

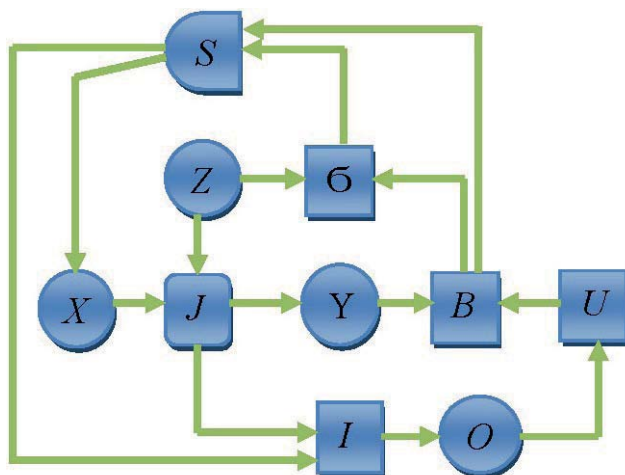


СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

В. А. Тремясов, Т. В. Кривенко

ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УДК 621.31:519.816(07)
ББК 31.2я73+22.185.1я73
Т662

Рецензенты:

В. А. Ермаков, кандидат технических наук, доцент, начальник службы энергетических режимов, балансов и развития филиала ОАО «СО ЦДУ ЕЭС» Красноярского РДУ;

А. В. Бастрон, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета

Тремясов, В. А.

Т662

Теория принятия решений в электроэнергетике : учеб. пособие / В. А. Тремясов, Т. В. Кривенко. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. – 126 с.

ISBN 978-5-7638-4298-2

Изложены теоретическая и практическая разработки системного подхода к технико-экономическому анализу при проектировании и планировании энергообъектов. Приведены методы принятия решений при выборе энергетического и электротехнического оборудования в условиях риска и неопределенности, расчеты технико-экономических показателей. Даны примеры решения практических задач проектирования энергообъектов электроэнергетических систем и электротехнологических установок.

Предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также специалистов, занятых инновационным развитием электроэнергетического комплекса России.

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 621.31:519.816(07)
ББК 31.2я73+22.185.1я73

ISBN 978-5-7638-4298-2

© Сибирский федеральный
университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
Глава 1. Системный подход к принятию технических решений в энергетике	8
1.1. Признаки и свойства больших систем. Сущность системного подхода в энергетике	8
1.2. Модели и методы системного подхода к задачам оптимизации технических решений	11
1.3. Природа и сущность многокритериального анализа	16
1.4. Процедуры и методы решения многокритериальных задач	22
Вопросы и задания для самопроверки	25
Глава 2. Модели и методы многоцелевой оптимизации	26
2.1. Описание объекта оптимизации	26
2.2. Комплексные критерии качества. Квалиметрический подход	30
Вопросы и задания для самопроверки	34
Глава 3. Применение экспертных оценок при построении критерия качества и эффективности	35
3.1. Экспертная оценка весомостей критериальных свойств и частных эффективностей вариантов технических решений	35
3.2. Процедура принятия проектного решения	41
Вопросы и задания для самопроверки	48
Глава 4. Принятие решений в условиях риска и неопределенности	49
4.1. Критерии выбора решений в условиях риска и неопределенности	49
4.2. Оптимизация технических решений с учетом ущерба	55
4.3. Элементы теории статистических решений	57
4.4. Многоцелевые задачи в условиях неопределенности	62
Вопросы и задания для самоконтроля	70
Глава 5. Нечеткие методики принятия решений при неопределенности данных	72
5.1. Нечеткие множества и размытая логика	72

5.2. Оценивание текущего состояния электрооборудования на основе теории нечетких множеств	75
Вопросы и задания для самопроверки	80
Глава 6. Оптимизация на множестве параметров	81
6.1. Метод Бокса – Уилсона при поиске оптимальных решений.....	81
6.2. Оптимизация при выборе схемы электрических соединений	89
6.3. Учет фактора природы при распределении нагрузки между электростанциями	94
6.4. Модели электроэнергетических систем и оценка эффективности.....	97
Вопросы и задания для самоконтроля	107
Глава 7. Принятие решений при проектировании и планировании энергосистем.....	108
7.1. Выбор состава энергоблоков при планировании развития энергосистемы	108
7.2. Выбор пропускной способности и числа цепей межсистемной связи.....	111
7.3. Обоснование строительства линий основной сети энергосистемы	113
Вопросы и задания для самопроверки	118
Заключение.....	119
Список литературы	120
Приложение.....	121

Глава 1. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРИНЯТИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

