

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Е. К. Овсянников¹, Б. Т. Мозгирев²

¹ Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39;

² Высшая административная школа при Администрации Санкт-Петербурга, 190000, Вознесенский пр., д. 5

УДК 681.3

Е. К. Овсянников, Б. Т. Мозгирёв. К вопросу о выборе математических моделей для систем поддержки принятия решений // Труды СПИИРАН. Вып. 2, т. 1. — СПб.: СПИИРАН, 2004.

Аннотация. Статья посвящена различным подходам к разработке и использованию систем поддержки принятия решений (СППР). Анализируются различные виды моделей и математических методов, применяемых в СППР. Рекомендованы методы формирования критериев для оценки моделей. Предлагается метод отбора моделей, позволяющий минимизировать затраты на разработку. — Библ. 11 назв.

UDC 681.3

E. C. Ovsynnikov, B. T. Mozgirev **To a problem on choice of mathematical models for decision support systems** // SPIIRAS Rroceedings. Issue 2, vol. 1. — SPb.: SPIIRAS, 2004.

Abstract. The article is devoted to different approaches for decision support systems (DSS) elaboration and utilization. Various types of mathematical models and mathematical methods stored in libraries and used in decision support systems are analyzed. The ways of criteria formulation for models evaluation are recommended. On this basis cost effective method for DSS models selection and elaboration is proposed. — Bibl. 11 items.

На пути использования систем поддержки принятия решений (СППР) в 70-80 е годы были достигнуты значительные результаты. Успешно решенные проблемы принятия решений (ПР) оказались тесно связанными с хорошо исследованными в математике оптимизационными задачами, в которых четко определены критерии оптимизации и ограничения. Однако выяснилось, что помимо таких задач существует очень широкий класс проблем, связанных с принятием решений, которые не удастся свести к традиционным задачам нахождения экстремума. В этих задачах даже не всегда удастся априорно перечислить варианты возможных решений, они могут быть определены лишь в процессе выработки решения. В них зачастую появляется множество противоречивых критериев, т. е. таких, удовлетворить которым одновременно нельзя. Наконец, в самой формулировке цели, ради которой принимается решение, появляется элемент неопределенности, и задача формулируется в самом общем виде. Возникают сложности с определением списка критериев, по которым должно быть оптимизировано решение, а также важности этих критериев относительно друг друга и т.д.

Термин «системы поддержки принятия решений» появился в 70-х годах, благодаря широкому распространению средств и методов вычислительной техники, успехам в создании систем искусственного интеллекта, а также пакетов прикладных программ. Основоположниками этого направления принято считать западных ученых [1, 2].

На настоящий момент времени, СППР — это особые интерактивные компьютерные системы, использующие оборудование, специальное программное обеспечение, базы данных, базы моделей и знаний, объединенных в единое целое трудом менеджера. СППР нацелены на решение неструктурированных и

полуструктурированных проблем, встречающиеся в работе, с целью поддержки всех стадий принятия решений, непосредственно пользователями-менеджерами, в процессе аналитического моделирования, на основе предоставленного набора технологий обработки данных. Использование набора моделей существенно отличает СППР от отчетных информационных систем. СППР по принципу использования вычислительных ресурсов делятся на централизованные и распределённые системы, по периодичности решаемых задач — на институциональные и рассчитанные «на случай» (ad hoc). Системы поддержки ПР являются основным типом управленческих информационных систем, которые помогают менеджерам в процессе принятия решений на тактическом и стратегическом уровнях. Как известно, работа СППР основана на использовании аналитических моделей и экспертных систем, путем организации интерактивного процесса моделирования решений или сценариев, а также применением субъективных суждений экспертов (специалистов) [3].

Имеется большое количество СППР различного уровня, назначения, отраслевой или функциональной принадлежности:

- СППР для решения сложных комплексных задач предприятия (например, для решения задач стратегического планирования), называют институциональной.
- СППР для решения относительно несложных одноразовых проблем, называют "ad hoc" (специальные, для данного случая).
- СППР для решения проблем в конкретных отраслях (машиностроение, банковское дело) относят к отраслевым или функциональным (финансы, маркетинг).
- Известны также СППР государственного уровня.

