

Эдукология инженерного образования: основные постулаты системотехники

Университет Бен-Гуриона в Негеве, Беер-Шева, Израиль
В.И. Лившиц

Новизна ситуации в мировой системе инженерного образования (ИО) в начале XXI века определяется законодательным введением в действие международных стандартов ИО. Эти регламенты должны стать универсальным инструментом для интенсификации атаки на давно известный феномен – Educational Gap. Для успешного достижения целей модернизации ИО необходима разработка общей теории – эдукологии ИО. Базовые постулаты этой теории предлагаются в данной статье.



В.И. Лившиц

Ключевые слова: эдукология, системотехника, гомеостаз, адекватность, учебно-организационная система.

Key words: systems engineering, adequacy, homeostasis, feedback.

Проблемная ситуация. С начала XXI века функционирование мировой системы Engineering Education (в дальнейшем – ЕЕ) происходит в принципиально новой ситуации: законодательно введены в действие международные стандарты ЕЕ (МС ЕЕ). Эти стандарты сгруппированы в три кластера [1], [2], [3], [4] для различных регионов мира. Все три кластера объединяет базовое положение, получившее название **компетентностный подход**: категорический примат требований работодателя к качеству всей «продукции» ЕЕ и отдельного «изделия» – выпускника ЕЕ. Эти требования сконцентрированы в параметре «профессиональная компетентность выпускника ЕЕ» (ПК) и соответствующем пакете профессиональных компетенций (ППК).

В квартете «ПК, знания, умения, навыки» (ПКЗУН), характеризующем результаты ЕЕ, три последних показателя уступают первую роль параметру ПК, оставаясь лишь в качестве промежуточных, сугубо учетных индикаторов.

Принятие консенсуса по базовому принципу МС ЕЕ явилось итогом разрешения многолетнего конфликта интересов в паре «работодатель – «производитель» инженеров» при попытках преодоления EG – Educational Gap. Этот феномен, свойственный большинству структур, систем и элементов ЕЕ, представляет собой отставание ЕЕ от сегодняшних реалий и завтрашних инноваций хай-тек, инфо-тек и сайенс-тек в техносфере. Таким образом, новизна ситуации в ЕЕ заключается в том, что создан и вменен в обязательное использование универсальный инструмент МС ЕЕ для активизации атаки на давно известный феномен EG.

Существование EG – это реальное, продолжающееся много лет подряд состояние ЕЕ. Однако объективных, принципиальных оснований EG под собой не имеет и является следствием пренебрежения известной аксиомой о триаде: новая технология и новые знания, умения, навыки в техносфере должны сопровождаться синхронным и параллельным обновлением техники,

хардвера, софтвера, методологии и дидактики в ЕЕ. Сегодня вследствие научно-технологической революции имеет место феноменальный рост сложности объектов, элементов, сегментов техносферы; поэтому выполнение требований о триаде – задача очень затратная и нетривиальная. Однако аксиома о триаде не отменяется, и сегодня накоплен немалый опыт в решении этой задачи, о чем существует много публикаций, относящихся к образовательной инженерии [5].

И всё-таки следует признать, что ЕЕ имеет широкое распространение в вузах ЕЕ, в которых стагнация ЕЕ носит многолетний, перманентный характер. Немалую роль в этой стагнации играют такие фетиши университетского истеблишмента, как академическая свобода вузов, плюрализм в понимании целей ЕЕ и т.п. В этих условиях выполнение требований новых МС ЕЕ нередко отдается на откуп профессуре, далеко не всегда готовой к модернизации многолетнего уклада университетского «жизия».

Топ-структуры ЕЕ не могут противопоставить «фронде» профессуры теоретически обоснованную позицию по простой причине: теория ЕЕ в настоящее время отсутствует. Многочисленные теоретические разработки отдельных вопросов и областей ЕЕ до сих пор не объединены в рамках общей теории – эдукологии ЕЕ. Ввод в действие МС ЕЕ ярко оттенил необходимость заполнения этой лакуны, поскольку отсутствие эдукологии ЕЕ придает решениям топ-структур по стратегии и тактике ЕЕ характер откровенного администрирования на основе волюнтаризма, а также является препятствием для решения задач оптимизации ЕЕ.

