

М.Р. Разанов, Н.Г. Топольский, Ю.И. Артюшин
МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫБОРА
ПРИ РАЗВИТИИ И УПРАВЛЕНИИ ТЭК

Аннотация. Обсуждаются типичные задачи выбора и принятия решений, возникающие при исследовании развития и функционирования энергетических систем, рассмотрены наиболее употребительные способы решения многокритериальных задач для выбора наиболее эффективного варианта развития и управления.

Изучение систем энергетики выполняется не только ради познания объекта исследований, но, главным образом, для определенной целенаправленной деятельности. Выбор является действием, придающим всей деятельности целенаправленность. Именно выбор реализует подчиненность всей деятельности определенной цели или совокупности целей. Рано или поздно наступает момент, когда дальнейшие действия могут быть различными, приводящими к разным результатам, а реализовать можно только одно действие, причем вернуться к ситуации, имевшей место в этот момент, не представляется возможным.

Способность сделать правильный выбор в таких условиях является ценным качеством, присущим людям в разной степени. Необходимо понять, что такое хороший выбор, выработать рекомендации, как приблизиться к наилучшему решению, а возможно, и предложить алгоритм формирования хорошего выбора.

В энергетике задачи выбора и принятия решений очень часто возникают при рассмотрении вопросов развития и функционирования. При исследовании развития энергетических систем (ЭС) проблемы выбора состоят, например, при решении следующих вопросов:

- какие новые электростанции наиболее целесообразно вводить в соответствии с заданными целями развития;
- где находятся наиболее рациональные места размещения новых генерирующих мощностей;
- каковы должны быть параметры и трассы новых линий электропередач;
- где и в какой мере целесообразно усилить связи по действующим направлениям.

Во всех подобных случаях выбор сводится к поиску наилучшего в заданном смысле решения.

Работа многих исследователей в этом направлении выявила характерную ситуацию, типичную для моделирования вообще и для моделирования процессов принятия решений в частности:

- 1) полная формализация нахождения наилучшего решения возможна, но лишь для хорошо изученных, хорошо структурированных задач;
- 2) для решения слабо структурированных задач полностью формальных алгоритмов не существует (если не считать тривиального и далеко не всегда приемлемого алгоритма перебора, то есть метода проб и ошибок). Но и в таких неблагоприятных условиях опытные специалисты часто делают выбор, оказывающийся хорошим [1,2]. Современная тенденция практики выбора в естественных ситуациях состоит в сочетании способности человека решать неформализованные задачи с

возможностями формальных методов и компьютерного моделирования, что и составляет идеологию имитационного подхода. Задачи выбора чрезвычайно многообразны по формальной постановке и по содержательному наполнению, как следствие различны и методы их решения. Прежде всего необходимо рассмотреть понятия, общие для всех задач выбора.

Будем представлять принятие решения как действие над множеством альтернатив, в результате которого получается подмножество выбранных альтернатив [3]. При этом множество альтернатив может быть непрерывным, но часто бывает дискретным. Сужение множества альтернатив возможно, если имеется способ сравнения альтернатив между собой и определения наиболее предпочтительных. Каждый такой способ называется критерием предпочтения.

При таком описании выбора считается, что уже сформировано множество альтернатив, на котором предстоит осуществлять выбор, определены цели, ради достижения которых производится выбор, имеются критерии оценки и сравнения любых альтернатив. В практической реализации эти этапы преодолеваются с определенными трудностями, связанными со сложностью систем энергетики, недостаточной формализуемостью целей и др. Для преодоления этих сложностей необходимы свои приемы и методы.