При разработке специфических, нетиповых решений с помощью СППР менеджеры, как правило, самостоятельно формируют наборы исходных данных, выбирают методы и модели решения задачи, выполняя эту работу в интерактивном режиме. Главной особенностью СППР является качественно новый метод организации взаимодействия пользователя и компьютера. Выработка решения происходит в результате итерационного процесса, рис. 1 (а, б).

В этом процессе решаются задачи анализа и синтеза, под которыми понимается человеко-машинная процедура, состоящая из фаз анализа исходных данных, моделирования ситуации принятия решения и оценки последствий принимаемых решений. Проводимый анализ может быть статическим и динамическим. Существует класс задач, в которых анализ сложившейся обстановки, принятие по ней решения является достаточным и не требует дальнейших действий, по крайней мере, для данной конкретной ситуации. Такой анализ называется статическим. Вместе с тем, существует и другой, достаточно большой класс задач, в которых нельзя оценить эффективность решения без анализа возможных последствий. Эти рассуждения в других терминах можно сформулировать следующим образом [4]. Пусть имеется некоторый набор сценариев, из которого один выбирается для реализации поставленной задачи. Эффективность выполнения задачи удобно характеризовать показателем $W \rightarrow \max$. Все факторы, от которых зависит успех, можно разделить на три группы: заданные заранее известные факторы (условия выполнения задачи), которые для краткости обозначим α , образующие в своей совокупности множество решений (зависящие от наблюдателя элементы решения) Z и, наконец, неизвестные факторы, которые в своей совокупности обозначим γ .