Системотехника ЕЕ. Итак, очевидно, что проблема модернизации ЕЕ носит характер объективного императива. Если в качестве базового модуля структуры ЕЕ рассматривать систему выпускающей кафедры, то следует отметить, что названная выше проблема носит многоплановый характер и зависит от большого числа внутренних и внешних факторов. Иными словами, перед нами сложная проблема, которая может быть рассмотрена как сложная система. Современный научный аппарат

исследования и проектирования сложных систем объединяет системотехника (Systems Engineering).

Системотехника ЕЕ включает следующие блоки:

- теоретическая системотехника ЕЕ изучает общие аспекты методологии и аппарат (инструментарий), оптимальные для целей системы. Здесь рассматриваются описание систем, эффективность, моделирование, оптимизация, принятие решений, управление в структурах и модулях ЕЕ;
- технологическая системотехника ЕЕ изучает технологию (методологию) основного процесса системы – процесса научения, обучения, передачи знаний, умений, навыков и их трансляции в профкомпетентность. Здесь изучаются планирование учебного процесса в Curricula and Syllabi (учебных планах и образовательных программах), подсистемы, оценочные индикаторы и др.;
- инженерная системотехника ЕЕ – употребляется также уже упомянувшееся название «образовательная инженерия»;
- организационная системотехника ЕЕ изучает деятельность людей: социальная психология, планирование, управление в системе.

Выбранный модуль структуры ЕЕ обозначим как **учебно-организационную систему (УОС)**. Компоненты УОС – люди, техника, технология, методология, информация, финансы – должны образовать эффективно функционирующую систему. В условиях нарастающей сложности всех компонентов внешнего мира это весьма непростая задача. Вместе с тем эта задача выполнима, чему примером является деятельность вузов и кафедр – лидеров мирового ЕЕ. Отсюда возникает проблема технологизации процессов, происходящих в недрах этих лидеров ЕЕ (несмотря на утверждения, что эти процессы носят исключительно эвристический характер и не поддаются анализу и воспроизведению). Технологизация является первым этапом перевода действий из эвристической в операциональную плоскость. Последующие этапы – формализация и

алгоритмизация для анализа, решения задач оптимизации, имитационного моделирования. Аппарат такой технологизации представляет системотехника.

До сих пор многие топ-менеджеры ЕЕ убеждены, что достаточно построить УОС как четко работающий механизм – и все проблемы будут разрешены. Но сложность и динамичность мира в начале XXI века требуют от УОС высокой способности к адаптации, к умению выполнять свои функции в широком диапазоне изменений внешних и внутренних условий и даже в обстановке конфликта. Поэтому для УОС неизбежен переход от механизма к организму, или от машины к системе, обладающим гораздо более высоким потенциалом адаптации.

Ведущие системологи, например, John van Gigh [6], относят системы сферы образования к мягким системам. Такие системы в зависимости от условий внешней среды и, прежде всего, от команд надсистемы могут принимать различные состояния при одних и тех же начальных условиях. Измерения результатов деятельности систем образования очень затруднены в силу целого ряда причин [6].

На этапе функционирования и развития УОС ЕЕ должны учитываться различные, в том числе и негативные, воздействия результатов деятельности УОС на экосферу, инфосферу, техносферу, социосферу. Проектировщики и функционеры реальных УОС должны «держат руку на пульсе» своей структуры и получать оценки своей деятельности от работодателей – потребителей выпускников УОС и от самих «молодых профессионалов». Эта информация обязательна к использованию как сигнал обратной связи при коррекции входов и внутренних процессов УОС.

Контур обратной связи формально заложен в УОС при ее проектировании. Но на этапе функционирования и развития УОС целый ряд объективных и субъективных факторов приводит к тому, что обратная связь игнорируется вообще или же используется в выхолощенном виде, полностью утрачивая корректирующие функции.

