

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ

В. К. Дедков

Принципы «минимакса» и «максимина» можно назвать «перестраховочными» принципами выбора оптимального решения при проектировании технической системы.

В противовес «перестраховочному» принципу выбора оптимального решения рассмотрим принцип «умеренного риска», называемый **принципом Байеса–Лапласа** [1].

Рассмотрим пример применения теории игр к выбору технических решений в процессе проектирования системы, определяющих технические параметры будущей системы при минимальных затратах на достижение цели ее применения. Задачи оптимального (в определенном смысле) выбора решения возникают при проектировании сложной технической системы, такой, например, как транспортный космический корабль многоцелевого назначения (ТКК), не имеющий аналогов, или другие системы, опыт применения которых к началу проектирования отсутствует.

Согласно принципу Байеса–Лапласа возможным вариантам внешних условий применения проектируемой системы приписываются **определенные вероятности** их осуществления, сумма которых равна единице.

Использование этого принципа предполагает как бы отступление от условий полной неопределенности, хотя сами вероятности назначаются априори и отражают скорее интуицию исследователя, чем объективное значение вероятности будущей ситуации (в противном случае задача могла бы быть решена методами стохастического программирования, и применение каких-либо специальных принципов решения не потребовалось бы).

Приведем расчеты удельных приведенных затрат на единицу полезной нагрузки каждого варианта проектируемого ТКК в различных условиях их возможной реализации.

Результаты этих расчетов сведем в табл. 1.

Таблица 1

Вариант ТКК	Удельные приведенные затраты в условных единицах стоимости при различных вариантах внешних условий			
	I	II	III	IV
I	0,30	0,48	0,81	0,85
II	0,55	0,33	0,78	0,68
III	0,63	0,93	0,35	0,53
IV	0,98	0,83	0,63	0,38

Если предположить, что каждый из четырех вариантов внешних условий применения ТКК может реализоваться с одинаковой вероятностью (принцип **равной вероятности**), то применение принципа Байеса–Лапласа к выбору варианта ТКК дает значения приведенных удельных затрат на единицу полезной массы, указанные в табл. 2.

Таблица 2

Вариант ТКК	Условная единица стоимости ТКК, приходящаяся на единицу полезной массы
I	$1/4 (0,30 + 0,48 + 0,81 + 0,85) = 0,61$
II	$1/4 \sum_{i=1}^4 a_{2i} = 0,585$
III	$1/4 \sum_{i=1}^4 a_{3i} = 0,61$
IV	$1/4 \sum_{i=1}^4 a_{4i} = 0,7075$

Определенные таким образом средние наибольшие затраты позволяют сформулировать критерий выбора оптимального варианта проектируемого ТКК: $\min_j a_{cpj} = a_{opt}$.

Как видно из табл. 2, таким является второй вариант, и рекомендации о выборе варианта в соответствии с критерием Байеса–Лапласа совпадают с рекомендациями, сделанными на основе минимакса.

Принцип Гурвица по смыслу близок к рассмотренному принципу Байеса–Лапласа, т.е. принципу «умеренного риска».

В соответствии с этим принципом выбор «оптимального» решения производится по критерию минимума средней арифметической двух крайних значений приведенных удельных затрат, т.е. затрат, соответствующих наиболее и наименее благоприятным состояниям «природы».

В рассматриваемом примере средние арифметические крайних значений показателей затрат на выполнение задачи ТКК приведены в табл. 3.

Таблица 3

Вариант ТКК	Условная единица стоимости ТКК на единицу полезной массы
I	$(0,30 + 0,85) : 2 = 0,575$
II	$(0,30 + 0,78) : 2 = 0,555$
III	$(0,33 + 0,93) : 2 = 0,64$
IV	$(0,38 + 0,98) : 2 = 0,68$

Применяя критерий эффективности, соответствующий принципу Гурвица, находим, что «лучшим» в смысле принятого критерия является второй вариант применения ТКК.