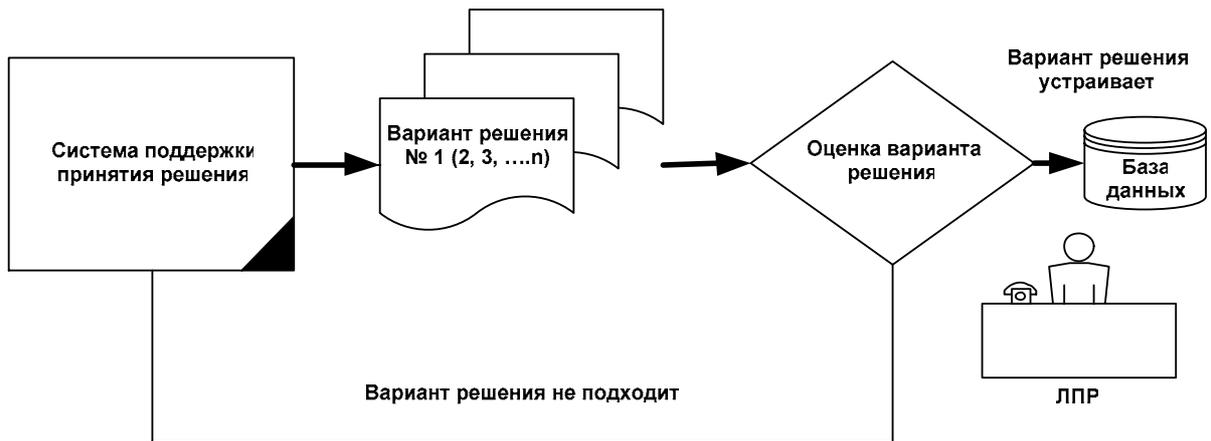


Рис. 1 а Информационная технология ППР, как итерационный процесс

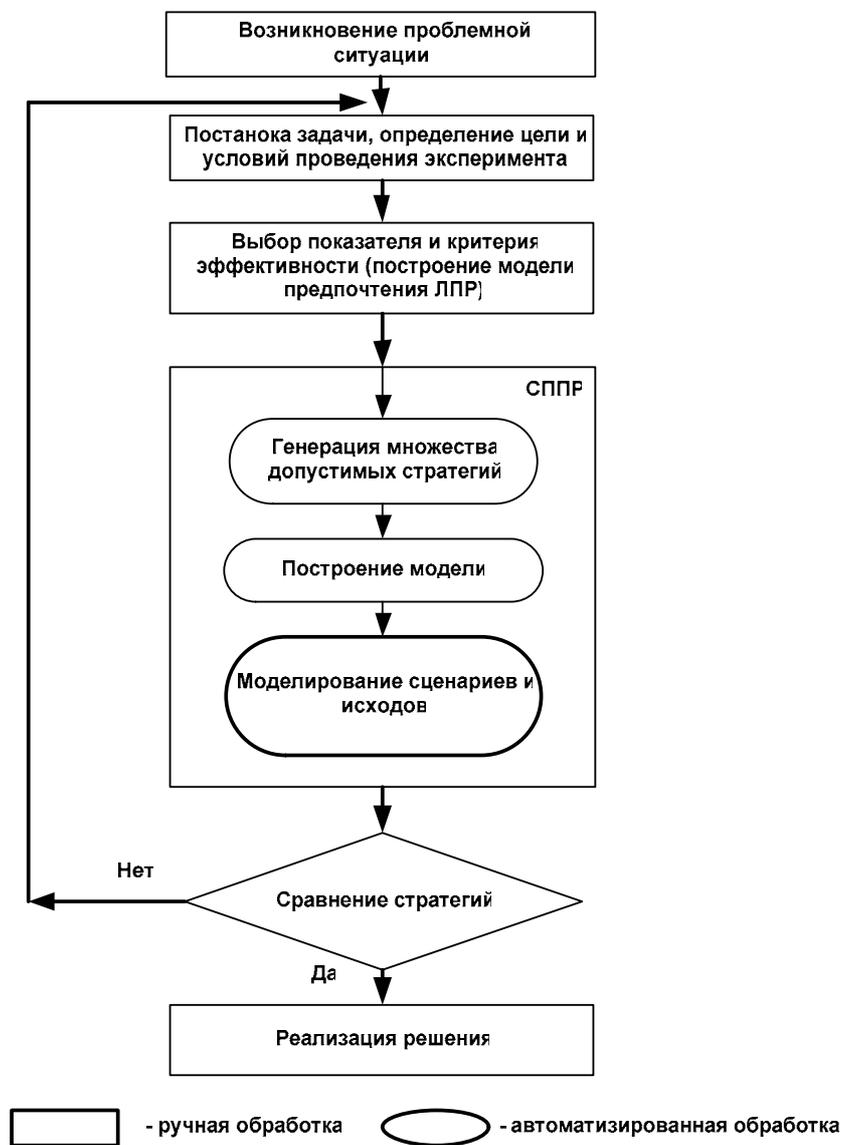


Рис. 1 б Процесс ПР, как последовательность (пред)определенных этапов

Таким образом, показатель эффективности W зависит от всех трех групп факторов

$$W = W(\alpha, Z, \gamma) \quad (1)$$

Тогда задача (1) принятия эффективного решения может быть сформулирована следующим образом. При заданных условиях α , с учетом неизвестных факторов γ , найти такое решение $z \in Z$, которое по возможности обеспечивает максимальное значение показателя эффективности W . Такая задача уже не является чисто математической задачей, точнее не является задачей методов классической оптимизации.

Далее, модель (1) может быть уточнена с использованием формальных оценок. Использование формальных оценок позволяет менеджерам (специалистам), принимающим решения, лучше осознать свои убеждения, требования и предпочтения в контексте конкретного выбора, который необходимо сделать. Другим распространенным названием этого подхода является название — «Субъективная ожидаемая полезность» (*Subjective expected utility — SEU*) [4]. Пусть менеджер, принимающий решение, должен осуществить выбор из конечного множества альтернатив: $A = \{a_i, i = \overline{1...m}\}$. Последствия каждой альтернативы ему ясны не вполне. Они зависят от внешних факторов или состояний, находящихся вне его контроля. Будем считать, что таких состояний так же конечное множество $Q = \{q_j, j = \overline{1...n}\}$. Выбирая альтернативу a_i , для состояния q_j , приходим к последствию $v_{i,j}$, лежащему в соответствующем пространстве V .

