

## ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

Волков В.Э., канд. физ.-мат. наук, доцент, Макоед Н.А., канд. пед. наук, доцент  
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*Рассмотрены проблемы принятия решений в условиях неопределенности (на базе нечеткой логики). Показано, что именно такая модель принятия решений наиболее эффективна для управления сложными системами.*

*Problems for the decision making under uncertainty (on the base of the «fuzzy model») are considered. It's proved that such model of the decision making is the most effective one for the complicated systems control.*

Ключевые слова: система, системный анализ, принятие решений, классическая модель принятия решений, принятие решений в условиях неопределенности, принятие решений в условиях риска.

В литературе [1–7] приведен ряд разнообразных определений системы вообще и сложной системы частности. Это – базовые определения системного анализа и теории систем, которые, как и основы определения в любой области научных знаний, не могут быть абсолютно строгими, так как являются настолько элементарными и абстрактными, что не могут быть выражены через более абстрактные понятия. В дальнейшем под системой понимается совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от внешней среды, взаимодействующая со средой как единое целое [7]. В свою очередь под сложной системой понимаем упорядоченное множество структурно взаимосвязанных и функционально-взаимодействующих разнотипных систем, которые объединены структурно в целостный объект функционально-разнородными взаимосвязями достижения заданных целей в определенных условиях [1]. При этом, вообще говоря, понятие «сложной системы» не совпадает с понятием «большой» системы, хотя четкой границы между этими терминами нет [7].

В теории систем [2,6,7] большой системой (large scale system) называют систему, которая состоит из большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих элементов и способна выполнять сложные функции. При этом, однако, не всегда такая система является сложной. Например, с точки зрения термодинамики идеальный газ [8] является весьма простой системой (интересно, что все двухпараметрические термодинамические системы, – а именно такой системой как раз является идеальный газ, – носят название простых систем [8]), в то время как он вполне подпадает под определение большой системы, приведенное выше. Гомогенная идеальная (невязкая) жидкость, хоть и является «большой» системой, весьма проста с точки зрения механики сплошных сред [9]. Основная причина того факта, что указанные выше большие системы нельзя считать сложными, состоит в том, что эти системы состоят из однородных элементов (идеальный газ – из одинаковых молекул, взаимодействие между которыми осуществляется только посредством их соударения, а гомогенная идеальная жидкость – из одинаковых жидких частиц, между слоями которых действуют силы внутреннего трения), хотя количество этих элементов очень велико. Один из основных признаков сложной системы – некоторая «разнородность» состава, «разнотипность» составляющих, существенным образом усложняющая математическое описание системы.

Собственно говоря, способ и возможности математического описания системы ряд специалистов считают критерием для определения ее «сложности». Например, английский специалист в области кибернетики С. Веер [7,10] все кибернетические системы разделил на простые и сложные в зависимости от способа описания: детерминированного или теоретико-вероятностного. Российский (советский) математик, инженер-адмирал Л. Берг [7,11] классифицировал все кибернетические системы как простые или сложные в зависимости от способа описания: сложную систему можно описать не менее чем двумя математическими языками.

Современные автоматизированные системы управления (АСУ) обеспечивают выполнение функций управления на базе использования математических методов и современных средств обработки информации. Важнейшей составляющей процесса управления является принятие решений. В настоящее время достижения в области компьютерной и телекоммуникационной техники значительно расширили возможности человека в области принятия более качественных решений в различных областях его деятельности. Это вызвано необходимостью создания программно-технических систем, позволяющих лицу, принимающему решение (ЛПР), построить информационную технологию, способную поддерживать процесс формирования того или иного решения (действия) в различных ситуациях. Такая компьютерная система (КС), которая предоставляет поддержку ЛПР в процессе принятия решений именуется системой поддержки принятия решений (СППР). При этом следует отметить, что в термины «принятие решений» и «поддержка» вкладываются различные понимания [12–14]. Создание СППР можно считать одной из проблем синтеза искусственного интеллекта, понимая под ним свойство автоматических и автоматизированных систем брать на себя отдельные функции интеллекта человека.

Принятие решения – это сложная мыслительная человеческая деятельность, которую можно определить как выбор направления действия для достижения цели [15]. Для описания этой деятельности существуют модели принятия решения [15]:

- 1) классическая;
- 2) поведенческая (по Саймону).

