

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Кравцова Л.В., Каминская Н.Г.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Введение. Судовых офицеров-электромехаников в Херсонской морской академии готовит выпускающая кафедра эксплуатации судовых энергетических установок. Современная потребность в развитии технического оснащения не только морского и речного флота Украины и мира, но и соответствующих береговых предприятий, обслуживающих флот, была и остаётся приоритетной в формировании стратегии подготовки специалистов морского профиля в ХГМА. Комплексная автоматизация современных судов, использование новейшего электрооборудования и технологий приводят, с одной стороны, к увеличению тоннажности мирового флота, сокращению судового экипажа, а с другой – к повышению требований к подготовке судовых офицеров – электротехников в сфере эксплуатации, технического обслуживания и ремонта судового электрооборудования, судовых систем автоматического управления.

Актуальность исследования. В экстремальных условиях (например, в случае аварийного отключения электроэнергии на судне и использования дополнительных источников) специалист должен принять управленческое решение относительно оптимального распределения запасов. Свой вклад в решение общей задачи повышения качества подготовки электромехаников кафедра информационных технологий, компьютерных систем и сетей академии видит во внедрении современных компьютерных технологий в повседневную работу специалистов, в вооружении их знаниями, умениями и навыками решения сложных профессиональных задач, в том числе, и с помощью современного программного обеспечения. Такая позиция кафедры направлена на решение актуальных вопросов, связанных с компетентностью выпускников академии в сфере инноваций.

Основная часть. При проектировании и эксплуатации технических систем постоянно приходится решать задачи поиска наилучшего решения из некоторого множества допустимых решений. Такое решение называют *оптимальным*, процесс поиска такого решения - *оптимизацией*, а задачи, в которых требуется найти такое решение - *оптимизационными задачами*. Показатель, по величине которого оценивают, является ли решение оптимальным, называется критерием оптимальности.

Для решения оптимизационных задач будущему специалисту необходимы знания основ математического моделирования технических систем, методов решения оптимизационных задач, современного программного обеспечения персональных компьютеров.

Изначально любая техническая задача представляется своим физическим смыслом, т.е. текстом, или технологической схемой. Далее, формулировка технической задачи должна быть переведена на формальный математический язык, т.е. записана с помощью определенных математических выражений в соответствии с физическими законами, которым подчиняется исследуемый процесс. Для конкретной оптимизационной задачи не разрабатывается специальный метод решения. Существуют математические методы, предназначенные для решения любых оптимизационных задач - методы математического программирования. Будущий специалист должен знать основы математического моделирования и уметь составлять математические модели оптимизационных задач, уметь выбрать целесообразный метод для решения конкретной технической задачи.

В электроэнергетике в зависимости от требований поставленной задачи могут приниматься различные критерии оптимальности, например, такие как:

- критерий надежности электроснабжения;
- критерий качества электроэнергии;

- критерий наименьшего отрицательного воздействия на окружающую среду (экологический критерий), и т.д.

Решение оптимизационной задачи включает в себя следующие этапы:

1. Сбор исходной информации (входных данных).
2. Составление математической модели, под которой понимается формализованное математическое описание решаемой задачи.
3. Выбор метода решения, определяемого видом математической модели.
4. Выполнение математических вычислений (использование специальных компьютерных программ).
5. Анализ полученного решения задачи.

Исходная информация представляет собой техническую постановку задачи и числовые данные, соответствующие входным параметрам.

Формализованное математическое описание оптимизационной задачи, другими словами, математическая модель, включает в себя: целевую функцию; ограничения; граничные условия.

Целевая функция представляет собой математическую запись критерия оптимальности. При решении оптимизационной задачи требуется определить экстремум целевой функции, например минимальные затраты или максимальную прибыль. Обобщенная запись целевой функции имеет следующий вид:

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr},$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – искомые переменные, значения которых вычисляются в процессе решения задачи; общее количество переменных равно n .