Таким образом, связываются состояние объекта, альтернатива выбора (решения) и последствия принятого решения. Эту связь можно записать в следующем виде

$$A * Q \rightarrow V. \quad (2)$$

Далее вводятся две функции, первая, субъективная вероятность P^* , которая отражает представления ЛПР о возможных или правдоподобных состояниях объекта (мира), и вторая, — полезность U^* , которая представляет предпочтение ЛПР.

Тогда возможные альтернативы могут быть ранжированы по правилам:

$$u(a_i) = \sum_j p(q_j) U(v_{i,j}), i = \overline{1...m}. \quad (3)$$

Последствия выбора альтернативы a_i , если состояние q_j представлено в (3) определяется $v_{i,j}$. Отсюда требования достаточно полной характеристики $v_{i,j}$ через некоторый набор атрибутов $v_{i,j} = \{v_{i,j,1}, \dots, v_{i,j,t}\}$. Таким образом, $v_{i,j}$ становится t -мерным вектором. Естественно желание, чтобы $v_{i,j}$ была удобной для вычислений функцией, например, аддитивной функцией $U(V) = \sum_k U_k(v_{i,j})$, где U_k^* — t -компонентные функции полезности, в этом случае предпочтение ЛПР к каждому атрибуту должно быть независимым, что в реальных условиях принятия решений может оказаться очень сильным ограничением (более приемлемыми могут оказаться требования, приводящие к поли-

номиальным и мультипликативным функциям). Эти рассуждения, кроме формальной постановки задачи, опосредованно формируют и уточняют логическую и структурные схемы СППР.

Другой важной особенностью систем поддержки ПР является ориентация не на процесс, а на набор возможностей, интерактивно выбираемых менеджером. Таким образом, СППР должна предоставлять конечному пользователю не поддержку однозначно описанного процесса обработки данных, а набор возможностей, не зависящих от процесса. Таким образом, основными компонентами СППР являются: оборудование, программное обеспечение, данные, модели, знания экспертов и «труд» менеджера, рис. 2 (а, б). При этом подразумевается, что в «компоненту» математические модели, входят также и математические методы, которыми может воспользоваться менеджер в процессе работы на СППР. База математических методов включает большинство методов, относящихся к прикладной математике (вычислительной математики), и основанных на использовании численных методов [5].

Такая (творческая) работа с системой требует от менеджера глубоких знаний своей деловой сферы, высокого интеллекта, профессионального овладения набором технологических возможностей системы компьютерной поддержки решений, а от проектировщиков СППР умения предвидеть состав (ожидаемый набор) компонент системы, и в первую очередь — состав библиотек математических моделей. База моделей для системы поддержки ПР — это, прежде всего специально организованный набор общецелевых и специфических математических моделей. База знаний — это хранящиеся в формализованном виде выявленные закономерности предметной области (принципы, связи, законы), использование которых качественно повышает возможности системы ПР.

Как указывалось выше, отличительной чертой и важной составной частью СППР является использование базы моделей для поддержки решений. Кибернетика и математика предоставляют различным наукам метод упрощения и анализа реальности с помощью построения моделей. Модель — это упрощенная абстракция реальных основных элементов системы и их отношений, существенных для принятия решения. Наряду со сферами науки и техники, в сфере менеджмента и бизнеса также широко применяются специальные модели в качестве простого способа анализа и формализации деловых проблем. Обычно эти модели имеют табличный (матричный), математический или графический вид. Часть моделей представляет и поддерживает рутинные вычисления, например, однофакторные и двухфакторные what-if модели (таблицы подстановки). Более сложные математические модели представляют связи между многими переменными. Например, к сложным моделям относят множественную регрессию, общую задачу нелинейного программирования. Модели могут храниться в виде специальных программ, командных файлов, модулей и электронных таблиц. Причем в состав базы моделей СППР могут входить и модели искусственного интеллекта.

