

Оптимизация надежности электроэнергетических систем в рыночных условиях

XIII международная азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем" в рамках IEEE SIBIRCON 2017

Айзенберг Н.И., Пержабинский С.М.

Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ,
проекты: №16-37-00333 мол-а, № 16-06-00071*

Содержание



- Введение
- Методика оптимизации балансовой надежности ЭЭС
- Модель оценки дефицита мощности
- Моделирование поведения экономических агентов
- Экспериментальные исследования
- Заключение



Введение

- На сегодняшний момент, электроэнергетические системы в большинстве стран являются либерализованными.
- Тип рыночного взаимодействия обуславливает критерии, которыми руководствуются агенты на электроэнергетическом рынке:
 - максимизация прибыли для генерирующих и сетевых компаний;
 - максимизация общественного благосостояния для оператора сети;
 - максимизация полезности для потребителей.
- В результате взаимодействия агентов формируется рыночное равновесие, характеризующееся сложившейся ценой, объемами выработки электроэнергии и потребления, количеством используемых мощностей и др.
- Учет фактора надежности при реализации плана развития ЭЭС в условиях рыночного взаимодействия серьезно усложняет обсуждаемую задачу.

Методика оптимизации балансовой надежности



1. Формирование расчетных состояний ЭЭС
2. Определение дефицита мощности в каждом расчетном состоянии
3. Определение прибыли генерирующих компаний с учетом возможных штрафов за недоотпуск электроэнергии
4. Вычисление показателей надёжности ЭЭС
5. Сопоставление показателей балансовой надежности с уровнем получаемой прибыли при различных конфигурациях ЭЭС.



Модель оценки дефицита мощности

$$\sum_{i=1}^n y_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$x_i - y_i + \sum_{j=1}^n (1 - a_{ji} z_{ji}) z_{ji} - \sum_{j=1}^n z_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (2)$$

$$0 \leq y_i \leq \bar{y}_i^k, \quad i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

$$0 \leq x_i \leq \bar{x}_i^k, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

$$0 \leq z_{ij} \leq \bar{z}_{ij}^k, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n, \quad i \neq j. \quad (5)$$

Вычисление показателей надежности



Величина дефицита мощности в оптимальном решении задачи (1) – (5) в узле i

$$d_i^k = \bar{y}_i^k - \hat{y}_i^k, i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, N.$$

Обозначим через H число всех дефицитных состояний ЭЭС. Тогда вероятность бездефицитной работы

$$P = 1 - \frac{H}{N}.$$

Математическое ожидание дефицита мощности в узлах системы

$$MD_i = \sum_{j=1}^H \frac{d_i^j}{N}, i = 1, \dots, n.$$

Моделирование спроса



Пусть r – некоторый показатель надежности. В результате решения N задач оценки дефицита мощности для каждого сценария развития ЭЭС находим

$$\tilde{y}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{y}_i^k, \quad \tilde{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{x}_i^k, \quad \tilde{z}_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{z}_{ij}^k, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n, \quad i \neq j.$$

Плата за надежность

$$g_i(r_i) = (r_i)^m p_i(\tilde{y}_i), \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Здесь

$$p_i(\tilde{y}_i) = \beta_i - \alpha_i \tilde{y}_i, \\ \underline{r} \leq r_i \leq \bar{r}, \quad i = 1, \dots, n.$$

Моделирование поведения генерирующих компаний



Предположим, что генерирующая компания s , $s = 1, \dots, S$ работает в L узлах ЭЭС, тогда ее прибыль имеет вид

$$\pi_s(r) = \sum_{l=1}^L g_l(r_l) \tilde{x}_l - C_s \left(r, \sum_{l=1}^L \tilde{x}_l \right), \quad (7)$$

где $C_s \left(r, \sum_{l=1}^L \tilde{x}_l \right)$ – издержки генерирующей компании s в зависимости от показателя надежности r и $\tilde{x}_l(r)$. Потребуем выполнения условия

$$C_s \left(\underline{r}, \sum_{l=1}^L \tilde{x}_l \right) < g(\underline{r}).$$



Максимизация прибыли ГК

• Каждая генерирующая компания s , $s = 1, \dots, S$ решает задачу максимизации прибыли по показателю надежности r

$$\pi_s(r) \rightarrow \max_r, \quad (8)$$

$$\underline{r} \leq r \leq \bar{r}. \quad (9)$$

• Множество допустимых решений задачи компактно, следовательно, задача имеет решение. Решением задачи (8), (9) будет значение показателя надежности, которое может обеспечить данная компания для максимизации своей прибыли.

