



Инжиниринг в учебных программах вуза



Александр ЛИСЕНКОВ

Alexander N. LISENKOV

Engineering in University Curricula
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 227)

Рассмотрены принципы и содержание инжиниринговых подходов, излагаемых в вузовских учебных программах и призванных формировать у студентов ответственное отношение к качеству конечного продукта труда. В их числе робастное проектирование современных систем и управленческой деятельности, а также методы многокритериальной оценки объектов с показателями различной природы для принятия обоснованных управленческих решений. Дана характеристика программного обеспечения и методик, положенных в основу преподавания дисциплин по инновационному и стратегическому менеджменту, управлению персоналом транспортных организаций.

Ключевые слова: транспорт, вуз, управление качеством, учебные программы, инжиниринг, робастное проектирование, многокритериальная оценка объектов, показатели нечисловой природы, программное обеспечение, методика.

Лисенков Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой «Менеджмент и управление персоналом организации» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Термин «инжиниринг» в переводе с английского означает «проектирование» в отличие от имеющихся в ряде учебников и руководств расплывчатых определений типа «инжиниринг – это есть улучшение деятельности организации, повышающее ее эффективность на 10–15%, а реинжиниринг – радикальное улучшение деятельности, дающее высокий прорывной эффект».

Необходимость инжиниринговых подходов в современном менеджменте (инновационный, стратегический, управление качеством, бизнес-процессами и т. п.) следует из глубокого смысла канонической триады: «качество продукции закладывается на этапе ее проектирования, создается на этапе производства и проявляется только в процессе эксплуатации». Поэтому внимание специалистов должно быть ориентировано в первую очередь на этап проектирования, где закладываются основные резервы ожидаемого успеха (концепция «off-line», созвучная известному принципу: «семь раз отмерь, один раз отрежь»). И только потом следует концентрировать усилия на совершенствовании и контроле самого производства (кон-

цепция «on-line»). К сожалению, последнее преобладает, и этим в определенной степени объясняется тот факт, что отечественная техника (например, автомобили) может стоить относительно дешево, но слишком дорога в эксплуатации. Не случайно при планировании ресурсов в машиностроении большую их часть обычно выделяют на создание ремонтных предприятий.

Инжиниринговые подходы ориентированы не только на то «что надо сделать», а «как это сделать», причем используя именно инженерные принципы и формализованные процедуры. В числе таких процедур структурирование функции качества, применение многофакторного эксперимента и статистических моделей, робастное проектирование продукции и управленческой деятельности с оценкой их эффективности по новому экономическому критерию — функции потерь качества, многокритериальная оценка объектов исследования для принятия обоснованных управленческих решений и др. [1–6].

1.

В программу подготовки студентов (бакалавров и магистров) по кафедре «Менеджмент и управление персоналом организации» включена и читается дисциплина «Менеджмент инжиниринга качества». Основными ее инновационными элементами являются методики робастного проектирования (РП) современных систем и управленческой деятельности и процедуры многокритериальной оценки объектов управления с показателями различной природы.

Методология РП рекомендована нами, например, для выбора и планирования инвестиционных проектов (ИП) в условиях неопределенности рыночной среды. Она предполагает формализацию объектов управления по типу кибернетической модели «черного ящика», входными факторами X которого являются показатели схемы инвестирования, доступные изменению инвестором при расчётах — объём инвестиций, динамика их вложений, форма вложений (в виде финансовых поступлений, поставки оборудования, лизинга и т. п.) и обуслав-

ливающие значения выходных показателей Y эффективности проектов. Причиной и источниками неопределённости выступают дестабилизирующие факторы Z , характеризующие состояние рыночной среды (изменение спроса на проектируемую продукцию, стоимости сырья и комплектующих, уровня налогообложения и т. п.) и влияющие на показатели Y .

