменений. Даже при наличии материальных ресурсов это обстоятельство будет еще долго являться тормозом на пути к обновлению отечественной инженерной высшей школы, поскольку, как нам представляется, успешная модернизация инженерного образования возможна только в рамках его глубокой интеграции в мировое инженерное пространство. Последнее требует внимательного осмысления специалистами, т.к. ранее отечественная инженерная школа во многом развивалась *как самодостаточная*.

Какие требования предъявляются к современному инженеру?

Прежде всего это *способность видеть систему в целом*, наряду со знанием специальных дисциплин и технологий, что позволяет реализовывать конкурентоспособные системные решения на различных уровнях системной иерархии. А это невозможно без обладания системным мышлением и владением системным подходом. Требуется также понимание мультидисциплинарности современной инженерной деятельности, успех которой во многом зависит от способности наводить мосты как между различными традиционными инженерными дисциплинами, так и между инженерными и «мягкими» дисциплинами, такими как управление, социология, экология, политология и т.п.

Еще одно требование — *способность к проектному видению* инженерной деятельности с пониманием ключевой роли управления и принятия решений, что позволяет добиваться работоспособного компромисса между ЗС и достигать результата в заданные сроки, при наличии ограниченных ресурсов. Для чего необходимо обладать системным видением инженерной деятельности в привязке к подходу жиз-

ненного цикла (далее – ЖЦ), когда ЖЦ системы используется в качестве рамочной, организационной основы инженерной деятельности, а зрелые процессы ЖЦ и эффективные инструменты управления этими процессами помогают добиться установленных целей.

Наконец, это, как мы уже писали, *способность к командной работе*, где каждый отвечает за определенное направление, а успех определяется не только личными качествами специалистов, участвующих в разработке, но и тем, как организована их совместная деятельность. Для этого наряду с профессиональными знаниями необходимо обладать знанием профессиональной этики, развитыми способностями к общению, а также к демонстрации лидерских возможностей в одной из специальных областей, таких как: управление проектами, анализ требований, разработка архитектуры, проектно-конструкторская деятельность, обеспечение качества.

Нам уже приходилось писать, что зарубежный опыт подготовки инженеров предполагает разделение требований к ключевым компетенциям, необходимым инженеру, и базовых требований к содержанию ОП (в отечественных ФГОС это разделение отсутствует)<sup>12</sup>. Здесь же сошлемся на почти четвертьвековой коллективный опыт сотрудников Национального космического агентства США, которые выделили 11 основных личных качеств, которыми, на их взгляд, должен обладать современный инженер, создающий сложные системы<sup>13</sup>. В этот список вошли:

- интеллектуальная любознательность, выражающаяся в первую очередь в способности и желании постоянно учиться новому;
- способность видеть целое даже при наличии множества мелких деталей (в т.ч. 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);
- способность к выделению общесистемных связей и закономерностей, обладая которой первоклассный системный инженер может помочь другим членам команды в установлении места их системных решений в общей картине и в работе на достижение общих системных целей;
- высокая коммуникабельность – способность слушать, писать и говорить так, чтобы помогать наводить мосты между инженерами и управленцами на основе использования единых терминов, процессов и процедур;
- выраженная готовность к лидерству и к работе в команде (в т.ч. наличие глубоких и многосторонних технических знаний, энтузиазма в достижении поставленных целей, креативности и инженерного инстинкта);
- готовность к изменениям, предполагающая в т.ч. понимание неизбежности изменений;
- приспособленность к работе в условиях неопределенности и недостаточности информации, предполагающая, в частности, способность к толкованию неполных и противоречивых требований;

<sup>12</sup> См.: Аркадов Г.В., Батоврин В.К., Сигов А.С. Системная инженерия, как важнейший элемент современного инженерного образования // Инженерное образование. 2012. № 9. С. 12–25.

<sup>13</sup> The Art and Science of Systems Engineering. / 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); Derek K. Hitchins Systems Engineering. A 21st Century Systems Methodology. Wiley. 2007.