В процессе ПР наиболее часто используются следующие технологии аналитического моделирования:

- анализ "что, если" (What-if анализ),
- анализ чувствительности,
- оптимизационный анализ, включая анализ целевой функции ("how can" анализ),
- статистический (корреляционно-регрессионный) анализ,
- анализ с прогнозированием.

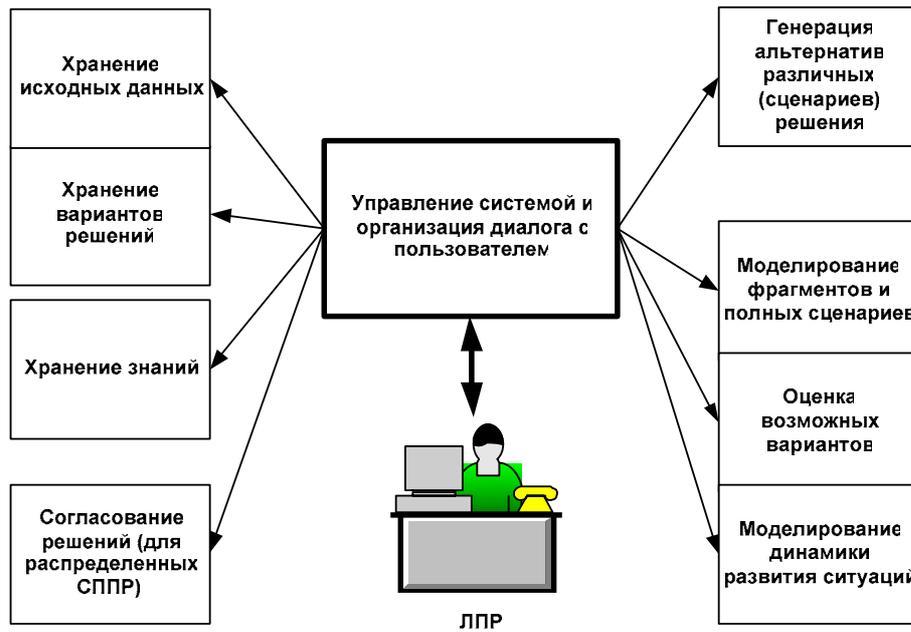


Рис. 2 а Основные компоненты СППР (функциональная схема)