В классической модели ЛПР с помощью действительнзначной функции выигрыша назначает каждой альтернативе некоторое действительное число. Не составляет труда выбрать альтернативу, когда каждой из альтернатив ставится в соответствие единственный выигрыш: выбирается, естественно, альтернатива с максимальным выигрышем. Это называется принятием решения в условиях определенности. Проблема, однако, состоит в том, что ЛПР часто не обладает полным знанием о состояниях природы (среды), тогда каждой альтернативе назначается несколько выигрышей: именно такая ситуация обычно возникает при управлении сложными системами [16].

Собственно говоря, классическая модель принятия решений применима лишь в тех случаях, когда удается построить адекватную математическую модель системы, исходные данные для расчетов «четко» заданы (определены или измерены), а сами расчеты могут быть результативно произведены методами классической математики (точное решение) или численного анализа (приближенными методами с любой, заданной наперед точностью). В классической модели принятия решений находят свое применение самые разнообразные разделы и методы математической науки – вариационное исчисление и классические методы оптимизации (оптимальное управление), теория графов и комбинаторика, линейное и нелинейное программирование, теория обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений с частными производными.

В тех многочисленных случаях, когда ЛПР не обладает полным знанием о состояниях природы (среды), тогда каждой альтернативе назначается несколько выигрышей. Выбор в таких условиях называется принятием решений или в условиях риска (на основе теории вероятностей), или в условиях неопределенности (на базе теории нечетких множеств и нечеткой логики [15,17]). Очевидно, что принимать решения в условиях риска или неопределенности как правило приходится при управлении сложными системами.

Принятие решений в условиях риска (на базе теории вероятностей и математической статистики) – хорошо изученный вопрос [18]. Особенно широко в этом случае применяются теория игр, вероятностное динамическое программирование, вероятностные модели управления запасами, теория массового обслуживания, имитационное моделирование, марковские процессы принятия решений.

Долгое время принятие решений в условиях риска было единственной альтернативой классической модели принятия решений (хотя подобные термины вошли в употребление относительно недавно). Ситуация принципиально изменилась с появлением теории нечетких множеств и нечеткой логики [15,17, 19–21]. Именно нечеткая логика стала математической базой для принятия решений в условиях неопределенности.

Принятие решений в условиях неопределенности с одной стороны стало революционным скачком в общей теории принятия решений, но, с другой стороны, породило серию новых проблем.

В самом деле, принятие решений в условиях риска в ряде случаев не представляется возможным, так как оно ограничено применимостью вероятностных моделей. Классическое определение вероятности сводится к отношению числа благоприятных исходов  $A$  события к общему числу исходов  $B$  [22]. Однако для ряда задач величину  $A$  или величину  $B$  (а иногда и обе эти величины) не только сложно вычислить, но даже невозможно определить. В качестве примера можно навести задачу оценки взрывоопасности некоторых объектов [23–25]. Кроме того, формальное применение модели принятия решений в условиях риска в некоторых случаях приводит к ошибочным результатам (см. ниже). Если же принятие решений в условиях определенности и в условиях риска невозможно, то можно применить модель принятия решений в условиях неопределенности, которая (с известными оговорками) так или иначе применима практически во всех задачах.

С другой стороны, существует большое количество классов задач принятия решений, в которых классическая модель неприменима, но применимы модели принятия решений как в условиях риска, так и в условиях неопределенности. При этом возникает проблема, какую из моделей следует применить для получения более точного, – а иногда и просто верного, – результата. Решению этой проблемы отчасти посвящена настоящая работа. К тому же рассмотрен вопрос о повышении эффективности модели принятия решений в условиях неопределенности для управления сложными системами.

Рассмотрим ситуации, когда принятие решений в условиях риска является результативным и эффективным. В первую очередь к ним относятся разнообразные экономические проблемы и задачи управления персоналом [18, 26]. Во всех подобных ситуациях рассматривалось управление большими системами, которые, ввиду своей «однородности», подчинялись статистическим закономерностям, однако не всегда подпадали под приведенное выше определение сложной системы. Впрочем, то же относится и к большим системам, не связанным с экономикой. Всю статистическую термодинамику, например, можно рассматривать как инструмент для принятия решений по управлению большими термодинамическими системами (скажем такими, как идеальный газ), причем хотя принятие решений осуществляется в известном смысле в условиях риска, оно чрезвычайно эффективно, причем эффективность обусловлена именно тем, что система большая: пользуясь терминологией [7], ее можно назвать суперсистемой.