1.1. Признаки и свойства больших систем. Сущность системного подхода в энергетике

Современные системы энергетики относятся к категории больших систем (БС) кибернетического типа. Отличительными признаками больших систем являются:

- наличие множества изменяющихся параметров, которые определяют процесс функционирования и его результат;
- целенаправленность функционирования в различных условиях;
- организация взаимодействия множества элементов системы, включая человека, в рамках иерархической структуры для достижения поставленных целей:
 - управление функционированием и развитием системы в условиях неоднозначно известного поведения внешней среды;
 - наличие многих критериев оценки решений по управлению функционированием и развитием системы;
 - непрерывное развитие во времени целей системы, ее возможностей и организации управления.

Главное свойство БС – это множественность целей и функций, элементов структуры и связей между ними, параметров конструкций и режимов, условий и факторов, определяющих результаты, состояний и этапов развития, результатов функционирования, показателей качества и их неопределенность.

Множественность – вполне очевидное свойство БС – обуславливает применение для своего описания языка теории множеств.

Существенное значение имеет неопределенность, заключающаяся в невозможности однозначного определения результатов функционирования систем. Одна из причин неопределенности – непрерывность процесса развития системы. Неопределенность может быть обусловлена случайностью, отсутствием достаточной информации, неизученностью явлений, диффузностью (неоднозначностью) связей и невозможностью точного долгосрочного прогноза развития.

Формы неопределенности зависят от того, какие множества рассматриваются. Для счетных множеств целей, функций, результатов, состояний и факторов неопределенность может заключаться в неоднозначности состава элементов, невозможности точного определения важности (значимости) элементов, вероятности реализации целей. Для несчетных множеств значений факторов, параметров режимов и конструкций, показателей свойств и условий неопределенность может относиться к величине, диапазону значений, распределению вероятностей значений.

Принятие решений в условиях неопределенности целей, функций, результатов, состояний и факторов в случае управления БС опирается на системную иерархию. Иерархия служит средством уменьшения неопределенности.

Иерархия целей и функций системы позволяет упорядочить их множество; иерархия организации управления – множество решений; иерархия моделей системы – ее описание на разных этапах и уровнях принятых решений. И наконец, иерархия свойств системы дает возможность упорядочения оценки эффективности функционирования и управления.

Практическими средствами преодоления неопределенности при системном подходе к задаче оптимизации являются:

- планирование мероприятий для корректировки решений в ходе последующего развития;
- задание оптимального решения интервалами значений параметров, полученных с учетом возможных отклонений условий развития системы;
- создание запасов и резервов по мощности, производительности, площади, объему на производственных объектах. При этом неиспользованные резервы и неосуществленные корректирующие мероприятия представляют собой отрицательный эффект неопределенности.

Одно из методических средств преодоления неопределенности при оптимизации – это проверка оптимального решения на устойчивость. Проверка должна выявить диапазон значений факторов и показателей условий, при которых найденный оптимум продолжает оставаться наилучшим среди возможных решений.

Другим методическим средством, учитывающим неопределенность, служит введение оценки ошибки целевой функции как меры не-

определенности ее величины для отбора более эффективных вариантов по некоторому критерию.

Управление электроэнергетическими системами (ЭЭС) неразрывно связано с оптимальным планом развития и эксплуатации. Основу для определения этого оптимального плана на стадии развития ЭЭС составляют технико-экономические расчеты, обеспечивающие комплексное рассмотрение многочисленных экономических условий создания электроэнергетических и смежных с ними объектов.

Лучший вариант, способный обеспечить наибольшую эффективность, выбирают на основе комплексного технико-экономического анализа. Для того чтобы каждое частное решение, принятое на основе такого анализа, приводило к максимальной эффективности всего народного хозяйства, все технико-экономические расчеты должны быть основаны на единой методологии. Это особенно важно для энергетических объектов, характеризующихся большой капиталоемкостью, длительными сроками сооружения и эксплуатации, тесной взаимосвязью со всеми отраслями народного хозяйства. Такой методологической основой в соответствии с требованиями к управлению развитием ЭЭС и их особенностями может быть системный подход, предполагающий комплексное рассмотрение не только электроэнергетических систем, но и взаимно связанных с ними других подсистем народного хозяйства.

При системном подходе к технико-экономическим расчетам при управлении ЭЭС прежде всего необходимо учитывать влияние входных и выходных характеристик объекта.