Как одна из новаций в менеджменте качества методика так называемого «робастного» проектирования начала применяться для проектирования технических систем в реальных экспериментах по выбору их конструктивных и режимных параметров с учетом влияния дестабилизирующих факторов, возникающих на постпроектных этапах производства, хранения и эксплуатации конечного продукта коллективных усилий [9].

Предлагаемая и преподаваемая на кафедре методология выбора и исследования эффективности ИП основана на проведении многовариантных расчётов путем изменения факторов X схемы инвестирования с учетом предполагаемого действия дестабилизирующих факторов Z по соответствующему многофакторному плану. Итоговая схема — план робастного проектирования представляет собой прямое произведение плана основных факторов X и плана дестабилизирующих факторов Z , т. е. каждый вариант (комбинация уровней) основных факторов испытывается во всех вариантах, задаваемых планом дестабилизирующих факторов.

По результатам таких расчётов кроме значений выходного показателя Y эффективности инвестиционных проектов определяют значения T -критерия Тагути, характеризующего значения показателя Y с учетом его изменчивости. Далее анализируется зависимость T -критерия от каждого из факторов X и фиксируется та комбинация значений факторов, которая соответствует наибольшим значениям T -критерия. Полученный таким образом вариант с наибольшими значениями T -критерия отвечает наилучшему значению Y и его минимальной изменчивости. Он минимизирует функцию потерь качества, иллюстрирующую из-



держки производителя на ремонт отказавших при эксплуатации в период гарантийного срока изделий или их замену новыми [5, 6].

Для выбора робастных вариантов реализации ИП – проведения многофакторных расчётов показана возможность использовать известные пакеты «Альт-инвест» и «Project Expert», а также каталоги экономных многофакторных планов, характеристика которых дается в университетском курсе «Менеджмент инжиниринга качества».

Предлагаемые инжиниринговые процедуры многокритериальной оценки объектов управления с количественными показателями их эффективности или качества построены на многомерном шкалировании таких объектов методом главных компонент [3, 4].

Этот метод предусматривает переход от исходных коррелированных переменных (индивидуальных показателей объекта) к новым формальным переменным – главным компонентам (ГК). Последние являются линейными комбинациями индивидуальных показателей; они ортогональны друг другу и упорядочены по величине изменчивости (дисперсии) исходных индивидуальных показателей, которую они объясняют. Причем первые две или три ГК могут объяснять 60–90% общей изменчивости. И такой переход к малому числу исходных показателей соответствует сжатию исходной многомерной информации об объектах в форме, удобной для дальнейшего анализа и построения интегрального показателя многокритериальной оценки.

Проектируя выборку данных, соответствующих исследуемым объектам на плоскости первых ГК, можно визуально выявить, распадается ли анализируемая выборка объектов на группы, сколько таких групп и как далеко они отстоят друг от друга. Подобная возможность связана с тем, что при проектировании сохраняется взаимное расположение точек в анализируемой выборке. В силу ортогональности ГК в качестве меры расстояния между объектами вполне годится обычная метрика Евклида. При этом отнесение объектов в различные

группы проводится по величине радиусов точек, соответствующих объектам в пространстве ГК.

Например, в плоскости первых двух ГК, обозначаемых через z_1 и z_2 , каждой точке (каждому i -му объекту) будет соответствовать радиус

$$\rho_i = \sqrt{z_{1i}^2 + z_{2i}^2}.$$

Используя эту меру расстояния, вычисленную по нескольким первым ГК, объясняющим наибольшую часть общей изменчивости исходных признаков, можно осуществить интегральную оценку объектов по значениям такого радиуса, а также получить достаточно полное представление о наличии и возможности группировки объектов в однородные группы.

Принципиальным дополнением к такому обычному анализу данных методом ГК (реализованном, например, в пакетах Statistica, Stadia, SPSS и др.) является наличие в схеме анализа предложенного нами модуля вычисления радиуса точек в пространстве первых ГК, соответствующих анализируемым индивидам как интегральному показателю их оценки [3].