Даже в приведенной упрощенной постановке проблема выбора не тривиальна и допускает существенно различающиеся математические постановки задач. Каждый компонент ситуации выбора может реализовываться в качественно различных вариантах, например [4]:

- множество альтернатив может быть конечным, счетным или континуальным;
- оценка альтернативы может осуществляться по одному или по нескольким критериям, которые в свою очередь могут иметь как количественный, так и качественный характер;
- режим выбора может быть однократным или повторяющимся, допускающим обучение на опыте;
- последствия выбора могут быть точно известны (выбор в условиях определенности), иметь вероятностный характер, когда известны вероятности возможных исходов после сделанного выбора (выбор в условиях риска), или иметь неоднозначный исход, не допускающий введения вероятностей (выбор в условиях неопределенности);
- ответственность за выбор может быть односторонней (в частном случае индивидуальной) или многосторонней; соответственно различают индивидуальный и групповой выбор;
- степень согласованности целей при многостороннем выборе может варьироваться от полного совпадения интересов сторон (кооперативный выбор) до их противоположности (выбор в конфликтной ситуации).

Различные сочетания перечисленных вариантов приводят к многообразным задачам выбора.

Определив исходные положения проблемы выбора решений, можно сформулировать процедуру выбора решения как:

$$\{V, F\} \Rightarrow V^*, \quad (1)$$

где V - исходное множество вариантов;

F - функция, определяющая правило выбора;

V^* - выбранное подмножество вариантов.

Существует ряд подходов к описанию процесса выбора: критериальное описание выбора, описание выбора на языке бинарных отношений, описание группового выбора, описание выбора как решение задачи оптимального управления. Рассмотрим понятия критерия и функции, определяющей правило выбора.

Каждую отдельно взятую альтернативу в задаче выбора можно оценить конкретным числом, и сравнение альтернатив сводится к сравнению соответствующих им чисел.

Пусть v - некоторая альтернатива из множества V . Считается, что для всех $v \in V$ может быть задана функция, которая называется критерием (критерием качества, целевой функцией, функцией предпочтения, функцией полезности и т.д.) и обладает тем свойством, что если альтернатива v_1 предпочтительнее альтернативы v_2 , то $f(v_1) < f(v_2)$.

Если теперь сделать еще одно важное предположение, что выбор любой альтернативы приводит к однозначно известным последствиям и заданный критерий $f(v)$ численно выражает оценку этих последствий, то наилучшей альтернативой v^* будет та, которая обладает наименьшим значением критерия.

Сложность отыскания наилучшей альтернативы существенно возрастает, если необходимо оценивать их не по одному, а по нескольким критериям, качественно различающимся между собой. В системах энергетики, как и в других системах, такая необходимость возникает довольно часто.

Итак, пусть для оценивания альтернатив используются несколько критериев $f_i(v), i = 1, p$. Теоретически можно представить себе случай, когда во множестве V окажется одна альтернатива, обладающая наименьшими значениями всех p критериев; она и будет наилучшей. Однако на практике такие случаи почти не встречаются.

Рассмотрим наиболее употребительные способы решения многокритериальных задач.

Метод скаляризации [5] состоит в том, чтобы многокритериальную задачу свести к однокритериальной. Это означает введение суперкритерия, то есть скалярной функции векторного аргумента:

$$F(v) = G(f_1(v), f_2(v), \dots, f_p(v)) . \quad (2.2)$$

Суперкритерий позволяет упорядочить альтернативы по величине $F(v)$, выделив тем самым наилучшую в смысле этого критерия. Вид функции $F(v)$ определяется тем, как мы представляем себе вклад каждого критерия в суперкритерий; обычно используют аддитивные и мультипликативные функции.

При данном способе задача сводится к минимизации суперкритерия. Очевидные достоинства объединения нескольких критериев в один суперкритерий сопровождаются рядом трудностей и недостатков, которые необходимо учитывать при использовании данного метода. Не касаясь трудностей построения самой функции и вычислительных проблем ее минимизации, необходимо сказать, что упорядочение точек в многомерном пространстве в принципе не может быть од-

нозначным и полностью определяется видом упорядочивающей функции. Суперкритерий играет роль этой упорядочивающей функции, и даже небольшое его изменение может привести к тому, что оптимальная в новом смысле альтернатива будет очень сильно отличаться от старой. Линейные комбинации частных критериев придают упорядочиванию смысл наилучшего направления изменения состояния системы.