Совершенствование методов комплексного технико-экономического анализа в энергетике должно идти в направлении более полного учета внешних связей энергетики с народным хозяйством. Возможны два способа такого учета. Первый – это оптимизация энергетики в рамках единой народнохозяйственной модели, где её прямые и обратные внешние связи учитывались бы автоматически через балансовые уравнения, коэффициенты расхода различных видов топлива и энергии на производство продукции других отраслей, а также через коэффициенты затрат различных видов промышленной продукции на нужды энергетики. Однако огромное число связей и показателей, неоднозначность информации и другие факторы не позволяют считать такую народнохозяйственную модель пригодной для практического использования.

Второй способ заключается в построении системы моделей в соответствии с реальной иерархической системой народного хозяйства и применении методов многоуровневой оптимизации в соответствии с основным принципом системного анализа – структурной, иерархической организацией всей системы, ориентированной на определенные цели.

Аналогичным образом может ставиться задача и при оптимизации внутренних связей энергетики: в качестве всей системы будет выступать энергетика в целом, а в качестве подсистем – ее подотрасли и энергетические объекты.

При многоуровневой оптимизации систем энергетики принципиальное значение имеет определение целей их функционирования. Функционирование энергетики как единого целого определяется чаще всего несколькими основными целями, например для ЭЭС: обеспечение надежного снабжения потребителей энергией требуемого качества; уменьшение или исключение вредного влияния на окружающую среду; экономичное расходование материальных, трудовых и денежных ресурсов.

Как правило, по своей природе цели функционирования систем неравноценны. Для ЭЭС, например, наиболее важна первая, а менее – последняя из указанных выше целей.

Основные цели для определения подсистем могут конкретизироваться в виде подцелей, образуя иерархию целей. Содержание этих целей и соответствующих им подцелей зависит от характера исследуемой системы и ее назначения.

1.2. Модели и методы системного подхода к задачам оптимизации технических решений

Задачи оптимизации в технике и экономике решают с помощью теоретической модели, описывающей рассматриваемый объект, систему или явление достаточно представительно, с необходимой точностью и достоверностью.

Представительность (или подробность) и точность модели задается необходимостью различать величины технических и экономических

характеристик в ходе исследования объектов и вариантов технических решений. Достоверность модели связана с вероятностью ошибок при определении технических и экономических характеристик и при принятии решений на основе этой модели. Ошибки при принятии решений бывают двоякого рода: 1) отказ от верного или оптимального решения; 2) принятие неверного или неоптимального решения. Вероятность ошибки первого рода носит название *риска поставщика*, а вероятность ошибки второго рода – *риска потребителя*. В современной технике систем управления и автоматизации эти вероятности принимаются равными 0,05; 0,1; 0,2; 0,3.

Представительность, точность и достоверность модели определяются уровнями информационного обеспечения конкретных задач. Существуют четыре принципиально различных уровня информационного обеспечения.

1. *Детерминированный уровень*, когда условия, в которых функционирует объект, и сам объект исследования полностью и в деталях известны исследователю. В этом случае оптимальность решения понимается в буквальном смысле как осуществление максимального, минимального или заданного значения целевой функции задачи. Например, достижение максимального КПД, минимума приведенных затрат или заданной производительности.

2. *Стохастический*, когда известны лишь множества всех вариантов поведения объектов и условий, а также априорное распределение вероятностей элементов этих множеств. Тогда решение принимается в условиях риска. Удачность выбора может быть оценена только после реализации принятого решения в конкретной обстановке.

3. *Вероятностно-неопределенный*, когда элементы перечисленных выше множеств известны, но без какой-либо априорной информации об их вероятностях.

4. *Диффузно-неопределенный*, когда неизвестны полностью или частично элементы упомянутых множеств и нет полной информации об их вероятностях.

В зависимости от степени неопределенности к анализу технических решений привлекают различные математические методы.

Представим объект анализа технического решения (оборудование, агрегат, станцию, систему) в виде детерминированной системы связей

между входами X и выходами Y (рис. 1.1); тогда анализ технического решения сводится к определению зависимостей Y от X при каждом варианте L .

Входами X будут параметры конструкции и режимов объекта, а выходами Y – параметры функционирования объекта. Назовем входы X управляемыми факторами; при полной определенности выходы Y также вполне определены. Именно такая схема объекта рассматривается при детерминированном уровне информации.

В случае появления каких-либо неопределенных или неуправляемых факторов на схеме объекта может быть обозначена еще одна группа входов Z (рис. 1.2).