Например, в этой коллизии негативную роль играет возносящая на щит

академическая свобода университетов. Она ведет к возможности дуализма в принятии управленческих решений в УОС. Зачастую такие решения отодвигают мониторинг и обратную связь в УОС в маргинальное положение, а иногда и вовсе аннулируют полученную от них информацию. Причина этого весьма очевидна: мониторинг (feedback) – это всегда вмешательство внешних для УОС факторов: работодателей, функционеров региональных или федеральных органов власти, назначенных ими экспертов и т.п. И все эти вмешательства гласно или негласно рассматриваются профессурой как посягательство на академическую свободу университетов. Таким образом, часто реальные результаты деятельности УОС существенно отличаются от декларируемых в проектах целей УОС. Многие работодатели, аудиторы и эксперты характеризуют такую ситуацию как кризис ЕЕ.

Это утверждение исходит из очевидной, казалось бы, нормы: целью государственной системы ЕЕ должно быть удовлетворение потребностей страны в специалистах. Однако практика свидетельствует о том, что эта цель отнюдь не числится среди приоритетов нынешней деятельности модулей и структур системы ЕЕ. Объективные и субъективные факторы привели к эрозии и деформации этой цели настолько кардинально, что проблема удовлетворения потребности в специалистах зачастую даже не рассматривается в спектре задач системы ЕЕ. Считается, что это проблема рынка труда, а не системы ЕЕ.

Вышеизложенное показывает, что сегодня в УОС роль обратной связи предельно минимизирована, поскольку контур обратной связи фактически аннулирован. Но одна из базовых аксиом системотехники гласит: мягкие системы без обратной связи склонны к деформации целей и «выходов» системы с последующей неизбежной деградацией. Такой сценарий может быть предотвращен только своевременной санацией «заболевшей» системы.

Обратная связь – не единственный инструмент воздействия на УОС. Все модули системы ЕЕ – это звенья с людьми, то есть организации – открытые системы, которыми нельзя управлять, как

неживыми системами, исключительно путем введения feedback. По результатам мониторинга необходимо включать саморегулирование, то есть стимуляторы и элементы мотивации, инициирующие поворот УОС к безусловному достижению целей системы. Недопустимо только безучастное наблюдение за тем, как затраты громадных ресурсов дают не те результаты, ради которых создавалась система.

Концепция управления в сложных системах базируется на разрешении двух сопряженных проблем: обеспечение стабильности функционирования системы и повышение ее эффективности введением инноваций. Очевидно, что эти проблемы находятся в известном противостоянии друг другу. Цель оптимального управления – удерживать две характеристики системы – стабильность и изменчивость – в диалектическом единстве.

В любой сложной системе имеет место дивергенция, то есть стремление отдельных элементов системы ставить свои цели выше главной цели системы. Особенно это характерно для сложных систем с человеческой компонентой: её «элементы» стремятся занять наиболее выгодное или удобное для себя положение, нередко за счет «соседа» или за счет ресурсов, предназначенных для достижения цели функционирования системы. Эта ситуация получила название «путешественники в одной лодке»: помимо собственных целей, они имеют одну общую цель – «не утопить лодку».

Для таких систем может быть формализовано понятие гомеостаза.

Рассмотрим пространство переменных y_1, \dots, y_n , где y_i – вклад каждого «элемента» системы в достижение общей цели. Границей области гомеостаза в этом пространстве называют поверхность $F(y_1, \dots, y_n) = F_0$, выделяющую область существования всех субъектов, го есть область стабильности, гомеостаза системы.

Для сохранения своего пребывания в области H (homeostasis) система обладает следующими возможностями:

- 1) изменять свое положение относительно границ области H ;
- 2) изменять в некоторых пределах свои внутренние характеристики, влияя

тем самым на очертания границ области H (свойство пороговости);

- 3) изменять, хотя бы на время, параметры окружающей среды.

Для реализации этих возможностей система должна обладать двумя способностями:

- нечувствительность и защищенность к возмущениям извне;
- отслеживание внутренних возмущений, вызванных разладкой параметров внутри системы.