Эффективность применения методики многокритериального оценивания объектов с количественными показателями была показана нами на примере решения комплекса практических задач, включая профотбор и аттестацию персонала, определение рейтинга железнодорожных вузов и сузов, наименее эффективных вагоноремонтных предприятий отрасли и т.п. [3, 4].

2.

В учебной программе «Менеджмент инжиниринга качества» предусмотрена демонстрация решения типовых задач многокритериального оценивания (МКО) с помощью метода главных компонент и модуля вычисления радиуса объекта управления в пространстве первых ГК с использованием отечественного пакета Stadia.

Для решения задач МКО объектов с показателями нечисловой природы был выбран экспертный подход на основе метода анализа иерархий (МАИ) [7].

Таблица 1

Значения индекса СИ и $\lambda_{\max}$ для матриц парных сравнений размерности n

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СИ	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54
$\lambda_{\max}$			3,10	4,26	5,44	6,62	7,81	8,98	10,16	11,34	12,51	13,69

Согласно этому подходу, предложенному Т. Саати [10], исследуемые объект или систему представляют в виде своего рода иерархии – абстрактной структуры для изучения функциональных взаимодействий ее элементов между собой и воздействий на систему в целом.

Такая абстракция изображается графом. Верхний нулевой уровень иерархии есть глобальный критерий системы, отражающий цель исследований. Следующий (первый) уровень представляют акторы (люди и организации, оказывающие влияние на принятие решений). На втором уровне расположены используемые критерии (технико-экономические, экологические, показатели рисков и так далее) для оценки объектов (сравниваемых вариантов). На третьем уровне возможно структурирование критериев на подкритерии. Наконец, на последнем уровне иерархии представлены альтернативные варианты решений – сценарии прогнозируемых результатов, варианты проектов, сравниваемые объекты, стратегии действий и тому подобное.

Для выбранного набора критериев (показателей) объектов экспертами проводится их оценка методом парных сравнений с целью получения их весов q_i – приоритетов, характеризующих степень их значимости для последующего определения итоговых приоритетов элементов следующего уровня иерархии – в нашем случае сравниваемых объектов.

В многоуровневых иерархиях приоритеты элементов каждого уровня используются для оценки приоритетов элементов следующего уровня. Парные сравнения проводятся с использованием так называемой фундаментальной шкалы отношений из девяти значений степени предпочтения, включая значения 1, 3, 5, 7, 9 и промежуточные 2, 4, 6, 8. При этом если степень предпочтения

одного показателя (критерия) над другим есть x , то есть превосходит его в x раз, то степень предпочтения сравниваемого с ним показателя будет $1/x$. Такая шкала предпочтений предложена Т. Саати, исходя из ее связи с психофизическим законом Вебера-Фехнера, и отражает психометрические возможности человека.

Для каждого из k используемых критериев при анализе n сравниваемых объектов методом парных сравнений анализируют k матриц размером $n \times n$ с получением приоритетов ω_{ij} , $i = 1 - k$, $j = 1 - n$ каждого j -го объекта с точки зрения каждого i -го критерия. На заключительном этапе оценивают итоговые приоритеты каждого из сравниваемых объектов в виде линейной комбинации

$$P_j = \sum_{i=1}^k q_i \omega_{ij}, j = 1 - k.$$

Процедура получения приоритетов с помощью МАИ дает содержательные результаты только в случае согласованности экспертных суждений – выполнения условий их транзитивности. С целью проверки **согласованности** для каждой матрицы парных сравнений элементов на каждом уровне иерархии вычисляют две характеристики – **индекс согласованности (ИС)** и **отношение согласованности (ОС)** предпочтений экспертов. Индекс согласованности

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

где n – размерность матрицы **парных сравнений элементов (критериев или объектов)**, $\lambda_{\max}$ – наибольшее собственное значение (число) такой матрицы.