Искомые переменные по своему характеру делятся на непрерывные, дискретные и целочисленные. Примером непрерывной переменной может служить мощность, передаваемая по линии электропередачи, целочисленной - количество трансформаторов для электроснабжения объекта или количество контейнеров, размещенных в трюме, дискретной - искомая мощность трансформатора или искомое сечение линии электропередачи. Распространенной задачей с дискретными переменными является задача выбора оптимального варианта из числа заданных (предлагаемых).

Ограничения представляют собой различные технические, экономические, экологические условия, учитываемые при решении задачи. Математически ограничения - это зависимости между переменными x_1, x_2, \dots, x_n , задаваемые в форме неравенств или равенств: $f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_1$; $f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_2$; $\dots \dots \dots f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) > b_m$.

Появление такого мощного программного средства, как электронные таблицы MS Excel, дает возможность пользователю решать практически любые оптимизационные задачи, совершенно различные по своему классу и содержанию. Целью изучения этой темы является приобретение курсантами – электромеханиками навыков работы с современными программными приложениями.

Очевидно, нельзя полагать, что компьютер сам может выполнить всю работу. Такие этапы, как формулировка конкретной задачи оптимизации, сбор и подготовка исходной информации, составление математической модели, ввод в компьютер исходных данных и анализ решения должны выполняться пользователем. А это означает, что специалист должен владеть всеми составляющими этого процесса.

Одним из частных случаев оптимизационных задач является транспортная задача, т.е. задача отыскания таких путей перевозки продукта от пунктов производства к пунктам потребления, при которых общая стоимость перевозок оказывается минимальной. Так выглядит классическая формулировка транспортной задачи. Однако на базе этой математической модели можно с большим успехом решать массу иных прикладных задач.

Математический аппарат транспортной задачи применим и к задачам электроэнергетики. Здесь под продуктом подразумевается электрическая мощность, передаваемая от источников питания к потребителям по линиям электропередачи.

Источниками питания являются электрические станции или подстанции, потребителями – любые потребители электроэнергии. Например, на судне речь может идти об оптимальном распределении аварийных энергетических ресурсов. Также оптимизации могут подлежать затраты на схему электрической сети, состоящей из линий электропередачи, связывающих узлы источников питания с узлами потребителей.

Итак, покажем на примере возможную техническую постановку задачи. Пусть в проектируемой системе электроснабжения имеется $i = 1, 2, \dots, n$ узлов источников питания и $j = 1, 2, \dots, m$ узлов потребителей. Мощность каждого из источников составляет A_i , а мощность каждого из потребителей - B_j единиц мощности (е.м.). Известно взаимное расположение узлов источников и потребителей. Стоимость передачи единицы мощности от источника i к потребителю j (удельная стоимость) составляет z_{ij} у.е./е.м. Общее количество возможных к строительству линий электропередачи, связывающих источники с потребителями, составляет nm . Мощности, передаваемые по этим линиям, являются искомыми переменными x_{ij} , следовательно, количество искомых переменных составляет nm .

Следующим этапом является построение математической модели. Заметим, что с переменными мы уже определились.

Затраты на электрическую сеть равны сумме произведений удельных стоимостей на величины передаваемых мощностей от источников i к потребителям j . Поэтому подлежащая минимизации целевая функция имеет следующий вид:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m z_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

С позиций теоретической электротехники, электрическая сеть является электрической цепью, и для этой сети применимы все законы, известные из курса электротехники, в частности 1-й закон Кирхгофа. Для каждого i -го источника питания сумма мощностей, оттекающих по линиям ко всем $j=1,2,\dots,m$ узлам потребителей, равна мощности A_i этого источника

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = A_i \quad (2)$$

Для каждого j -го потребителя сумма мощностей, притекающих по линиям от всех $i=1,2,\dots,n$ источников, равна мощности B_j этого потребителя