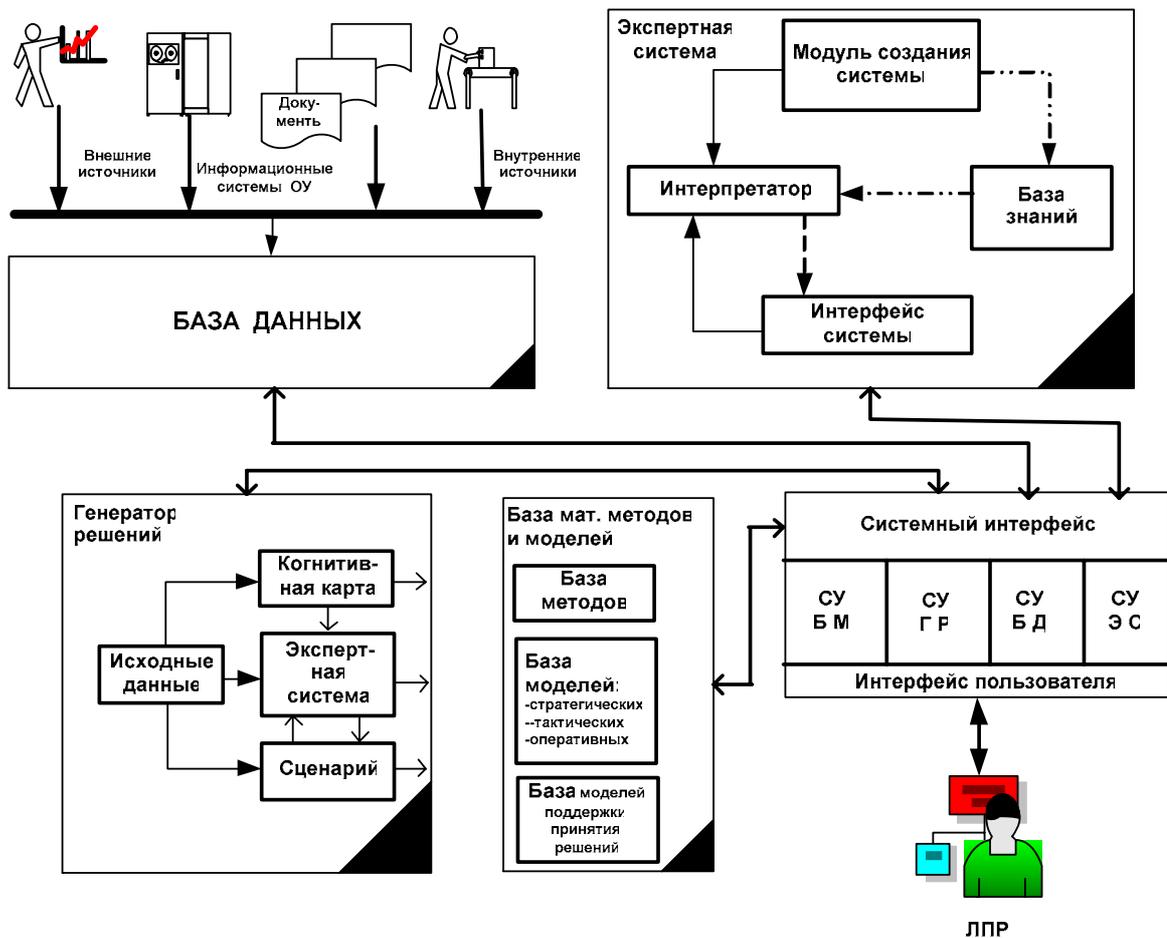


Рис. 2 б Основные компоненты СППР (структурная схема)

При проектировании СППР в блок аналитического моделирования обычно включают следующие группы (кластеры) моделей:

1. Модели обработки данных:

- классификация и группировка данных,
- сортировка,
- агрегирование,
- вычисления (достаточно простые),
- статистический анализ («классический»).

2. Модели объектов управления и модели принятия решений:

- классические алгебраические и дифференциальные уравнения,
- модели (систем) массового обслуживания,
- (традиционные) методы и модели оптимизации,
- агрегатные модели,
- модели, основанные на использовании нечетких множеств,
- многокритериальные функции предпочтения.

В последние годы сформировалось новое направление в обработке данных — интеллектуальный анализ данных (Data Mining), которое явилось адекватной реакцией на необходимость обрабатывать громадные объёмы данных, скопившиеся на предприятиях [6]. Благодаря этому, арсенал моделей объектов управления и моделей принятия решений пополнился следующими методами и моделями:

- (расширенный) статистический анализ,
- нейронные сети,
- системы рассуждений на основе аналогичных случаев,
- деревья решений,
- эволюционное программирование,
- генетические алгоритмы,
- алгоритмы ограниченного перебора,
- (системы визуализации многомерных данных).

В совокупности, перечисленные методы и модели могут быть использованы для решения одной и той же задачи или анализа сценария, позволяя анализировать ситуацию или поведение объекта с «разных сторон», что может привести к появлению сомнений в необходимости рассмотрения такого их количества. Однако (из жизни) известно, что в практике принято одну и ту же задачу решать различными способами. Так, например, в инвестиционном анализе используется до 12 критериев оценки, хотя с математической точки зрения они являются разновидностями всего двух [7].

Модели, относящиеся к первой группе, являются математической основой работы СУДБ, к настоящему моменту времени они достаточно хорошо изучены и подробно описаны в соответствующей литературе [8]. Остальные модели, предназначены для решения задач собственно управления и поддержки ПР на тактическом и стратегическом уровнях управления. С ними можно ознакомиться в [4]. Сравнительные характеристики основных видов моделей представлены в табл. 1.