Простой приближенный способ вычисления $\lambda_{\max}$ для случая, когда известен вектор приоритетов Π ($P_1, P_2, \dots, P_n$), предусматривает сложение элементов каждого столбца матрицы парных срав-



нений и умножение полученного в результате вектора $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ на нормированный вектор приоритетов $\tilde{P}$:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n a_j \tilde{P}_j.$$

Сравнивая ИС с так называемым случайным индексом согласованности (СИ) из таблицы 1 для выбранного числа n – размерности матрицы парных сравнений получают значение $ОС = ИС/СИ$, которое должно быть меньше или равно 0,1. В противном случае эксперту следует пересмотреть свои приоритеты или даже саму иерархию – структурировать ее другим способом [10].

В работах [7, 8] рассмотрен формализованный подход к решению задачи достижения согласованности суждений экспертов – их корректировки методами многофакторной оптимизации для минимизации $\lambda_{\max}$ до приемлемых значений, полученных и представленных в таблице 1. При этом для корректировки исходных предпочтений экспертов, не отвечающих условию согласованности, допустимо использовать комбинаторные планы неполного перебора вариантов, направленный поиск искомого варианта методом «крутого восхождения» или симплексным методом оптимизации.

Разработанная методика анализа иерархий, включающая процедуру достижения согласованности суждений экспертов, использовалась нами для принятия решений при исследовании объектов энергообеспечения (котельных в хозяйстве ОАО «РЖД») с позиции оценки последствий проведения их модернизации по комплексу нечисловых показателей (экология, социальная сфера, надежность и безопасность работы и т.п.); при сравнении вариантов месторасположения в перспективе звеносборочной базы для обслуживания Московской железной дороги; при профотборе претендентов на вакансии в ООО «Энерго-

промышленные технологии» и решении задач лэнд-девелопмента.

Подчеркнем в заключение еще раз: создание методик робастного проектирования и многокритериальной оценки объектов управления с показателями различной природы, а также опыт их применения с участием студентов в организациях железнодорожного транспорта являются составной частью учебной программы «Менеджмент инжиниринга качества». Возможности таких подходов и разработанных методик рассматриваются также при чтении учебных дисциплин по инновационному и стратегическому менеджменту как обязательной области знаний для будущего персонала транспортных компаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лисенков А. Н. Инжиниринг качества – основа современного менеджмента качества: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 2004. – 41 с.
2. Лисенков А. Н. Робастное проектирование: использование ортогональных планов неполного перебора вариантов // Методы менеджмента качества. – 2007. – № 5. – С. 18–22.
3. Лисенков А. Н. Статистические методы и модели в менеджменте качества: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 2007. – 85 с.
4. Козырев В. А., Лисенков А. Н., Палкин С. В. Развитие систем менеджмента качества: Учеб. пособие. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2014. – 267 с.
5. Лисенков А. Н. Об инжиниринговых подходах в современном менеджменте // Современные реалии, тренды и инновации в управлении бизнес-процессами: Труды междунар. научно-практ. конференции. – М.: МИИТ, 2014. – С. 245–246.
6. Лисенков А. Н., Сербиненко О. В. Исследование эффективности инвестиционных проектов по обеспечению безопасности в условиях неопределенности // Безопасность движения поездов: Труды 15-й научно-практ. конференции. – М.: МИИТ, 2014. – С. IV-12.
7. Лисенков А. Н., Кузнецов И. В. Экспертное оценивание многокритериальных объектов с показателями нечисловой природы: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 2012. – 32 с.
8. Лисенков А. Н., Кузнецов И. В. Многокритериальная оценка объектов управления с показателями нечисловой природы // Методы менеджмента качества. – 2012. – № 6. – С. 22–28.
9. Леон Р., Шумейкер А., Какар Р. и др. Управление качеством, робастное проектирование, метод Тагути: Коллективная монография / Пер. с англ. – М.: Сейфи, 2002. – 384 с.
10. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радиосвязь, 1993. – 278 с. ●

Координаты автора: **Лисенков А. Н.** – +7(495) 684–2852.

Статья поступила в редакцию 23.04.2015, актуализирована 04.06.2015, принята к публикации 28.10.2015.