

УДК 621.311.1:65.011.46

ЗАДАЧИ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

¹Гусева Н.В., ²Шевченко Н.Ю., ²Лебедева Ю.В.

¹ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина», Саратов;

²Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, Камышин, e-mail: kti@kti.ru

В статье представлен алгоритм решения многокритериальной задачи методом векторной оптимизации. В ряде случаев решение о выборе оптимального варианта развития электрической сети не может быть сделано на основе одного экономического критерия. Решение необходимо принимать с учетом достижения различных целей, иногда противоречивых. Число схем компромисса очень велико. При противоречивости целей оптимальное решение должно принадлежать зоне компромисса. Выявление зоны компромисса позволяет сузить зону возможных решений и улучшает качество принимаемых решений. Решение задачи векторной оптимизации сводится к однокритериальной (скалярной) задаче. Рассмотрен алгоритм решения многокритериальных задач оптимизации на примере выбора оптимального варианта развития электрической сети с целью повышения пропускной способности и надежности при наличии приоритетов в достижении локальных целей.

Ключевые слова: многокритериальный подход, эффективность, инвестиции, электрические сети, оптимальный вариант

PROBLEMS OF VECTOR OPTIMIZATION IN POWER INDUSTRY

¹Guseva N.V., ²Shevchenko N.Y., ²Lebedeva Y.V.

¹FGBOU «Saratov State Technical University», Saratov;

²Kamyshin Institute of Technology (branch) of state educational institution of higher professional Education Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: kti@kti.ru

The article presents an algorithm for solving of multi-criteria method of vector optimization. In some cases, the decision to choose the optimal variant of development of electric networks cannot be made on the basis of a single economic criterion. The decision must be made taking into account the achievements of different goals, sometimes contradictory. The number of schemes of compromise is very high. Identify areas of compromise allows narrow the possible solutions, and improves the quality of decisions. The vector optimization problem is reduced to a single-criterion. The solution vector problem of optimization is reduced to one-criterion (scalar) problem. The authors reviewed the algorithm for solving multi-criteria optimization problems on the example of the choice of the optimal variant of the electrical network in order to increase the capacity and reliability in the presence of local priorities in achieving objectives.

Keywords: multi-criteria approach, efficiency, investment, power grids, the best option

Многокритериальный подход означает оценку и выбор оптимального варианта одновременно по нескольким критериям (показателям) в отличие от существующего выбора по единственному экономическому критерию: приведенным затратам, прибыли, рентабельности, чистому дисконтированному доходу. При выборе оптимального варианта по критерию «минимум приведенных затрат» сравниваются, как правило, несопоставимые по другим показателям варианты, следовательно результаты могут получиться необъективными, что делает целесообразным переход к оценке по нескольким критериям. Поэтому необходимо принимать решение с учетом достижения различных, иногда даже противоречивых целей, которое базируется на основе современных экономических методик. Очень часто наряду с минимумом затрат стараются обеспечить максимум надежности электроснабжения, минимум расхода цветного металла и максимум производительности труда [1, 2].

Выбор критериев оценки вариантов следует осуществлять на основе анализа целей функционирования системы. При оценке оптимального варианта по многокритериальной модели необходимо учитывать специфику назначения, условия сооружения, функционирования и эксплуатации рассматриваемых систем.

Кроме многокритериальности задачи оптимизации характеризуются неопределенностью части исходной информации, например такой, как цены на оборудование, тарифы на электроэнергию, закон изменения электрических нагрузок, значения ущербов от перерывов электроснабжения и ухудшения качества электрической энергии и другие. Для неопределенной информации можно указать границы интервала значений от минимума до максимума. Существует множество методов решения оптимизационных задач [5].

Рассмотрим вопрос решения этой проблемы на примере выбора наиболее

экономичного варианта схемы районной электрической сети из шести возможных стратегий.

Алгоритм решения многокритериальной задачи методом векторной оптимизации

Чтобы выбрать оптимальный вариант развития электрической сети необходимо решать многокритериальную задачу. В качестве критериев оптимизации можно использовать такие важнейшие показатели, как пропускная способность линии, надежность электроснабжения, капитальные затраты, потери электроэнергии и другие. Такого рода задачи называют задачами векторной оптимизации, так как совокупность критериев эффективности по разным целям образуют вектор критериев [4]. Выбор и обоснование частных критериев оценки является одним из самых важных вопросов. Процедура их выбора носит творческий характер. Критерии должны описывать по возможности все важные аспекты цели, но при этом желательно минимизировать число некоторых критериев. Для этой цели вводят ограничения. Между целевыми критериями и ограничениями имеются сходства и различия. Общее заключается в том, что и критерий, и ограничения являются математической формулировкой некоторых условий. В некоторых задачах оптимизации они могут выступать равноправно. Однако на этапе формирования целевой функции критерий открывает возможности для генерирования новых альтернатив в поисках лучшей из них, а ограничение заведомо уменьшает их число [3].