- специфическая убежденность в том, что следует надеяться на лучшее, но планировать худшее (в т.ч. предполагающая, что системный инженер постоянно проверяет и перепроверяет детали, имеющие отношение к обеспечению технической целостности системы);
- наличие разнообразных технических навыков — способность применять обоснованные технические решения, что требует от системного инженера знания множества технических дисциплин на уровне эксперта;
- уверенность в себе и решительность, но не высокомерие, т.к. даже хороший системный инженер может ошибаться;
- способность строго выполнять предписания по реализации процесса при понимании того, когда надо остановиться и внести изменения (это предполагает способность системного инженера не только формально описать, но и «почувствовать» процессы).

Таким образом, сотрудники одной из наиболее успешных в мире высокотехнологичных компаний *не вспоминают об узкопрофессиональных качествах* хорошего инженера. Они говорят о гармоничном сочетании системного профессионализма с высокими личными и общекультурными качествами.

Важнейшее значение при воспитании инженеров, отвечающих перечисленным критериям и требованиям, приобретает *системная инженерия*.

В разработках зарубежных специалистов она определяется как комплексный, мультидисциплинарный подход и методика создания сложных систем и рассматривается как фундамент, на основе которого можно поддерживать надежную и устойчивую связь между миссией, стратегическими целями, конкретными задачами и измеримыми результатами инженерной деятельности. Недаром один из крупнейших зарубежных специалистов по системной инженерии Дерек Хитчинс (*Derek K. Hitchins*) назвал системную инженерию *системной методологией XXI в.*<sup>14</sup>.

В настоящее время подготовку по системной инженерии осуществляют около 250 университетов, среди которых примерно 60 европейских вузов, около 80 университетов США и примерно 100 университетов других стран мира<sup>15</sup>.

Повышение значимости системной инженерии, включая системный подход и системное мышление, для инженеров вызвало необходимость формирования новой академической среды, сосредоточенной на проблемах подготовки специалистов, способных создавать инженерные системы будущего. Одним из шагов по решению указанной задачи было создание (2004 г.) по инициативе Массачусетского технологического института Совета университетов инженерно-насыщенных систем (*Council of Engineering Systems Universities — CESUN*)<sup>16</sup>.

Сегодня в Совет входит более 50 университетов из Северной Америки, Европы, Азии и Австралии, реализующих ОП по созданию инженерно-

<sup>14</sup> Hitchins Derek K. Systems Engineering. A 21st Century Systems Methodology. Wiley. 2007.

<sup>15</sup> Сведения об ОП по системной инженерии, реализуемых различными университетами, можно найти на сайте *GradSchools.com* / URL: <http://www.gradschools.com/search-programs/systems-engineering>).

<sup>16</sup> URL: <http://cesun.mit.edu>

насыщенных систем, таких как транспортные, энергетические, коммуникационные, и проводящих научные исследования в этой области. Члены *CESUN* полагают, что создание современных инженерно-насыщенных систем это область междисциплинарных исследований, где требуется по-новому учесть достижения технологий, а также управленческих и социальных наук. Это предполагает деятельность в следующих областях:

- системная инженерия;
- технологии и стратегии;
- инженерный менеджмент, инновации и предпринимательство;
- системный анализ и принятие решений, исследование операций;
- проектирование и производство продукции, организация производства.

Основными партнерами *CESUN* при осуществлении профессиональной деятельности являются Институт инженеров электротехники и электроники (*Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE*), – крупнейшая в мире профессиональная организация по созданию и развитию передовых технологий, Международный совет по системной инженерии (*International Council on Systems Engineering – INCOSE*), Институт исследования операций и менеджмента (*Institute for Operations Research and Management Science – INFORMS*), а также Институт промышленных инженеров (*Institute of Industrial Engineers – IIE*).

В целом можно констатировать, что к концу первого десятилетия XXI в. в мире сформировалась развитая и зрелая образовательная среда, в которой реализуются программы подготовки по системной инженерии различного уровня сложности. В эту среду включены и бакалавриат, и магистратура, и система повышения квалификации, и переподготовка кадров. Причем эта система постоянно совершенствуется и развивается при поддержке ведущих мировых компаний, занятых созданием сложных инженерных объектов.

