

## РАНЖИРОВАНИЕ ЧАСТНЫХ КРИТЕРИЕВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Н.И. Черкасова

*Представлена методика нахождения рангов частных критериев в условиях неопределенности на основе матрицы парных сравнений.*

*Ключевые слова: частные критерии, ранги, потери электроэнергии.*

При решении задач многокритериальной оценки эффективности функционирования распределительных сетей 10-0,4 кВ необходимо учитывать не равнозначность частных критериев оценки. В случае большого числа критериев задача непосредственного определения рангов критериев оказывается весьма трудной и даже неразрешимой для экспертов в силу ограниченности психико - физиологических возможностей человека. При этом в случае сравнения двух альтернатив эксперт обычно способен адекватно определить, у какой из них рассматриваемый признак (важность) выражен сильнее, а также качественно (вербально) оценить, насколько велика разница между наблюдаемыми признаками.

Рассмотрим более подробно задачу определения значимости рангов частных критериев

на основе их попарного сравнения [1]. Попарное сравнение всех частных критериев проведем с помощью шкалы лингвистических оценок. На практике экспертные заключения часто имеют характер суждений типа: «продолжительность простоя при плановом ремонте силового трансформатора несколько предпочтительнее простоя при аварийном выходе его из строя» или «продолжительность простоя трансформаторов при плановом ремонте или в результате аварии одинаково значимы». Построение таких лингвистических оценок обычно не вызывает затруднений у специалистов.

В соответствии с широко распространенным подходом [6] лингвистическую шкалу построим состоящей из девяти градаций оценок относительной важности (табл. 1).

Таблица 1 –Лингвистические оценки относительной важности

Качественная оценка	Количественная оценка
Строго эквивалентны (одинаково значимы)	1
Слабо предпочтительнее	3
Несколько предпочтительнее	5
Значительно предпочтительнее	7
Строго предпочтительнее	9
Промежуточные значения важности	2, 4, 6, 8
Оценка сравнения $j$ элемента с элементом $i$ ( $a_{ji}$ ) имеет обратное значение $a_{ij}$	$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$

Такая шкала отражает особенности человека как субъекта принятия решений и обработки информации. Сделанным лингвистическим суждениям экспертов в соответствии с таблицей 1 присваиваются соответствующие численные оценки от 1 до 9. В таблице 1

через  $a_{ij}$  обозначена оценка значимости критерия  $i$  по отношению к критерию  $j$ . На основе всех определенных попарных оценок

$a_{ij}$  далее строится матрица парных сравнений  $A = \{a_{ij}\}$ .

Пусть исследуемая система характеризуется тремя критериями  $x_1, x_2, x_3$ . Между ними существуют отношения:  $x_2$  почти эквивалентен  $x_1$  и строго предпочтительнее  $x_3$ , а  $x_3$  несколько предпочтительнее  $x_1$ . Тогда в соответствии с табл. 1 матрица парных сравнений  $A = \{a_{ij}\}$  частных критериев  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) исследуемой системы будет выглядеть следующим образом:

	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$x_1$	1	1/3	1/5
$x_2$	3	1	9
$x_3$	5	1/9	1

Словесным оценкам парной важности поставлены в соответствие числа натурального ряда. Это необходимо для получения количественных результатов.

Рассмотрим методику нахождения рангов частных критериев на основе матрицы парных сравнений [3]. Пусть  $A$  - матрица парных сравнений, построенная на определенных экспертами значениях элементов матрицы  $a_{ij}$ . Через  $a_1, a_2, \dots, a_n$  обозначим искомые значения коэффициентов относительной значимости критериев.

$W = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  - вектор коэффициентов относительной важности (рангов);  $n$  - количество частных критериев.

Для каждого элемента матрицы парных сравнений справедливо  $a_{ij} = a_i / a_j$ . По содержательному смыслу ранги  $a_i$  - это значения вкладов соответствующих частных критериев, иными словами, коэффициенты предпочтительности этих критериев. Тогда их совокупность  $W = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  отвечает собственному вектору матрицы  $A$ . Поэтому вектор  $W$  может быть найден как решение уравнения  $AW = \lambda W$ , где  $\lambda$  - собственное значение матрицы  $A$ . Используя условия

нормализации  $\sum_{i=1}^n a_i / n = 1$ , применяя из-

вестные методы отыскания собственных век-

торов, можно рассчитать численные значения рангов  $a_i$ .