Критерии выбираются в зависимости от поставленной цели и набор их должен быть как можно более полным, но при этом критерии не должны дублировать друг друга.

Рассмотрим алгоритм решения многокритериальной задачи методом векторной оптимизации на конкретном примере.

Разработка вариантов (стратегий) развития сети с целью повышения пропускной способности.

Для выбора оптимального решения необходимо составить множество стратегий (вариантов) развития сети $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ по нескольким частным критериям $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$.

Рассмотрим шесть альтернативных вариантов развития электрической сети с разными типами опор и проводов.

Выбор системы частных критериев, оценивающих степень достижения целей функционирования системы.

Выбор критериев оценки вариантов производится на основе анализа целей функционирования системы, опираясь на понятие результативности и полезности. Полезность вытекает из основного назначения электрической сети и целей ее функционирования. Основное назначение электрической сети – передача и распределение электрической энергии. Ее основные цели – обеспечение потребителей электроэнергией с заданным уровнем надежности. Таким образом пропускная способность, потери мощности и капитальные затраты должны включаться в набор частных критериев [6].

Критерии будем называть локальными или частными, и обозначать f_i , $i=1 \dots n$, где i индекс локального критерия, n – число этих критериев. Если критерии имеют различные единицы измерения, то их требуется нормализовать. Разработано большое количество схем нормализации, большинство из которых основываются на введении идеальных значений критериев, с помощью которых, вектор критериев приводится к безразмерной форме. Каждая компонента вектора может принимать значения в диапазоне (0;1).

Составим матрицу частных критериев. В табл. 1 представлены показатели шести вариантов развития электрической сети.

Критерии достижения целей имеют разные единицы измерения, поэтому необходимо провести нормирование частных критериев по формулам:

$$\bar{K}_i = \frac{K_{\min}}{K_i}, \quad (1)$$

$$\Delta \bar{P}_i = \frac{\Delta P_{\min}}{\Delta P_i}, \quad (2)$$

Таблица 1

Матрица локальных критериев

Стратегии	Пропускная способность, P_i [МВт]	Капитальные затраты, K_i [млн. руб.]	Потери мощности, ΔP_i [МВт]
φ_1	63,08	352,9	1,35
φ_2	104,33	486	1,24
φ_3	98,67	480	0,662
φ_4	139,28	417	0,646
φ_5	190,88	732	0,646
φ_6	197,34	664,8	0,166

$$\bar{P}_i = \frac{P_i}{P_{\max}}, \quad (3)$$

где K_{\min} – минимальные капитальные вложения из ряда стратегий, млн руб.;

K_i – капитальные вложения i -й стратегии, млн руб.;

ΔP_{\min} – минимальные потери мощности из ряда стратегий, МВт;

ΔP_i – потери мощности i -й стратегии, МВт;

P_{\max} – наибольшая передаваемая мощность, МВт;

P_i – передаваемая мощность i -й стратегии, МВт.

Результаты нормирования сведены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица нормированных критериев

Стратегии	\bar{P}_i , о.е.	\bar{K}_i , о.е.	$\Delta \bar{P}_i$, о.е.
φ_1	0,32	1,0	0,12
φ_2	0,53	0,73	0,13
φ_3	0,5	0,74	0,25
φ_4	0,71	0,85	0,26
φ_5	0,97	0,43	0,26
φ_6	1,0	0,53	1,0

Для комплексной оценки эффективности вариантов необходимо установление некоторой схемы компромисса – принципа согласования оптимумов по разным критериям.

Число возможных схем компромисса очень велико, но во всех случаях задача метода – это сведение векторной задачи оптимизации к эквивалентной (в смысле принятого принципа оптимальности) скалярной (т.е. однокритериальной) задаче.

Различные схемы компромисса, в первую очередь, могут отличаться по наличию или отсутствию приоритетов в достижении локальных целей.

Оценка значимости целей

В том случае, когда достижение отдельных целей предпочтительнее достижения других, то для оценки степени предпочтительности вводятся приоритеты. Приоритет локальных критериев может задаваться различными способами. Наибольшее распространение получил способ, который состоит в задании весовых коэффициентов для каждого локального критерия – $a_j (j = 1..n)$.

Следовательно, каждому критерию (цели) по степени важности присваивается весовой коэффициент, соответственно:

$$a_1 = 0,5 \rightarrow \bar{P}_i,$$

$$a_2 = 0,4 \rightarrow \bar{K}_i,$$

$$a_3 = 0,1 \rightarrow \Delta \bar{P}_i.$$

Производится оценка важности каждой цели определенным числом a_j так, чтобы для более важной цели a_j было больше, чем для менее важной:

$$a_1 \geq a_2 + a_3, \quad (4)$$

Так как $0,5 \geq 0,4 + 0,1$, $0,5 \geq 0,5$, следовательно, условие неравенства (4) целей выполняется.

$$a_2 \geq a_3, \quad (5)$$

Так как $0,4 \geq 0,1$, следовательно, весовым коэффициентам корректировки не требуется. Результаты исследования представлены в табл. 3.