Очевидно, что конкретные методы и модели для СППР выбираются в зависимости от характера исходных данных, особенностей задачи, квалификации менеджеров и финансовых возможностей организации по разработке моделей. При этом администрация может выбрать одну из следующих стратегий поведения:

1. Вообще не пользоваться математическими моделями, подменяя их, работой некоторого коллективного органа или ЛПР, используя при этом сведения из систем операционного уровня.
2. Разрабатывать модель (и) по факту возникновения проблемы.
3. Делать «короткий» (оценочный) прогноз развития предприятия и заранее планировать использование готовых или разработку оригинальных моделей.
4. Проектировать (модернизировать) СППР с долгосрочной перспективой её использования и соответственно комплектацией ее разнообразными моделями.

Таблица 1

Сравнительные характеристики основных видов моделей

Наименование модели	Условия применения	Область применения	Характер входных данных модели	Требования к ЛПР
Системы дифференциальных или алгебраических уравнений	Для ситуаций, позволяющих сформулировать задачу в строгой математической постановке	Традиционные (классические) задачи автоматического управления	Детерминированные полностью описывающие процесс управления	Хорошее понимание структуры модели и условий перестройки параметров
Системы массового обслуживания	Для ситуаций, позволяющих сформулировать задачу в математической постановке	Традиционные задачи автоматизированного управления	Детерминированные и вероятностные, полностью описывающие процесс управления	Общее представление о работе модели
Оптимизационные модели	Для ситуаций, позволяющих сформулировать задачу в математической постановке	Задачи автоматического и автоматизированного управления	Детерминированные и вероятностные, хорошо описывающие процесс управления	Хорошее понимание структуры модели и условий перестройки параметров
Статистические модели	Для случаев наличия достаточного объема надежной информации	Системы человек – машина	Стационарность исследуемого процесса с возможностью использования формулы Байеса	Умение разбираться в наборах статистических коэффициентов
Модели, основанные на нечетких множествах	Качественные модели управления, где не требуется или невозможно создание точной модели	Управление несложными объектами	Наборы данных, качественно описывающие процесс управления объектом	Знание навыков работы опытного оператора
Многокритериальные функции предпочтения	Модели, позволяющие строить (и модифицировать) функцию предпочтения	Управление технологическими процессами, системы человек – машина	Детерминированные и вероятностные наборы данных	Умение проводить многокритериальный анализ ситуации, прогнозировать динамику
Нейронные сети	Для ситуаций, когда можно в общем виде построить функцию управления или распознавания	Распознавание образов, экономический анализ, управление технологическими объектами	Детерминированные наборы данных	Общее представление о работе модели
Генетические алгоритмы	Для случаев, когда невозможно сформулировать задачу в виде функции или алгоритма. Разнообразие метода случайного поиска	Экономические задачи, выбор вариантов решения и сценариев действия	Качественные и детерминированные наборы данных	Общее представление о работе модели, общие знания об алгоритмах оптимизации

Во всех перечисленных случаях, за исключением первого, возникает проблема разработки, выбора, а затем и эффективного (по определенному критерию) использования разработанных моделей. Процедура отбора и оценки моделей может производиться разными способами [9, 10, 11]. На наш взгляд, наи-

более эффективной является следующая процедура выбора. Начальный отбор моделей для СППР может осуществляться путем формирования функции предпочтения (4), имеющей вид (линейной или нелинейной) свертки вида:

$$S_j = \sum_i K_{j,i} b_{j,i}, \quad i = \overline{1...n}, \quad (4)$$

где S_j — значение функции предпочтения при выборе j модели,
 b_i — вес i критерия,
 K_i — (оценка) качество i критерия.

Задача сравнения моделей может быть решена, наряду с применением (4), использованием модифицированной свертки вида (5), весьма часто в различной модификации, используемой при выборе аппаратных или программных средств:

$$S'_j = ((K_1 b_1 + K_2 b_2) / K_3 b_3) + K_4 b_4 + K_5 b_5 + K_6 b_6, \quad (5)$$

где S'_j — модифицированная свертка при выборе j модели,
 b_i — вес i критерия,
 K_1 — показатель производительности (время решения задачи) модели,
 K_2 — показатель оптимальности,
 K_3 — показатель стоимости,
 K_4 — показатель пригодности,
 K_5 — показатель точности,
 K_6 — показатель качества.