Условная минимизация [6] заключается в использовании того факта, что частные критерии обычно неравнозначны между собой - одни из них более важны, чем другие. Наиболее явное выражение этой идеи состоит в выделении главного критерия и рассмотрении остальных как дополнительных, сопутствующих. Такое различие критериев позволяет сформулировать задачу выбора как задачу нахождения экстремума основного критерия, при условии, что значения остальных критериев будут находиться в определенных интервалах.

Метод уступок [7] дает иную постановку задачи выбора. Пусть частные критерии упорядочены в порядке убывания их важности. Возьмем первый из них и найдем наилучшую по этому критерию альтернативу. Затем определим "уступку", то есть величину, на которую мы согласны уменьшить достигнутое значение самого важного критерия, чтобы за счет этой уступки попытаться увеличить, насколько возможно, значение следующего по важности критерия, и т.д.

Поиск альтернативы с заданными свойствами относится к случаю, когда заранее могут быть указаны значения частных критериев (или их границы), и задача состоит в том, чтобы найти альтернативу, удовлетворяющую этим требованиям, либо, установив, что такая альтернатива в исходном множестве отсутствует, найти альтернативу, которая подходит к поставленным целям ближе всего.

Удобным свойством этого метода является возможность задавать желательные значения критериев как точно, так и в виде верхних или нижних границ. Устанавливаемые значения критериев иногда называют уровнями притязаний, а точку или область их пересечения в пространстве критериев — целью или опорной точкой, идеальной точкой. Поскольку уровни притязаний задаются без точного знания структуры множества V , то в пространстве частных критериев, целевая точка может оказаться как внутри, так и вне V и тогда говорят о достижимости или недостижимости цели.

Теперь идея оптимизации состоит в том, чтобы, начав с любой альтернативы, приближаться к V^* по некоторой траектории в пространстве V . Это достигается введением числовой меры близости между очередной альтернативой v и целью V^* . Можно по-разному количественно описывать эту близость. Например, используют евклидово расстояние.

Нахождение паретовского множества [8] состоит в отказе от выделения наилучшей альтернативы и в соглашении о том, что предпочтение одной альтернативе перед другой можно отдавать, только если первая по всем критериям лучше второй. Если же предпочтение хотя бы по одному критерию расходится с предпочтением по другому, то такие альтернативы признаются несравнимыми. В результате парного сравнения альтернатив все худшие по всем критериям альтернативы отбрасываются, а все оставшиеся несравнимые между собой (недоминируемые) принимаются. Если все максимально достижимые значения частных критериев не от-

носятся к одной и той же альтернативе, то принятые альтернативы образуют множество Парето и выбор на этом заканчивается.

При необходимости выбора единственной альтернативы следует привлекать дополнительные соображения: вводить новые, добавочные критерии и ограничения, либо бросать жребий, либо прибегать к услугам экспертов и т.д.

В предлагаемой работе выбор варианта развития электроэнергетических систем с применением теории нечетких множеств будет осуществляться именно как нахождение области Парето при нечетких оценках вариантов и их ранжирование по степени принадлежности этой области. Вторая часть задачи может быть решена исключительно лишь при использовании нечеткой математики.

Выбор с использованием многокритериальной функции полезности применим, если заданы: p альтернатив, t наборов внешних условий, k критериев [9]. Каждая альтернатива оценивается по всем критериям для всех наборов внешних условий. По результатам оценок составляются k прямоугольных матриц размером $p \times t$.

Элемент матрицы x_{ij}^k представляет собой численную оценку i -й альтернативы по критерию k при реализации набора внешних условий с номером j .

Для выбора решения при таком описании вводится некоторая функция. В теории полезности она определена как многокритериальная функция полезности, представляющая собой некоторую числовую функцию, определенную на множестве возможных альтернатив и такая, что если альтернатива a не менее предпочтительна, чем альтернатива b , то $u(a) \geq u(b)$.