Рассмотрим теперь ситуацию принятия решения, связанную с прогнозированием результата игры футбольного матча между командами, многократно встречавшимися ранее. Прогноз на основе статистических данных может быть неточным, а принятое на базе этого прогноза решение, связанное, например со ставкой на футбольном тотализаторе, – совершенно ошибочным. Таким образом, модель принятия решений в условиях риска в данном случае представляется малоэффективной. Однако прогноз, сделанный футбольным экспертом, знающим примерный состав команд на игру, физическое и моральное состояние игроков и т. п., может быть

весьма точным. Таким образом, в данном случае модель принятия решений в условиях неопределенности (правда, с привлечением одного или нескольких экспертов) весьма эффективна. То же относится к прогнозированию погоды «на следующий день» и т.п.

В приведенных выше примерах с прогнозированием итога спортивных состязаний или погоды рассматриваются по-настоящему сложные, «неоднородные» системы. Поэтому в данном случае эффективное использование модели принятия решений в условиях неопределенности, однако для принятия решения требуется система экспертных оценок и/или «модель» самого эксперта.

Проблематичность принятия решения в условиях неопределенности, однако, также вполне очевидна. В таком принятии решений проблема, как правило, слабо структурирована и формализации поддаются лишь отдельные фрагменты общей постановки задачи; исходная информация зачастую неполна и/или противоречива. По этим причинам корректность принятого решения во многом зависит от подчас весьма субъективных экспертных оценок.

На наш взгляд единственный способ избежать эту типичную проблему, возникающую при принятии решений в условиях неопределенности, связан с «нечеткой» аппроксимацией исходной проблемы некоторой более простой проблемой, поддающейся однако решению методами классической математики. На основе полученного таким образом «классического» решения строятся соответствующие функции принадлежности функций значений нечетких логических переменных, позволяющие принимать относительно объективные решения в условиях неопределенности.

Рассмотрим следующий практический пример.

При проектировании газопроводов и различных типов двигателей следует определить диаметр трубы и ширины канала, подбирая эти параметры таким образом, чтобы развитие детонации в трубе или в канале было невозможным или, наоборот (в детонационных двигателях), детонация могла распространяться без срыва по инициированию.

Проблема распространения и инициирования детонации тесно связана с проблемой структуры детонационной волны. Эта проблема не может быть решена не только методами классической математики, но и вычислительными методами, а в ряде случаев не допускает даже корректной математической постановки. Задача Коши (задача с начальными условиями) для системы дифференциальных уравнений газовой динамики и химической кинетики, описывающей детонационный процесс, в подавляющем большинстве случаев некорректна – нарушается условие единственности решения. Даже если предположить, что каким-то образом удастся выделить все классы решений задачи Коши и проанализировать их, – что само по себе чрезвычайно сложно и вряд ли возможно на современном этапе развития математики, – полученный таким образом результат не вполне применим, так как для многих практических случаев неизвестен точный вид уравнений химической кинетики и «нечетко» определены некоторые термодинамические параметры.

Однако проблема распространения детонации, рассмотренная с упрощенных позиций теории гидродинамической устойчивости, позволяет относительно точно рассчитать пульсационную структуру детонационной волны [27,28]. При этом по диаметру трубы или по ширине канала укладывается целое число неоднородностей (детонационных ячеек), которое может быть найдено аналитически (таким образом рассчитываются режимы одноголового, двухголового и многоголового детонационного спина). Если диаметр трубы или ширина канала превышает расчетный размер одной неоднородности (ячейки), то должен произойти срыв детонации. Таким образом определяется критический диаметр трубы или критическая ширина канала  $d_{кр}$  – минимальный поперечный размер, при котором детонация еще возможна.