В свете сказанного становится очевидной особая роль образования в системной инженерии при подготовке инженеров различного профиля: от инженеров-механиков до радиоинженеров; инженеров-атомщиков; инженеров-авиастроителей; биоинженеров; программных инженеров; других специалистов по созданию систем и их элементов. Обусловлена эта роль основной задачей системной инженерии – *предложить заинтересованным сторонам метод и инструменты* создания эффективных систем различных классов, отвечающих нуждам и потребностям людей.

Для решения этой задачи системная инженерия сосредоточивает внимание на сердцевине инженерной деятельности, рассматривая ее ключевые аспекты в тесной взаимосвязи. Кроме того, она помогает внедрению инноваций.

Традиционно инженерия сводилась к применению известных принципов к практическим задачам. Однако инновации приносят новые материалы, устройства и процессы, характеристики которых еще не до конца известны и недостаточно поняты. Это влечет за собой разнообразные риски. Подход системной инженерии к опережающему использованию новейших технологий воплощается в практике инженерного управления риском, в результате на правильно организованном предприятии допускаются тщательно взвешенные технологические риски, которые преодолева-

ются системным инженером, выступающим в таком случае как менеджер по инновациям, посредством умелого проектирования, искусного поиска компромиссов и профессионального управления проектом.

Итак, системная инженерия, будучи включенной в ОП в сфере инженерного образования, *может стать основой* создания комплекса программ подготовки отечественных инженеров различного профиля. Основой, на которой можно будет успешно формировать совокупность компетенций, необходимых для адаптации выпускников к разнообразным профессиональным инженерным практикам.

Можно указать и еще на одну причину актуальности подготовки по системной инженерии. Это *жесткая конкуренция на рынке инженерных решений*, относящихся к нижним уровням системной иерархии, таким как компоненты, узлы и детали сложных систем (напомним, что системный инженер может работать и с системой в целом и с ее компонентами).

Даже передовые инновационные западные компании-разработчики зачастую проигрывают странам третьего мира в конкуренции за рынок инженерной продукции, ориентированной на технологии, связанные с нижними уровнями системной иерархии. Мы же должны искать конкурентные преимущества *на верхних уровнях иерархии сложных инженерных объектов*<sup>17</sup>.

### ***Некоторые подходы к организации подготовки современных инженеров***

При формировании ОП подготовки инженеров, способных создавать сложные системы и работать в инновационных компаниях, за основу можно взять рекомендации, содержащиеся в типовом учебном плане по системной инженерии для студентов вузов<sup>18</sup>. К его подготовке было привлечено более 50 ведущих мировых экспертов по системной инженерии из примерно 10 стран. Подобная ОП в соответствии с рекомендациями должна быть построена так, чтобы выпускники, двигаясь по образовательной траектории (см. рис. 2), через 3–5 лет после окончания магистратуры достигли целей подготовки, определенных в ОП (валидация результатов освоения ОП).

Результаты освоения ОП контролируются непосредственно по окончании магистратуры (верификация результатов освоения ОП). Отметим, что по рекомендациям зарубежных специалистов, будущий инженер высшей квалификации по мере прохождения образовательной траектории должен окончить бакалавриат по инженерному или индустриальному направлению; 1–2 года поработать в инженерной сфере; успешно окончить инженерную магистратуру; получить опыт работы в крупной инновационной компании; при поддержке работодателя повысить квалификацию. *И только в заключение этого пути*, занимающего не менее 10–12 лет, получить со стороны профессионального сообщества подтверждение своей способности создавать конкурентоспособные инженерные объекты.

<sup>17</sup> Показательным примером таких преимуществ может служить рынок солнечных батарей и устройств на их основе, где после технологического прорыва, позволившего заметно улучшить технические характеристики батарей, рынок конечной продукции оказался занят главным образом китайскими компаниями.