Оценка эффективности работы моделей может быть выполнена по показателю взвешенного среднего геометрической производительности, аналогично оценке производительности различных вычислительных систем:

$$R_j = K \left(\frac{r_1}{Base_r_1} \right)^{b_1} \left(\frac{r_2}{Base_r_2} \right)^{b_2} \dots \left(\frac{r_n}{Base_r_n} \right)^{b_n}, \quad (6)$$

где R_j — производительность j модели,
 K — нормирующий множитель,
 r_i — производительность модели на i наборе данных (тесте),
 b_i — «вес» i теста,
 $Base_r_i$ — производительность «классической» модели на i наборе данных.

Алгоритм отбора моделей, наряду с (4) и (5) может быть дополнен использованием методов линейного программирования, позволяющих минимизировать затраты на их разработку (7). При этом модели должны характеризоваться близкими качествами с точки зрения результата.

$$F = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n h_{i,j} x_j \leq b_i ,$$

$$d_j \leq x_j \leq D_j ,$$

$$i = \overline{1...m}, j = \overline{1...n} ,$$

где $F = f(x_j)$ — целевая функция,
 $g_i(x_j) \leq b_i$ — ограничения,
 $d_j \leq x_j \leq D_j$ — граничные условия,
 x_j — группа моделей j типа,
 $h_{i,j}$ — требуемый ресурс i типа при разработке j модели,
 b_i — (значение) ограничения i ресурса,
 c_j — стоимость разработки j группы моделей.

В качестве целевой функции F удобно использовать (общую) стоимость разработки модели, либо время решения задачи (сценария), а в качестве ограничений — финансовый, временной и кадровый (профессиональный) ресурс организации.

Использование в СППР уже разработанных моделей заключается в организации с их помощью некоторой (технологической) схемы — последовательности обработки данных для собственно ПР. В том случае, если они были разработаны для решения близких по применению задач (и образуют соответственно одну «ветвь» технологической схемы) может быть использован подход, применяемый для решения экстремальных комбинаторных задач:

$$F = \sum_i^m \sum_j^m y_{i,j} x_{i,j} \rightarrow \min , \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^m y_{i,j} = 1, i = \overline{1...m} ,$$

$$\sum_{i=1}^m x_{i,j} = 1, j = \overline{1...m} ,$$

$$X_{i,j} = 0(1) ,$$

где: F — целевая функция,
 $y_{i,j}$ — время решения j задачи i моделью,
 $x_{i,j}$ — i модель, решающая j задачу.

Здесь, в качестве целевой функции, удобно задать общее время решения одной задачи или моделирования сценария (или «стоимость решения» — используемое оборудование).

Очевидно, что кроме критериев (4)–(8) могут быть предложены и другие критерии выбора моделей.

Литература

- [1] Lee R. M., Migliarese P. Organizational decision support Systems. Proceedings of the IFIP WG 8.3 Working Conference, Lake Como, Italy, 20–22 June, 1988. P. 10.
- [2] Doumeingts G., William A. Carfer. Advances in Production Management Systems. Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference, Bordeaux, France, 24–27 August, 1982.
- [3] Turban E. Decision support and expert systems. New York: Maxwell Macmillan, 1990. P. 15.

- [4] Трахтенгерц Э. А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений. М.: СИНТЕГ, 2001. 246 с.
- [5] Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы прикладной математики. М.: Наука, 1972. 389 с.
- [6] Дюк В., Самойленко А. Data Mining: учебный курс. СПб.: Питер, 2001. 364 с.
- [7] Ковалёв В. В. Введение в финансовый менеджмент. М.: Финансы и статистика. 2000. 564 с.
- [8] Мишенин А. И. Теория экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 1999. 186 с.
- [9] Смирнова Г. Н., Сорокин А. А., Тельнов Ю. Ф. Проектирование экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 2002. 346 с.
- [10] Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2003. 368 с.
- [11] Шелобаев С. И. Математические методы и модели в экономике, финансах, бизнесе. М.: ЮНИТИ-Дана, 2000. 248 с.