С целью принятия решения в условиях неопределенности можно ввести в рассмотрение нечеткое высказывание  $\bar{D}$ , выражающее превышение шириной канала или диаметром трубы размера детонационной ячейки. Функция принадлежности  $\mu_D$  для нечеткой переменной  $\bar{D}$  имеет кусочно-линейный вид, заданный формулами

$$\mu_D = \begin{cases} \frac{d}{d_{кр}}, & \text{if } 0 \leq d \leq d_{кр} \\ 1, & \text{if } d_{кр} \leq d \end{cases}$$

где  $d$  – диаметр канала или ширина трубы.

Формула (1) может служить основой для принятия решения в условиях неопределенности, но не требует субъективных экспертных оценок: величина  $d_{кр}$  определяется неточно, но на базе строгой – хотя и весьма упрощенной – теории.

Итак, для управления так называемыми сложными системами применение модели принятия решений на основе нечеткой логики иногда весьма эффективно в сочетании с классической моделью. Свидетельством тому может служить анализ проблем управления взрывобезопасностью промышленных и транспортных объектов [25], которые с точки зрения системного анализа безусловно являются сложными системами. Результаты вычисления значений нечетких логических выражений, составленных как композиция различных конъюнктивных и дизъюнктивных форм [23,25] позволяют оценить возможность взрыва, а также взрывного процесса, и принять соответствующие решение по предотвращению взрыва или подавлению взрывных волн уже на стадии проектирования объекта или в оперативном режиме.

Нечеткая логика позволяет формальным путем получить ряд парадоксальных на первый взгляд, но вполне объяснимых оценок взрывобезопасности.

Например, несоблюдение в нечеткой логике правила исключенного третьего [17,20] и ряда следствий из этого правила формально приводит к достаточно необычному выводу о том, что уровень максимальной взрывоопасности объекта не всегда соответствует уровню его максимальной пожароопасности. Данный парадокс, однако, разрешается с точки зрения физики горения и взрыва довольно просто: пожар (относительно медленный, хотя в известной мере неконтролируемый процесс горения) и взрыв (почти мгновенное и локализованное в пространстве неконтролируемое выделение большого количества энергии) – суть явления одной природы; вполне очевидно, что если среда вообще не пожароопасна, она не является также и взрывоопасной, однако пожар далеко не всегда переходит во взрыв, поэтому возможны ситуации когда эвентуальная возможность возникновения пожара весьма высокая, но вероятность перехода такого пожара во взрыв низкая или вообще отсутствует; последний факт как раз и означает низкий уровень взрывоопасности среды. Кроме того, в ряде сред [29–31] взрыв (детонация) может быть инициирован, минуя стадию пожара.

Вышеизложенное приводит к следующим выводам:

1. Классическая модель принятия решений для управления большими и сложными системами в ряде случаев неприменима.
2. Для управления большими «однородными» системами предпочтительнее выглядит модель принятия решений в условиях риска.
3. Для управления сложными «неоднородными» системами модель принятия решений в условиях неопределенности в большинстве ситуаций – единственная адекватная результативная модель.
4. Корректность применения модели принятия решений в условиях неопределенности резко повышается, если эта модель сочетается с классической моделью принятия решений. Применение последней требует упрощения математической модели самой сложной системы.

#### Литература

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 490 с.
2. Денисов А.А., Колесников Д.А. Теория больших систем управления. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
3. Дмитриев А.А., Мальцев П.А. Основы теории построения и конструирования сложных систем. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
5. Стопакевич О.А. Теорія систем і системний аналіз. – К.: ІСДО, 1996. – 200 с.
6. Острейковский В.А. Теория систем. – М.: Высшая школа, 1997. – 240 с.
7. Ладанюк А.П. Основы системного анализа. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 176 с.
8. Беляев Н.М. Термодинамика. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 344 с.
9. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.1. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 528 с.
10. Джордж Ф. Основы кибернетики. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
11. Бородин А.И., Бугай А.С. Выдающиеся математики: Биографический словарь-справочник. – К.: Рад. шк., 1987. – 656 с.
12. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Концепция построения основных функциональных подсистем системы поддержки принятия решений // Автоматика. – 1993. – №5. – С.3-13.
13. Keen P.G.W. Decision Support Systems: Next Decade // IFIP Conference. – 1986. – P.21-26.
14. Hoppo G.W. The State of the Art in Decision Support Systems. – QED Information Sciences, Inc., 1988. – 246 p.
15. Энга Ё. Теория нечетких решений: Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. Часть IV. Практические задачи. – С. 301-312.
16. Добкин В.М. Системный анализ в управлении. – М.: Химия, 1984. – 224 с.
17. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с.
18. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
19. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. // Information and Control, 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.
20. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
21. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
22. Справочник по высшей математике /Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 832 с.
23. Волков В.Э., Макоед Н.А. Теория нечетких множеств в экспертных системах по вопросам взрывобезопасности // Тез. докл. международной научно-практической конференции «Пищевые технологии-2006». – Одесса. – 2006. – С. 157.
24. Волков В.Э. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности // Зернові продукти і комбікорми, 2007. – №2, червень 2007. – С. 44-47.
25. Волков В.Э., Жуковский Э.И. Проблемы управления взрывобезопасностью промышленных и транспортных объектов // Доклады XV-ой международной научной конференции по автоматическому управлению