Общая теория систем предостерегает против тривиализации понятия H путём необоснованных параллелей с известными категориями из естествознания. Например, в биологии принцип H формулируется достаточно просто, однако подобная простота совершенно несвойственна сложным системам с людьми. Известны также попытки формализовать H , отождествляя его с устойчивостью в механике. Возможно, в случае простых систем такое отождествление продуктивно, но в случае сложных систем, по утверждению Н.Н. Моисеева [7], бесполезно искать однозначную связь между сложностью и устойчивостью.

Гомеостаз как тренд развития привел к созданию гомеостатов – саморегулирующихся систем, стремящихся удерживать свои параметры в определенных границах. Гомеостаты функционируют внутри сообщества подобных себе систем, что вызывает обмен информацией между ними. УОС может быть названа искусственным гомеостатом с некоторым уровнем саморегулирования для достижения поставленной цели и самопрограммирования при изменении целей системы. В названии УОС отражено очень важное, нетривиальное её свойство – организмичность. Организм – система, обладающая собственными целями, ресурсами для их достижения и целенаправленными действиями (поведением). Суперцель организма – сохранение H . В организмах с участием людей (коллективах) особую трудность вызывает то, что здесь реакции на любые инновации не рефлексны (синтаксичны), а семантически, то есть носят сложный опосредованный характер.

Гомеостатам в принципе свойственны явления «прогресса», то есть возрастания эффективности функционирования путем освоения инноваций. Однако часто поведение организмов (организаций) подавляет эту тенденцию в угоду другим стратегиям развития. Нередко гипертрофия Н приводит к застою, к негативным результатам в профессиональном или социальном плане. Это следствия стагнации, длительного использования устаревших, но «надежных» технологий и методологий деятельности, блокирования инноваций в системе и т.д.

Подобная тактика позволяет получить достаточно высокую стабильность системы в ущерб релевантности системы по отношению к надсистеме, нижележащим управляемым системам и актуальной среде. Иными словами, одной категории Н недостаточно для эффективного управления УОС, ибо Н характеризует только одну сторону системы – стабильность. Изменчивость и стабильность в системе находятся в сложном, диалектически противоречивом единстве и, без сомнения, должны быть обе отражены в концепции управления системой. Возрастание сложности и динамичности современных систем выводит на первый план такую категорию системного анализа, как адекватность А (adequacy) – способность системы принимать и реализовать инновации, адекватные воздействиям среды и надсистемы, оставаясь в русле успешного функционирования для достижения заданной цели системы.

Сегодня нередко в силу самых разнообразных причин, как объективных, так и субъективных, УОС ограждена от непосредственного воздействия среды и функционирует в искусственно благоприятном ареале деятельности. Однако динамичность среды постоянно нарастает, и поэтому остановка развития УОС в этих условиях означает регресс системы, драматический разрыв, нарушение принципа адекватности УОС инновациям в техносфере и инфосфере – Educational Gap (EG).

Итак, для модуля ЕЕ возможны две стратегии деятельности:

1) модуль – машина. Задается конечная цель, алгоритм и средства ее

достижения. После этого УОС начинает работать по жесткой схеме, каковы бы ни были внешние условия;

2) модуль – система. Задается конечная цель и некоторый тренд функционирования для достижения этой цели. После этого УОС начинает работать, стремясь достичь конечной цели и сохранить заданный тренд при изменяющихся внешних условиях.

Организации чаще всего сформированы в иерархические структуры. Делегирование вниз из центра полномочий и ресурсов превращает эти подсистемы в самостоятельные организмы с собственными целями, и неизбежно возникают противоречия между центром и нижележащими подсистемами. Эти коллизии чаще всего основаны на том, что Н абсолютизируется как суперцель организма. Именно в иерархических системах ЕЕ очень часто А приносится в жертву Н, и поэтому стратегия управления УОС должна уделять большое внимание сохранению категории А на требуемом уровне.