<sup>18</sup> Graduate Reference Curriculum for Systems Engineering – GRCSE (version 1.0) / URL: <http://www.bkcase.org>

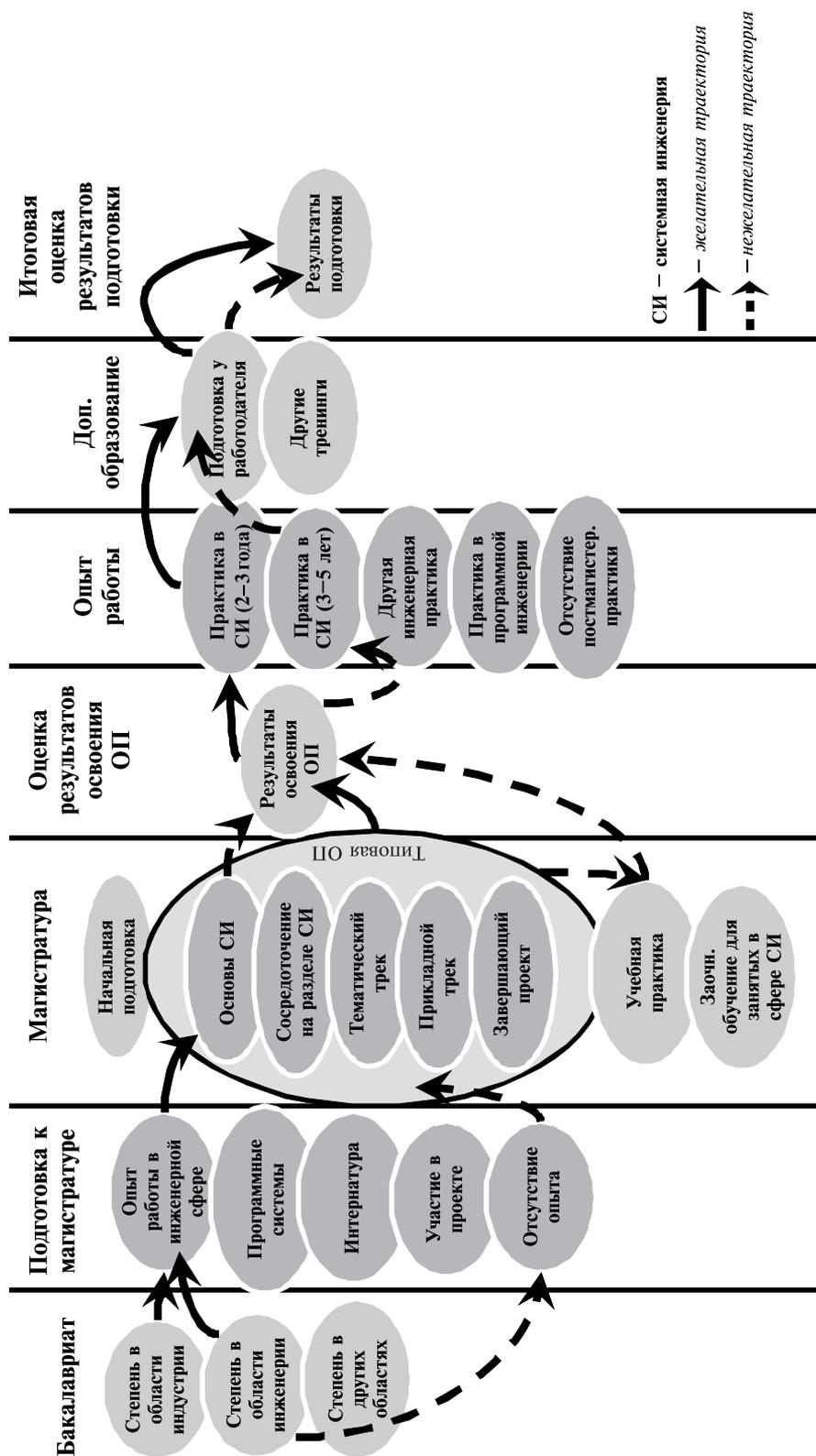


Рис. 2. Возможные образовательные траектории при подготовке современных инженеров (на примере подготовки системных инженеров)

При разработке учебных планов очень важно четко увязать результаты освоения ОП с когнитивными уровнями таксономии, признанной в педагогической практике, в *GRCSE* для этих целей рекомендуется таксономия Блума (современные ФГОС такой увязки не предусматривают). Если же говорить о подготовке системных инженеров, то ОП должна быть построена так, чтобы в результате ее успешного освоения выпускники, во-первых, демонстрировали способность к практической деятельности по созданию систем хотя бы в одном из прикладных разделов, таких как аэрокосмические, оборонные, финансовые, медицинские, транспортные, телекоммуникационные системы.