В реальных условиях элементы матрицы парных сравнений не точны из-за того, что они отражают субъективное мнение эксперта. В этих условиях значение  $W$  можно вычислить как вектор, минимизирующий функционал [5]:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( a_{ij} - \frac{a_i}{a_j} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

При этом искомые значения  $a_1, a_2, \dots, a_n$  являются решением оптимизационной задачи:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij} a_j - a_i)^2 \rightarrow \min ;$$

$$\sum_{i=1}^n a_i = n. \quad (2)$$

Широкое распространение для отыскания рангов критериев на основе матрицы парных сравнений получил приближенный метод, предложенный Т. Саати [3], который заключается в отыскании приближенных значений вектора рангов, как среднегеометрических величин каждой строки матрицы парных сравнений. Полученные таким образом среднегеометрические значения собственного вектора нормализуются делением на сумму средних геометрических:

$$a'_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, \quad a_i = \frac{a'_i}{\sum_{i=1}^n a'_i} \quad (3)$$

Приближенный метод Т. Саати вследствие своей простоты получил широкое распространение. Проведем сравнение его использования с результатами ранжирования критериев на основе описанной выше методики решения задачи оптимизации (2).

В реальных условиях функционирования распределительных сетевых компаний снижение потерь электроэнергии при ее передаче реально увеличивает прибыль компаний. Поэтому, выбор наиболее эффективных мероприятий по снижению потерь является весьма актуальным для службы транспорта электроэнергии, а также всех без исключения распределительных энергообеспечивающих компаний. Рассмотрим задачу принятия решения по выбору мероприятий по снижению потерь электроэнергии.

Сопоставление двух подходов выполним на основе матрицы эффективности меро-

**РАНЖИРОВАНИЕ ЧАСТНЫХ КРИТЕРИЕВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

приятый по снижению потерь электроэнергии. Для общей оценки эффективности мероприятий по снижению потерь электроэнергии перед их реализацией необходимо проранжировать частные критерии мероприятий.

В результате экспертного анализа мероприятий получена матрица парных сравнений, которая представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица парных сравнений частных критериев эффективности мероприятий по снижению потерь

Показатель эффективности мероприятия	Ввод КУ на ПС сетевой компании	Выравнивание нагрузок фаз в сетях 0,4 кВ	Реконструкция ВЛ с загрузкой по ЭПТ*	Отключение в режимах малых нагрузок одного из трансформаторов	Замена приборов учета на улучшенные	Замена измерительных трансформаторов	Установка на ПС средств АСКУЭ	Перевод на высшую ступень напряжения
Ввод КУ* на ПС* сетевой компании	1	5	3	7	6	6	1/3	1/4
Выравнивание нагрузок фаз в сетях 0,4 кВ	1/5	1	1/3	5	3	3	1/5	1/7
Реконструкция ВЛ с загрузкой по ЭПТ*	1/3	3	1	6	3	4	6	1/5
Отключение в режимах малых нагрузок одного из трансформаторов	1/7	1/5	1/6	1	1/3	1/4	1/7	1/8
Замена приборов учета на улучшенные	1/6	1/3	1/3	3	1	1/2	1/5	1/6
Замена измерительных трансформаторов (повышение класса точности)	1/6	1/3	1/4	4	2	1	1/5	1/6
Установка на ПС средств АСКУЭ	3	5	1/6	7	5	5	1	1/2
Перевод ВЛ на высшую ступень напряжения	4	7	5	8	6	6	2	1

\* КУ - компенсирующие устройства; ПС-подстанция; ЭПТ - экономическая плотность тока.

Информативным показателем достоверности определения рангов является индекс согласованности (ИС) матрицы парных сравнений А, который дает информацию о степени нарушения численной (кардинальной)  $a_{ij} = a_i / a_j$ ) и транзитивной (порядковой) согласованности парных сравнений. В случае плохой согласованности рекомендуется поиск дополнительной информации и пересмотр

данных, использованных при построении матрицы парных сравнений.

Индекс согласованности для каждой матрицы рассчитывается на основе оценки максимальной величины собственного значения матрицы  $\lambda_{\max}$ . Он может быть приближенно получен следующим образом: сначала суммируется каждый столбец матрицы парных сравнений, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты

нормализованного вектора рангов, сумма второго столбца - на вторую компоненту и т. д. Затем полученные числа суммируются.

Таким образом получается значение  $\lambda_{\max}$ .

**Индекс согласованности** рассчитывается по формуле  $ИС = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ , где  $n$  - размерности матрицы парных сравнений. Для обратносимметричной матрицы всегда  $\lambda_{\max} \geq n$ . Чем более парные сравнения, тем меньше ИС.

На основе индекса согласованности ИС рассчитывается показатель **отношения согласованности** ОС:  $ОС = ИС/СС$ , где СС - значение **согласованности случайной** матрицы того же порядка. Средние значения согласованности для случайных матриц разного порядка, полученные при случайном выборе количественных парных оценок относительной важности из шкалы 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, ..., 1, 2, ..., 9 и образования обратносимметричной матрицы, приведены в следующей таблице:

Размеры матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

В [4] на основе обобщения опыта решения большого числа многокритериальных задач утверждается, что для того, чтобы парные сравнения можно было считать согласованными, величина ОС должна быть менее 10 %. В ряде случаев приемлемой для практики согласованностью можно считать величину ОС до 20 %. Если ОС выходит из этих пределов, то экспертам нужно пересмотреть задачу и проверить свои суждения.