Главная цель УОС. Рассматриваемый модуль структуры ЕЕ - УОС проектируется и создается тогда, когда возникает проблемная ситуация – противоречие между новыми потребностями общества и низкой эффективностью ЕЕ по их удовлетворению. В чем состоит вызов XXI века? Ответ мировых авторитетов однозначен: это **сложность** техносферы, инфосферы, социосферы, возрастающая с каждым днем. Инструмент овладения сложностью – высочайший профессионализм, вооруженный системным подходом, прежде всего, в области технологии и инфознания, в котором решительно возрастает роль эмпирических знаний и эвристических, креативных, концептуальных решений. Традиционный подход к разрешению проблем на базе естествознания, физикализма, моделизма, аналитики отходит на второй план.

Проблемная ситуация формирует цель УОС. Исходя из изложенного выше, главная цель УОС формулируется следующим образом: релевантный трендам развития цивилизации в целом и конкретного социума в частности рост диапазона и качества профкомпетентности количественно заданного

контингента учащихся, достигаемый посредством постоянного мониторинга указанных трендов и гибкой перестройкой структуры и поведения компонентов и системы в целом.

В данной формулировке нашли отражение конечные продукты УОС, а также идеальное состояние объекта управления, руководствуясь стремлением к которому, должна функционировать УОС. Сочетание качественно и количественно эффективного процесса с высокой мобильностью – обязательный на сегодня интегральный бренд успешной УОС. Оба эти свойства не должны находиться в причинно-следственной связи, ибо каждое из них характеризует важнейшую сторону деятельности УОС, имеющую самостоятельную ценность.

Целеполагающее пространство обычно принимается четырехмерным: УОС взаимодействует с управляющей системой (надсистемой), управляемыми системами и актуальной средой. Кроме того, УОС формирует сама для себя цели устойчивого функционирования. Поэтому на втором уровне декомпозиции должны быть сформированы четыре подцели, исходя из четырехмерности целеполагающего пространства.

Модель деятельности УОС по критериям Н и А. При построении этой модели выполняются следующие этапы:

1) выбор входных и выходных параметров модели;

2) выбор критериев, которым должны удовлетворять входные и выходные параметры модели; очевидно, эти параметры могут быть вычислены или назначены в зависимости от Н и А;

3) выбор генерального критерия функционирования УОС;

4) формальное определение результата деятельности УОС, то есть выходных параметров через входные, при помощи производственной функции УОС;

5) формулировка оптимизационной задачи с учетом генерального критерия функционирования УОС, ограниченный, а также связей между входными и выходными параметрами УОС.

Производственная функция описывает производственные системы. Здесь под производством подразумевается основной процесс деятельности, для реализации которого и создана система.

В монографии [5] для построения производственной функции УОС предлагается использовать функцию Кобба – Дугласа, которая считается классической для подобных задач в экономической кибернетике [8].

Технология построения производственной функции УОС, а также постановка оптимизационной задачи для УОС и алгоритмы решения частных задач субоптимизации изложены в [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. International Engineering Alliance [Electronic resource] : the official site. – URL: <http://www.washingtonaccord.org>.
2. ABET [Electronic resource] : the official site. – Baltimor : ABET, Inc., 1998–2010. – URL: <http://www.abet.org> (usage date: 14.05.2011).
3. ENAEE EUR-ACE European Accreditation Engineering programmes [Electronic resource] : the official site. – Brussels : ENAEE, Inc., 1998–2010. – URL: <http://www.enaee.eu/the-eur-ace-system/eur-ace-framework-standards/> (usage date: 14.05.2011).
4. The APEC Engineer Manual: the identification of substantial equivalence [Electronic resource] / Asia-Pacific Economic Cooperation, Human resources development working group, [2009]. – 48 p. – URL: http://www.washingtonaccord.org/APEC/Documents/APEC_Engineer_Manual.pdf (usage date: 14.05.2011).
5. Беляев А., Лившиц В. Educational Gap: технологическое образование на пороге XXI века. – Томск: STT, 2003. – 503 с.
6. Gigch John P. van. Metadecision: Rehabilitating Epistemology (Contemporary Systems Thinking). – New York : Springer Publ., 2003. – 363 p.
7. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
8. Экономическая кибернетика : учеб. для вузов / Н.Е.Кобринский, Е.З. Майминас, А.Д.Смирнов. – М.: Экономика, 1982. – 408 с.