Во-вторых, умели практически использовать принципы системной инженерии 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 ключевых системных показателей (безопасность, надежность, быстродействие, насыщенность передовыми технологиями, доступность по цене и т.п.).

Наконец, принципиально важно четко выделить *укрупненные цели подготовки*. С учетом рекомендаций *GRCSE*, при подготовке системных инженеров можно определить цели, которые могут быть с успехом взяты за основу при разработке ОП *в любой инженерной магистратуре*.

**Владение подходом ЖЦ**, предполагающее наличие у инженера способности на протяжении полного ЖЦ (или на его отдельных отрезках) успешно анализировать, проектировать или реализовывать пригодные к производству и использованию, эффективные, пригодные к сопровождению, экономически приемлемые комплексные системные решения применительно к продукции, услугам, предприятиям, а также системе систем. Это требование может быть адаптировано к конкретному типу или классу систем, с которыми придется иметь дело выпускнику, или к конкретной предметной области, например, авиакосмической промышленности.

**Готовность использовать мультидисциплинарный подход**, предполагающая способность успешно выполнять различные роли в мультидисциплинарных командах с различными формами членства, включая роль технического эксперта или роль руководителя на различных уровнях.

**Профессионализм**, предполагающий демонстрацию профессионализма и способности к профессиональному развитию на основе непрерывного обучения и активного участия в профессиональной деятельности, а также постоянное содействие развитию своей области профессиональной деятельности и, наконец, ответственное и этичное поведение на основе понимания общественной пользы.

**Коммуникабельность**, предполагающая 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 заинтересованными сторонами и коллегами.

Итак, к важнейшим мировым тенденциям в области подготовки инженерных кадров можно отнести *возрастающие масштабы реализации программ подготовки инженеров нового поколения, запускаемых индустри-*

ально развитыми странами, а также Индией и Китаем в ответ на быстро растущий дефицит квалифицированных инженеров.

Следует также выделить *опережающий рост количества студентов, принимаемых* в указанных странах на инженерно-технические специальности, по сравнению с другими направлениями подготовки.

Также очевиден рост усилий, направляемых за рубежом на *повышение престижа инженерной профессии*, а также на оказание помощи вузам и работодателям в формировании и успешной реализации ОП подготовки инженерных кадров нового поколения.

Существенен *рост влияния демографического фактора* на устойчивость развития национальных систем подготовки инженерных кадров.

Отметим признание *фундаментальной роли системной инженерии* в образовании современного инженера, полученное при поддержке крупнейших мировых профессиональных организаций, занятых в области высоких технологий, а также мирового академического сообщества.

И, наконец, нельзя обойти вниманием начавшуюся *разработку* силами ведущих мировых специалистов (при поддержке мирового профессионального сообщества и крупнейших компаний) *эталонных методических материалов*, предназначенных для всех университетов, реализующих программы подготовки магистров по инженерно-техническим направлениям.

На фоне этих общемировых тенденций настораживают усиливающиеся в России негативные процессы в области подготовки инженеров для высокотехнологичных компаний. Данные процессы прежде всего связаны:

- с игнорированием необходимости повышения уровня системности в организации и развитии инженерного дела и инженерного образования;
- с игнорированием риска потери целостности системы инженерного образования;
- с отсутствием политики повышения социального статуса инженерной профессии;
- с непониманием необходимости интеграции ведущих национальных центров инженерного образования в мировое инженерное пространство;
- с недооценкой важности сдвига внимания молодого инженера с карьерного роста на профессиональное совершенствование.

Для преодоления этих проблем, как мы уже писали, недостаточно индивидуальных, зачастую разрозненных усилий вузов, компаний и субъектов Федерации. Это прерогатива государства, единственного, кто способен разработать и воплотить в жизнь сбалансированную стратегию обеспечения формирующейся в стране инновационной модели развития кадрами современных инженеров-новаторов.