- «Автоматика-2008», 23-26 сентября 2008 г., Одесса, Украина. В 3-х томах. Т.1.Одесса: ОНМА, 2008. – С.96-99.
26. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979. – 200 с.
27. Асланов С.К., Волков В.Э. Неустойчивость и структура детонации в схематизированной камере сгорания // Химическая физика, 2005. – Т. 24, № 7. – С. 86-90.
28. Асланов С.К., Волков В.Э. Неустойчивость и инициирование детонации // Тез. докл. XIII-го Симпозиума по горению и взрыву. – Черноголовка, Российская академия наук. – 2005. – С.129.
29. Дрёмин А.Н., Савров С.Д., Трофимов В.С., Шведов К.К. Детонационные волны в конденсированных средах. – М.: Наука, 1970.
30. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Кн.1 / Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др. – М: Мир, 1986. – 319с.
31. Зверев И.Н., Смирнов Н.Н. Газодинамика горения. – М.: Изд-во МГУ. – 1987.–307с.

УДК 621.18:66.096

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА ТРАЕКТОРИИ РАСХОДОВАНИЯ РАСЧЕТНОГО РЕСУРСА

Воинова С. А., к.т.н., доцент

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*Изложены особенности управления техническими объектами на траектории расходования расчетного ресурса.*

*The features of control of technical objects on a pathway of spending of a design resource are stated.*

Ключевые слова: управление, технический объект, траектория, расходование, ресурс.

Технологические свойства технического объекта (ТО) на его траектории расходования ресурса (ТРР) непрерывно изменяются от свойств нового объекта до свойств объекта, изношенного, перешедшего в предельное состояние. Этим изменениям подвержены также регулировочные свойства (РС) ТО – параметры и характеристики – как объектов управления.

Технологическую эффективность ТО формируют ее составляющие – экологическая, экономическая и общетехническая эффективность. Экологическая эффективность (ЭлЭ) является главным показателем (критерием) степени совершенства ТО [1-3]. Далее будем использовать ее в качестве объекта анализа.

В экологических свойствах ТО заложены экологические возможности используемой технологии и возможности выполненной конструкции. САУ позволяет реализовать указанные свойства ТО в его фактическую ЭлЭ<sub>ф</sub> (рис.1) [1].

Новый ТО оснащают системой автоматического управления (САУ), регулятор которой настраивают на алгоритм, адекватный РС нового объекта и предназначенный для поддержания исходной ЭлЭ – ЭлЭ<sub>н</sub> (рис. 2). В гипотетическом случае, когда ТО не изнашивается, его ЭлЭ не изменяется во времени, остается на уровне ЭлЭ<sub>н</sub> как угодно долго: график «а - б» (рис. 2). Применительно к подобному ТО понятие «ресурс» утрачивает смысл. Если рассуждать формально, то условный ресурс подобного ТО бесконечно велик. У реального же ТО с течением времени, вследствие износа, его РС изменяются. Это обуславливает непрерывное снижение его ЭлЭ до уровня потенциальной – ЭлЭ<sub>п</sub> – график «а - с» (рис. 2).



Рис. 1 – Структурно-логическая схема взаимодействия факторов, влияющих на экологическую эффективность ТО