Построить единую функцию для всех критериев одновременно, как правило очень сложно, поскольку элементы, составляющие матрицы, имеют, в общем случае разные единицы измерения и ценностные соотношения между критериями заранее неизвестны.

Можно использовать аддитивную, мультипликативную, полилинейную многокритериальные функции полезности. Аддитивная функция наиболее проста, однако необходимо быть уверенным, что критерии независимы. Имеются необходимые и достаточные условия существования аддитивной функции полезности [10]. Та альтернатива, численная оценка полезности которой выше, может считаться более предпочтительной.

Для решения задач выбора в энергетике кроме методов на основе критериальных оценок достаточно широко применяются методы, основанные на бинарных отношениях предпочтения [11]. Это более общий подход по сравнению с критериальным. Его большая общность основана на учете того факта, что в реальности дать оценку отдельно взятой альтернативе часто затруднительно или невозможно, но если рассматривать ее не в отдельности, а в паре с другой альтернативой, то находятся основания полагать, какая из них более предпочтительна.

Таким образом:

- 1) отдельная альтернатива не оценивается, то есть критериальная функция не вводится;
- 2) для каждой пары альтернатив (x, y) некоторым образом можно установить, что одна из них предпочтительнее другой, либо они равноценны или несравнимы;

3) отношение предпочтения внутри любой пары альтернатив не зависит от остальных альтернатив, предъявленных к выбору.

Математически бинарное отношение R на множестве X определяется как некоторое подмножество упорядоченных пар (x, y) . Поскольку в общем случае не все возможные пары (x, y) удовлетворяют условиям, накладываемым отношением R , бинарное отношение является некоторым подмножеством универсального множества $X \times X$.

Задать отношение - это значит тем или иным способом указать все пары (x, y) , для которых оно выполнено [12].

Существует четыре разных способа задания отношений: перечисление пар, задание матрицы предпочтений, задание графа предпочтений, задание сечений. Преимущества каждого проявляются при разных характеристиках множества X .

Первый, очевидный, способ состоит в непосредственном перечислении пар, для которых отношение выполняется. Ясно, что он приемлем лишь в случае конечного множества X .

Второй способ задания отношения на конечном множестве - матричный. Все элементы нумеруются, и матрица отношения R определяется своими элементами. Известным примером такого задания отношений служат турнирные таблицы. Именно этот способ задания бинарного отношения будет использоваться при сравнении вариантов развития электроэнергетических систем с применением теории нечетких множеств.

Третий способ - задание отношения графом. Вершинам графа ставят в соответствие пронумерованные элементы множества X , и если отношение между элементами выполняется, то вершины соединяются дугой.

Для определения отношений на бесконечных множествах используется четвертый способ - задание отношения сечениями.

В теории выбора особое значение имеют отношения, которые соответствуют предпочтению одной альтернативы перед другой или случаю невозможности отдать предпочтение одной из двух альтернатив. Эти отношения можно задать через строго определяемые отношения эквивалентности и порядка [8].

С применением бинарных отношений к конечному множеству альтернатив удобно решается задача выделения паретовского множества.

В реальных условиях достаточно часто приходится иметь дело с задачами выбора, когда несколько лиц с одинаковыми намерениями пытаются найти хорошее решение [13]. Итак, пусть на множестве альтернатив X задано n в общем случае различных индивидуальных предпочтений. Ставится задача о выработке некоторого нового отношения, которое согласует индивидуальные выборы, выражает в каком-то смысле общее мнение и принимается за групповой выбор. Очевидно, что это отношение должно быть какой-то функцией индивидуальных выборов: $R = \Omega(R_1, R_2, \dots, R_n)$. Различным принципам согласования будут отвечать разные функции Ω . Теоретически, функции Ω могут быть совершенно произвольными, учитывать не только индивидуальные выборы, но и другие факторы, в том числе исход некоторых случайных событий, и главный вопрос состоит в том, чтобы в функции

Ω правильно отобразить особенности конкретного варианта реального группового выбора.