Рассмотрим **принцип минимакса последствий ошибочного решения**, называемый принципом Сэведжа.

Суть этого принципа заключается в сопоставлении последствий принятого решения с последствиями того решения, которое могло быть принято в случае, если бы было достоверно известно будущее состояние «природы» или, иными словами, если бы условия применения ТКК были однозначно определены.

Пусть, например, принято решение проектировать и изготовить ТКК по варианту I его применения. Тогда в случае реализации варианта I внешних условий ТКК будет полностью им соответствовать, и достигнутая величина удельных приведенных затрат окажется минимально возможной.

Если ТКК, предназначенный для реализации по I варианту внешних условий его применения, использовать для реализации по II варианту условий применения, то при этом приведенные удельные затраты на единицу полезной массы возрастут, а величина потерь составит при этом $53 - 30 = 23$ условные единицы стоимости на единицу полезной массы.

Подобным образом можно оценить ожидаемые потери для других вариантов использования ТКК при их применении и иных (не наилучших) вариантах внешних условий.

В табличной форме эти потери представляют собой так называемую **матрицу последствий ошибочных решений** или матрицу альтернативных потерь (табл. 4).

Таблица 4

Вариант ТКК	Ожидаемые потери (в усл. ед. стоим. на ед. пол. массы) при вариантах внешних воздействий			
	I	II	III	IV
I	0	0,15	0,46	0,47
II	0,23	0	0,43	0,30
III	0,33	0,60	0	0,15
IV	0,68	0,50	0,28	0

Максимально возможные потери при использовании ТКК по различным вариантам согласно табл. 4 приобретают следующие значения (табл. 5).

Таблица 5

Вариант	Условная единица стоимости ТКК на единицу полезной массы
I	0,47
II	0,43
III	0,60
IV	0,68

Принцип минимакса последствий ошибочного решения состоит в том, чтобы не допустить чрезмерно высоких потерь из-за ошибочных решений.

Поэтому в качестве рекомендуемого критерия для отбора решения предлагается критерий **минимума потерь при реализации ошибочного решения**.

Таким вариантом является II. При его реализации ожидаемые потери не превзойдут 0,43 условные единицы стоимости на единицу полезной массы, даже в том случае, если будет использован второй («не расчетный») вариант внешних условий.

Рассмотренные выше способы оценивания влияния различных критериев на выбор оптимального варианта ТКК показывают, что применение любого критерия приводит к выбору одного и того же варианта ТКК (варианта II), т.е. к одному и тому же решению. Этот случай можно назвать «идеальным». Более общей представляется такая постановка задачи, когда различные критерии выбора «подсказывают» разные решения.

Условные данные такого примера приведены в табл. 6.

Таблица 6

Вариант ТКК	Удельные приведенные затраты (в усл. ед. затр. на ед. пол. массы) при вариантах внешних условий		
	I	II	III
I	0,45	0,48	0,40
II	0,60	0,20	0,30
III	0,45	0,50	0,15
IV	0,65	0,20	0,15

Данным табл. 6 соответствуют следующие оценки затрат по рассмотренным выше критериям и рекомендации о принятии решений в соответствии с этими критериями (результаты расчетов сведены в табл. 7).

Таблица 7

Вариант ТКК	Критерии выбора решения			
	минимакса	Байеса–Лапласа	Гурвица	Сэведжа
I	0,48	0,44	0,44	0,28
II	0,60	0,37	0,40	0,15
III	0,50	0,37	0,32	0,30
IV	0,65	0,33	0,40	0,20
Наилучший вариант по принятому критерию	I	IV	III	II

П р и м е ч а н и е. Вариант IV удовлетворяет одновременно условиям II и III.

Руководствуясь полученными оценками, нельзя объективно выделить оптимальный вариант ТКК. Можно предположить, что выбирающее лицо вправе принять принцип отбора оптимального варианта по своему усмотрению на основе интуиции или в зависимости от свойств характера, темперамента и т.п. Однако такая точка зрения открывает дорогу субъективизму, облаченному в «тогу» научной обоснованности.