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = B_j \quad (3)$$

Эти соотношения, представляющие собой балансы мощности в каждом из узлов, являются ограничениями при решении транспортной задачи. Общее количество ограничений равно количеству узлов источников и потребителей $n+m$. Из теоретической электротехники известно, что для любой электрической сети количество независимых уравнений, составленных в соответствии с первым законом Кирхгофа, на единицу меньше количества узлов и составляет $(n+m-1)$. Следовательно, количество независимых ограничений составляет $(n+m-1)$. Каждая базисная переменная x_{ij} соответствует присутствию в схеме линии между узлами i и j , поскольку мощность, протекающая между узлами i и j , не равна нулю. Каждая свободная переменная x_{ij} соответствует отсутствию в схеме линии между узлами i и j , поскольку мощность, протекающая между узлами i и j , равна нулю.

Целевая функция (1) и системы ограничений (2), (3) представляют собой математическую модель транспортной задачи. Видно, что выражения целевой функции и ограничений являются линейными.

Пример. В проектируемой системе электроснабжения имеется два узла с источниками питания и три узла потребителей. Мощности источников составляют A_1 и

A_2 , а мощности потребителей - B_1 , B_2 и B_3 е.м. Взаимное расположение узлов и возможные к сооружению линии электрической сети показаны на рис. 3.1. Удельные затраты на передачу мощностей по линиям между узлами источников и потребителей составляют z_{11} , z_{12} , z_{13} , z_{21} , z_{22} , z_{23} у.е./е.м.

Составить математическую модель для решения транспортной задачи.

Решение. Целевая функция, представляющая собой суммарные денежные затраты на электрическую сеть, в соответствии выражением (1) будет иметь вид

$$Z = z_{11}x_{11} + z_{12}x_{12} + z_{13}x_{13} + z_{21}x_{21} + z_{22}x_{22} + z_{23}x_{23} \rightarrow \min$$

Ограничения, представляющие собой балансы мощности в узлах электрической сети, в соответствии с выражениями (2) и (3), будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} = A_1 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} = A_2 \\ x_{11} + x_{21} = B_1 \\ x_{12} + x_{22} = B_2 \\ x_{13} + x_{23} = B_3 \end{cases}$$

Остаётся добавить обязательное условие: $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23} \geq 0$.

Математически для решения поставленной задачи можно использовать различные оптимизационные методы, например, распределительный метод, метод потенциалов и т.д. Однако даже при таком количестве переменных решение достаточно сложно. Реально количество переменных значительно больше, и использование «ручных методов» теряет смысл. Именно встроенный в программный модуль MS Excel пакет «Поиск решения» позволяет, разумеется, при правильном его заполнении, моментально получать оптимальное решение объёмных прикладных задач.

В реальных схемах электрических сетей часто оказывается целесообразной передача мощности через промежуточные (транзитные) узлы. Такими транзитными узлами могут быть как узлы источников питания, так и узлы потребителей. Математически это выражается в добавлении ограничений на переменные, что абсолютно не влияет на сложность решения такой оптимизационной задачи в модуле «Поиск решения».

Выводы. Мы привели несколько примеров использования оптимизационных моделей и методов в электроэнергетике. Таких примеров можно привести много. Это и задачи о потреблении реактивной мощности, и задачи многокритериальной оптимизации, и стохастические модели, параметрами которых являются случайные величины с определёнными вероятными значениями. Однако понимание технического смысла задачи, знание методики построения соответствующей математической модели, умение использовать современные технические средства для реализации решения поставленных задач однозначно даёт специалисту важный инструмент в его профессиональной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костин В.Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики: Учеб. пособие. - СПб.: СЗТУ, 2003. - 120 с.
2. Келлер И.Э. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учебное пособие. - СПб.: Лань, 2015. - 512 с.
3. Кравцова Л.В., Камінська Н.Г. Реализация компетентного подхода при изучении информатики (MS Excel) 2017: учебник для курсантов и студентов морских учебных заведений // - Херсон : ХГМА, 2017 – 324с.