В матрицах больших размеров, начиная с 7- 9 элементов, часто трудно достигнуть

высокого уровня согласованности. Тем не менее, минимальный уровень согласованности должен быть обеспечен.

В таблицах 3, 4 приведены результаты расчета рангов, ИС и ОС для рассматриваемого примера ранжирования критериев эффективности мероприятий по снижению потерь (табл. 2) на основе двух сравниваемых методик.

Таблица 3 –Ранги и индексы согласованности в задаче выбора мероприятий по снижению потерь

Частный критерий оценки мероприятий по снижению потерь	Ранг	
	Метод Т. Саати	Задача оптимизации
Ввод КУ на ПС сетевой компании	0,173	0,137
Выравнивание нагрузок фаз в сетях 0,4 кВ	0,054	0,054
Реконструкция ВЛ с загрузкой по ЭПТ*	0,188	0,121
Отключение в режимах малых нагрузок одного из трансформаторов	0,018	0,030
Замена приборов учета на улучшенные	0,031	0,046
Замена измерительных трансформаторов (повышение класса точности)	0,036	0,046
Установка на ПС средств АСКУЭ	0,167	0,089
Перевод ВЛ на высшую ступень напряжения	0,333	0,475
	$\lambda_{\max} = 9,669$ ИС = 0,238 ОС = 0,169	$\lambda_{\max} = 9,387$ ИС = 0,198 ОС = 0,14

Как следует из анализа результатов, оценки рангов и критерии показателей согласованности ИС и ОС, полученные с использованием сравниваемых методик, могут различаться более, чем в два раза. При этом со-

гласованность оценок при использовании методики оптимизации [5] во всех случаях существенно выше, чем при использовании приближенного метода Т. Саати (значения ИС и ОС ниже). Это свидетельствует о суще-

**РАНЖИРОВАНИЕ ЧАСТНЫХ КРИТЕРИЕВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

ственных преимуществах методики, основанной на решении оптимизационной задачи (2)

по сравнению с традиционным приближенным подходом.

Таблица 4 –Отношения согласованности (ОС) в задаче выбора мероприятий по снижению потерь

Частные критерии оценки мероприятий по снижению потерь	Метод Т. Саати	Задача оптимизации
Ввод КУ на ПС сетевой компании	0,117	0,053
Выравнивание нагрузок фаз в сетях 0,4 кВ	0,210	0,110
Реконструкция ВЛ с загрузкой по ЭПТ*	0,117	0,054
Отключение в режимах малых нагрузок одного из трансформаторов	0	0
Замена приборов учета на улучшенные	0,079	0,074
Замена измерительных трансформаторов (повышение класса точности)	0,170	0,102
Установка на ПС средств АСКУЭ	0	0
Перевод ВЛ на высшую ступень напряжения	0,056	0,052

Использование теории нечетких множеств делает многокритериальные задачи принятия решений более информативно содержательными, позволяя учитывать качественную, нечетко заданную информацию в явном виде.

На основе таблицы 4 с учетом величины рангов сформулируем список мероприятий в порядке предпочтительности:

1. Перевод воздушной линии на высшую ступень напряжения -0,475;
2. Ввод компенсирующих устройств на подстанциях сетевой компании -0,137;
3. Реконструкция воздушных линий с загрузкой по экономической плотности тока – 0,121;
4. Установка на подстанциях средств АСКУЭ -0,089.
5. Выравнивание нагрузок фаз в сетях 0,4 кВ.
6. Замена приборов учета и измерительных трансформаторов.
7. Отключение одного из трансформаторов в режимах малых нагрузок.

**Вывод:**

Применение методики ранжирования частных критериев позволяет выбрать наиболее эффективные мероприятия по снижению потерь электроэнергии в условиях неопределенности.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Дилигенский Н.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности. М.: Машиностроение - 1, 2004.
2. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 208 с.
3. Saaty T. Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures // J. of Mathematical Psychology. 1977. Vol. 15. № 3. P. 234 – 281.
4. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
5. Chu A., Kalaba R., Springarn R. A Comparison of Two Methods for Determining the weights of Belonging to Fuzzy Sets // J. of Optimization theory and applications. 1979. Vol. 27. № 4. P. 531 – 538.

*Черкасова Нина Ильинична, к.т.н., доцент,  
зав. кафедрой РИИ АлтГТУ им. И.И. Ползунова,  
тел.: 8(38557)5-98-75.*