Какое же решение следует принять? Прежде, чем ответить на этот вопрос, следует задать себе другой: «А всегда ли есть необходимость выбирать единственное решение в столь неопределенной ситуации?». Процесс создания новой техники, и ТКК в том числе, есть процесс исследовательского уменьшения неопределенности. Поэтому цель принятия решения на раннем этапе проектирования не столько в определении оптимального варианта ТКК, сколько в выборе стратегии

разработки проекта. А эта стратегия сводится к последовательному уменьшению альтернатив по мере продвижения разработки от стадии к стадии и одновременно к последовательному накоплению информации.

Так, если первый пример отнести к стадии аванпроекта, то имеется смысл остановиться на втором варианте и рекомендовать его в качестве основы для эскизного проекта, а во втором примере целесообразно проработать эскизный проект во всех четырех вариантах, выполнив параллельно комплекс исследований, направленных на получение дополнительной информации о внешних условиях его использования.

На стадии эскизного проекта оценка эффективности должна быть проведена снова и по ее результатам рекомендованы один-два варианта для разработки технического проекта и т.д. На каждом этапе снижается степень исходной неопределенности.

Для целенаправленного получения недостающей информации и обоснования решения может быть использован метод «активного многофакторного эксперимента».

Изложенные модели применения математических методов оптимизации и выбора решения применимы, в основном, для рассмотрения частных задач. Если задачи более или менее общие, то их решение с применением приведенных выше методов возможно лишь в самой упрощенной постановке, характерной для начальной стадии проектирования.

Во всех остальных случаях испытанным оружием исследователя является традиционный метод «перебора» вариантов. А попытки применить строгие математические приемы оптимизации и на их основе выбрать наилучшие решения терпят неудачу из-за невозможности корректно сформулировать стоящую перед проектировщиком проблему. Произвол же в постановке задачи не лучше произвола в выборе решения, как это отмечает Е. С. Вентцель [2].

Список литературы

1. Нарусбаев, А. А. Введение в теорию обоснования проектных решений / А. А. Нарусбаев. – Л. : Судостроение, 1975.
2. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1964.

УДК 519.7

Дедков, В. К.

Оптимизация технического решения при проектировании системы / В. К. Дедков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 40–43.

Дедков Виталий Кириллович

доктор технических наук, профессор,
научный сотрудник отдела безопасности
и нелинейного анализа,
Учреждение Российской академии наук,
Вычислительный центр
им. А. А. Дородницына РАН
119333, г. Москва, ул. Вавилова, 40.
8-495-135-61-95
E-mail: dedkov-33@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматриваются принципы выбора оптимального решения при проектировании технической системы. В частности, рассмотрены принципы выбора оптимального решения на основе так называемого «умеренного риска», к которым относятся: принцип Байеса–Лапласа, принцип Гурвица и принцип Сэведжа, т.е. принцип минимакса последствий ошибочного решения.

Ключевые слова: принцип «минимакса», принцип «максимина», принцип «умеренного риска», принцип Байеса–Лапласа, принцип равной вероятности, принцип Гурвица, принцип Сэведжа.

V. Dedkov

doctor of technical science, professor, the scientific
worker of the division of safety and nonlinear analysis
the establishment of the Russian academy of sciences
computer center A. A. Dorodnitsyn,
Russian academy of sciences
119333, Moscow, Vavilova street, 40.
8-495-135-61-95
E-mail: dedkov-33@rambler.ru

Abstract. In article the principles of a choice of the optimum decision are considered at design of technical system. In particular the principles of a choice of the optimum decision on the basis of so-called «moderate risk» which treat are considered: Bayesa-Laplace's principle, Gurvits's principle and principle of Sevedzha, i.e. principle of a minimax of consequences of the wrong decision.

Key words: principle of «minimax», principle «maximine», principle of «moderate risk», Bayesa-Laplace's principle, principle of equal probability, Gurvits's principle, principle of Sevedzha.