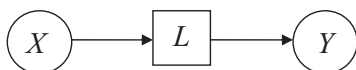


Рис. 1.1. Схема входов и выходов для детерминированного объекта

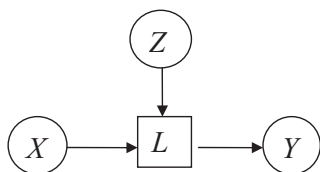


Рис. 1.2. Схема анализа объекта при наличии неуправляемых воздействий

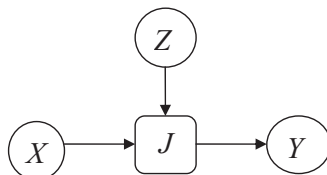


Рис. 1.3. Схема для диффузного объекта

При полной определенности X уровень неопределенности будет зависеть от степени влияния Z .

Если в рассматриваемом объекте входные и выходные характеристики неоднозначно связаны друг с другом (в силу случайности или эта связь не может быть установлена достаточно строго из-за неизученности объекта), то такую диффузную систему будем обозначать знаком J (рис. 1.3).

В случае диффузной системы (даже при полной определенности входов X и Z) определенность выхода отсутствует. Каждый управляе-

мый x или неуправляемый фактор z только в какой-то мере определяет выход y . Уровень неопределенности анализа здесь выше, чем в предыдущей схеме. Однако эта схема может быть использована для прогнозирования технических показателей в случае неполного знания факторов и механизма их действия при проектировании новых систем.

Оптимизация технических решений при проектировании представлена схемой на рис. 1.4, где B – операции оценки эффективности варианта технического решения; O – множество свойств и целей; I – операции выбора целей и свойств; U – операции оценки важности свойств и задания целей; σ – операции оценки влияния неопределенных факторов и риска; S – операции принятия решения по факторам и задания целей и свойств.

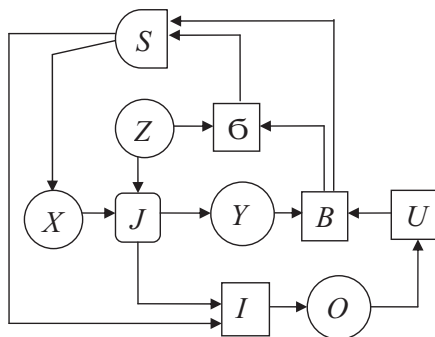


Рис. 1.4. Блок-схема принятия технических решений

Если объект можно представить в виде детерминированной системы L , то схема оптимизации сохраняется, а упрощается только операция определения значений выходов при заданных входах. Учет неопределенности при проектировании ЭЭС необходим в большом числе практических задач. Прогнозирование электрических нагрузок, выбор величины резерва, оценка надежности оборудования и установок, анализ эффективности противоаварийных мероприятий, оптимизация технических решений – вот их далеко не полный перечень.

При вероятностно-неопределенном уровне информации некоторую помощь при анализе вариантов дает применение математического

аппарата теории игр и решений. Однако и критерий Гурвица, и критерий Байеса, и принцип минимакса требуют для своего применения знаний состояния природы θ , т. е. условий реализации (для критерия Байеса и их вероятностей $p(\theta)$), знаний всех вариантов решений A и величины потерь или ущерба в денежном или ином выражении для всех сочетаний решений и состояний природы $G(A, \theta)$.

Преодоление неопределенности возможно только за счет получения информации об условиях состояния природы, связях, эффективности. Для получения этой информации можно использовать и прямой эксперимент, и расчеты, и экспертные оценки. Однако независимо от методов исследования только человек (инженер-исследователь) может эффективно преодолевать неопределенность на любом уровне. Поэтому подход, позволяющий наиболее полно использовать знания, опыт и способности человека, представляется наиболее подходящим для применения в условиях проектирования.

Основой новых методов системного анализа и многоцелевой оптимизации технических решений больших систем энергетики служат методы теории исследования операций [1], позволяющие перейти от качественного анализа к количественному при всех уровнях информационного обеспечения и математизировать любой подход к задаче, даже интуитивный или эвристический.

Методы теории исследования операций дают возможность рассматривать любой объект как систему, если изучаются его организация, структура управления, и как элемент, если изучаются только его свойства.

Свойства объекта могут быть представлены какими-либо техническими или экономическими характеристиками или качественными описаниями. Например, вес, скорость, напряжение, расход и т. д. или удобство эксплуатации, внешний вид и т. п. Оценка всего множества свойств по своему существу является комплексной.

Есть свойства более важные и менее важные. С помощью методов квалиметрии [2] и количественные, и качественные характеристики могут быть представлены в численном виде. Теория исследования операций дает возможность формального описания всех задач анализа объекта и выбора оптимального технического решения по схеме, представленной на рис. 1.4 (операции I, U, B, σ, S) с помощью целого ряда математических моделей.