По максимальной эффективности предложенные варианты можно ранжировать в порядке возрастания: $\varphi_5, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_1, \varphi_4, \varphi_6$.

В качестве оптимального варианты (стратегии) принимается вариант, у которого оценка общей эффективности максимальна:

$$F_i = \max \sum_{j=1}^n v_j a_n. \quad (6)$$

где v_j – нормированные значения критериев, a_n – весовой коэффициент.

Таблица 3

Матрица нормированных критериев

Стратегии	$\bar{P}_i \cdot a_1$, о.е.	$\bar{K}_i \cdot a_2$, о.е.	$\Delta \bar{P}_i \cdot a_3$, о.е.	Интегральный критерий $\sum_{j=1}^n v_j a_n$
	$a_1 = 0,5$	$a_2 = 0,4$	$a_3 = 0,1$	
φ_1	0,16	0,4	0,012	0,572
φ_2	0,265	0,292	0,013	0,57
φ_3	0,25	0,296	0,025	0,571
φ_4	0,355	0,34	0,026	0,721
φ_5	0,485	0,172	0,026	0,198
φ_6	0,5	0,212	0,1	0,812

Матрица нормированных критериев

Стратегии	$\bar{P}_i \cdot a_1$, о.е.	$\bar{K}_i \cdot a_2$, о.е.	$\Delta \bar{P}_i$, о.е.	Интегральный критерий $\sum_{j=1}^n v_j a_n$
	$a_1 = 0,4$	$a_2 = 0,5$	$a_3 = 0,1$	
φ_1	0,128	0,5	0,012	0,64
φ_2	0,212	0,365	0,013	0,378
φ_3	0,2	0,37	0,025	0,595
φ_4	0,284	0,425	0,026	0,451
φ_5	0,388	0,215	0,026	0,629
φ_6	0,4	0,265	0,1	0,765

Следовательно, при заданных приоритетах, оптимальным считается шестой вариант:

$$F_6 = \max \sum_{j=1}^3 v_j a_j = 0.812 \text{ о.е.}$$

В том случае, если больший приоритет присваивается такому критерию как капитальные вложения, то весовые коэффициенты будут распределены следующим образом: $a_1 = 0,4$, $a_2 = 0,5$, $a_3 = 0,1$.

Результаты данного исследования сведены в табл. 4.

Порядок возрастания по максимальной эффективности предложенных вариантов изменится: $\varphi_2, \varphi_4, \varphi_3, \varphi_5, \varphi_1, \varphi_6$. Оптимальным остается шестой вариант.

$$F_6 = \max \sum_{j=1}^3 v_j a_j = 0.765 \text{ о.е.}$$

Изложенный метод может использоваться при исследовании вариантов новых технических решений в условиях недостаточности информации.

Выводы

Предложен алгоритм выбора оптимального решения по многокритериальной модели, позволяющий получить обоснованное

решение поставленной задачи. Данную методику предлагается использовать в учебных целях для подготовки специалистов энергетических специальностей.

Список литературы

1. Машунин Ю.К. Информационные технологии моделирования технических систем на базе методов векторной оптимизации // Информационные технологии. – 2001. – № 9. – С. 14–21.
2. Машунин Ю.К., Торгашов А.Ю. Математические основы управления в экономике. Учебное пособие. – Находка: Институт технологии и бизнеса, 2003. – 216 с.
3. Многокритериальная оптимизация вариантов реконструкции ВЛЭП, работающих в экстремальных условиях / Шевченко Н.Ю., Лебедева Ю.В., Сошинов А.Г. // Современные проблемы науки и образования. – 2010. – № 6. – С. 102–105.
4. Некоторые аспекты многокритериального моделирования реконструкции воздушной линии электропередач / Шевченко Н.Ю., Ю.В. Лебедева, Г.Г. Угаров, А.Г. Сошинов. // Инновационные технологии в обучении и производстве: VI Всер. н-прак. Конф.: Т. 2. – Волгоград, 2009. – С. 110–114.
5. Повышение эффективности воздушных линий электропередачи напряжением 110–220 кВ в гололедных районах: монография / Г.Г. Угаров, Н.Ю. Шевченко, Ю.В. Лебедева, А.Г. Сошинов. – Москва, Перо. 2013. – 186 с.
6. Шевченко Н.Ю., Лебедева Ю.В. Выбор критериев сравнительной технико-экономической эффективности проектирования и строительства электрической сети // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. V всерос. н.-пр. конф., Камышин: Изд-во ВолгГТУ, в 3 т. Т. 1, 2008. – С. 227–230.