Один из наиболее распространенных принципов согласования -правило большинства: принятой всеми считается альтернатива, получившая наибольшее число голосов. Правило большинства привлекательно своей простотой и демократичностью, но имеет особенности, требующие осторожного обращения с ним. Прежде всего, оно лишь обобщает индивидуальные предпочтения, и его результат не является критерием истины. Только дальнейшая практика показывает, правильным или ошибочным было решение, принятое большинством голосов. Само голосование является лишь формой согласования дальнейших действий. Во-вторых, даже в простейшем случае выбора одной из двух альтернатив легко представить себе ситуацию, когда правило большинства не срабатывает в случае разделения голосов поровну при четном числе голосующих. При числе альтернатив больше двух возможность того, что ни одна из них не получит большинства голосов, достаточно реальна.

Решение многокритериальных задач может быть найдено с применением некоего правила (алгоритма) выбора на основе оценок рассматриваемых альтернатив по частным критериям. Это так называемые "игровые" критерии выбора [9]. Их общее наименование образовано от названия класса первоначально решаемых задач и не является легкомысленным.

Самым распространенным является критерий выбора "наименьшего из зол" - минимаксный критерий. В каждой из строк матрицы платежей находится наибольший проигрыш, который считается оценкой альтернативы v . Теперь остается найти альтернативу v^* , обеспечивающую наименьшее значение этой оценки среди всех строк матрицы. Эта альтернатива и называется оптимальной по минимаксному критерию. Часто платежную матрицу определяют не через проигрыш, а через выигрыш, тот же принцип приводит к максиминному критерию.

Минимаксный (максиминный) критерий является крайне осторожным, очень пессимистическим, поэтому были предложены другие критерии. Таков, например, критерий минимаксного сожаления, предложенный Сэвиджем. При этом по платежной матрице вычисляется "матрица сожаления", элементы которой определяются как разница между значением элемента и значением минимального элемента в столбце. Минимаксный критерий применяется к матрице сожаления.

Дальнейшее ослабление пессимистичности оценки альтернатив дает критерий пессимизма - оптимизма (критерий Гурвица), который сводится к взвешенной комбинации наилучшего и наихудшего исходов. А именно, за оценку альтернативы x , в критерии Гурвица принимается величина взвешенной суммы минимального и максимального значений оценок по критериям. Показатель взвешивания называется показателем пессимизма-оптимизма.

На основе перечисленных критериев может осуществляться выбор наиболее эффективного варианта развития и управления ЭС ТЭК.

Литература

1. Айвазян З., Кириченко В. Антикризисное управление: принятие решений на краю пропасти // Проблемы теории и практики управления. - 1999.-№4. -С. 94-100.

- 2.Ховард К.М. Принятие решений в процессах менеджмента // Современное управление. - 2000. -№3. - С. 131-144.
3. Кофман А. Методы и модели исследования операций: Пер. с франц. -М.: Мир, 1966.-423 с.
- 4.Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории управления. -М.: Сов. радио, 1976. - 344 с.
- 5.Гафт М.Г. Принятие решений при многих критериях. - М.: Знание, 1979.-64 с.
- 6.Тятюшкин А.И. Численные методы и программные средства оптимизации управляемых систем. - Новосибирск: Наука, 1992. - 193 с.
- 7.Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. - М.: Айрис пресс, 2002. - 576 с.
- 8.Юдин Д.Б. Вычислительные методы принятия решений. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. - 320 с.
- 9.Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: Предпочтения и замещения. — М.: Радио и связь, 1981. - 560 с.
- 10.Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений.—М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1982. - 328 с.
- 11.Кузьмин В.Б. Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений. - М.: Наука, 1982. - 168 с.
- 12.Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. - М.: Наука, 1982. - 254 с.
- 13.Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. - М.: Наука, 1974. - 256 с.