Моделирование поведения сетевой компании

• На цену спроса влияет сетевая составляющая. Для каждого варианта развития ЭЭС известны издержки, необходимые на передачу. В разрабатываемой методике прибыль сетевой компании не определяется. Это обуславливается привычной структурой рынка, где сетевые компании выделяются в естественно-монопольный сегмент и регулируются государством. Прибыль такой компании может считаться нулевой (нормальной).



Выбор наилучшего варианта развития ЭЭС

- В результате анализа надежности вариантов развития ЭЭС можно сопоставить уровень балансовой надежности, прибыли действующих компаний и затраты на передачу. Исследуемый вариант развития ЭЭС признается эффективным, если все генерирующие компании выбирают достаточный уровень надежности, который удовлетворяет потребителя. При этом оценивается уровень общественного благосостояния.

Экспериментальные исследования



Схема ЭЭС,
состоящая из 5 узлов и 5
связей.

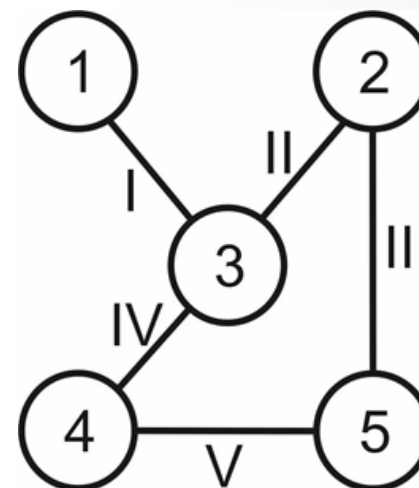


Таблица I. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИССЛЕДУЕМОЙ ЭЭС

Номер узла	Суммарная мощность в узле, МВт	Абсолютный максимум нагрузки, МВт	Номер связи	Количество ЛЭП в связи	Длина, км
1	500	700	I	2	200
2	1000	700	II	2	100
3	1400	1300	III	1	300
4	1000	1000	IV	2	200
5	1200	1100	V	2	300
Система	5100	4800			



Варианты развития ЭЭС

Для демонстрации разрабатываемой методики предлагается рассмотреть 3 возможных варианта развития тестовой ЭЭС:

- установка 1 агрегата мощностью 100 МВт в узле №1;
- установка 2 агрегатов мощностью 100 МВт в узле №1;
- установка 1 агрегата мощностью 100 МВт в узле №1 и расширение пропускной способности связи I на 135 МВт (строительство ЛЭП).
 - Издержки: КЭС на газе (1 кВт - 1000 у.е.), 1км ЛЭП - 3.6 у.е. на 1 кВт.
 - Коэффициент приведения 0,065 (возврат за 15 лет)

Потребители однородны и имеют одинаковые предпочтения. функция спроса:

$$p = 6845 - 0.81 \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i.$$

Расчеты прибыли проводились для одной генерирующей фирмы. Функция издержек:

$$\pi = g \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i - 0.08 \left(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \right)^2 - 50 \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i.$$

Результаты расчетов



В табл.2 приведены результаты расчетов по вариантам развития ЭЭС при $N = 10000$.

Таблица II. Результаты анализа вариантов развития ЭЭС

Конфигурация ЭЭС	P	MD	$\sum_{i=1}^n \tilde{y}_i$	p
Исходная	0.965	1.44	3560	3928.83
1	0.994	0.18	3563	3928.81
2	0.999	0.05	3566	3928.81
3	0.999	0.00	3560	3928.72

Результаты расчета для двух типов потребителей



При $m=20$ потребители требуют высокую надежность $g_i(r_i) = (r_i)^m p_i(\tilde{y}_i)$

При $m=0,2$ потребители согласны на невысокую надежность

Таблица III. Результаты анализа вариантов развития ЭЭС при $m = 0.2$

Конфигурация ЭЭС	g	Прибыль	Благосостояние
Исходная	3905	12673540	12970983
1	3925	6257528	6560656
2	3928	-224835	81487
3	3933	6272965	252490

Таблица IV. Результаты анализа вариантов развития ЭЭС при $m = 20$

Конфигурация ЭЭС	g	Прибыль	Благосостояние
Исходная	1351	3580553	3877995
1	3281	3961147	4264275
2	3928	-224835	81487
3	3933	6272965	252490

Заключение



- Разработан новый подход к оптимизации надежности ЭЭС в рыночных условиях
- Методика апробирована на тестовой схеме ЭЭС
- Для развития подхода необходима конкретизация роли сетевых компаний, проведение обширного вычислительного эксперимента, рассмотрение и сравнение разных моделей поведения потребителя

Спасибо за внимание