

УДК 338.001.36

## **АЛГОРИТМ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЦЕНУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**А.Ю. Амелина**

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

Предлагается алгоритм подготовки исходной информации, необходимой для построения максимального графа связей, описывающего влияние различных факторов на цену электроэнергии в конкурентном секторе электроэнергетического рынка – на «рынке на сутки вперед» (РСВ), с использованием методов статистической обработки информации.

**Ключевые слова:** *методы экспертных оценок, «рынок на сутки вперед», ранжирование, парное сравнение.*

Существует достаточно большое количество экспертных методов, имеющих специфическую область применения [4, с. 64]. Наиболее простым методом является метод простого ранжирования. Данный метод предполагает расположение объектов в порядке возрастания или убывания какого-либо присущего им свойства. В том случае, когда необходимо установить предпочтение объектов по их отношению друг к другу, прибегают к парным сравнениям. Непосредственную оценку можно произвести путем определения диапазона изменения количественных характеристик объекта в пределах заданных интервалов. Одним из наиболее распространенных методов данной группы является метод Дельфи. Метод Дельфи позволяет получить количественные характеристики анализируемого явления и заключается в проведении серий опросов экспертов с помощью специально разработанных анкет. Количество этапов анкетирования экспертов зависит от меры согласованности мнений экспертов. Помимо участия экспертов метод Дельфи предполагает работу группы аналитиков, включающую в себя разработку опросных анкет, обработку получаемых ответов, а также обеспечение экспертов необходимой информацией. В том случае, если мера согласованности мнений экспертов недостаточна, эксперты должны быть ознакомлены с обработанными аналитиками данными об усредненном мнении экспертной группы, после чего анкетирование проводится заново. При этом строго соблюдается принцип анонимности. В результате проводится несколько туров до тех пор, пока величина разброса оценок не будет находиться в рамках заранее устанавливаемого желаемого интервала варьирования оценок. В итоге получается довольно точная групповая оценка [1, с. 111, там же, с. 125]. В том случае, когда получение мнения экспертов о точных количественных характеристиках объекта не требуется, прибегают к балльным оценкам, предполагающим установление предпочтения объектов с помощью шкалы балльных оценок, например, от 0 до 10.

Как известно, наличие корреляционной зависимости не всегда свидетельствует о непосредственном влиянии одного фактора на другой [3, с. 21]. Для

проведения более точного анализа, позволяющего установить непосредственное влияние факторов друг на друга, можно воспользоваться методами теории графов. Для проведения причинно-следственного анализа все связи следует разделить на две группы: прямые связи и связи сопутствия. При этом под прямым влиянием понимается непосредственное влияние одного фактора на другой, а под сопутствующей связью – влияние одного фактора на другой через третий. В результате применения математических алгоритмов можно получить минимальный граф, а часть сопутствующих связей отбросить как менее значимую. Особенно это актуально при построении модели прогнозной цены рынка электроэнергии, необходимой для организации эффективной системы планирования на предприятии. При этом следует учитывать специфические отраслевые особенности формирования цены на рынке электроэнергии и взаимодействия участников рынка.

Основу энергосистемы составляют потребители и поставщики, объединенные между собой сетью, по которой передается электроэнергия. В роли потребителей выступают население и предприятия, а в роли поставщиков, производителей электроэнергии – генерирующие компании. Сеть состоит из множества узлов поставки. Конкретные условия поставки в каждом узле разные, поэтому цены в узлах также отличаются. Однако между узлами возможен переток мощности. В связи с этим в достаточно изолированной энергосистеме узловые цены на одном напряжении при отсутствии существенных системных ограничений не сильно отличаются между собой, поскольку предложение в узлах формируют одни и те же станции. Существует другая особенность электроэнергии как товара. Электроэнергия должна быть потреблена в момент производства. Отсюда возникает необходимость в балансировании объемов производства и потребления электроэнергии. Для балансирования объемов производства и потребления в режиме реального времени требуется участие Системного оператора на балансирующем рынке. Системный оператор также для обеспечения надежности работы энергосистемы за неделю до проведения торгов определяет состав включенного генерирующего оборудования на основании заявок поставщиков. И, наконец, за сутки до реальной поставки Коммерческий оператор проводит торги с помощью двустороннего аукциона покупателей и продавцов, по результатам которого и определяется цена электроэнергии.

Для участия в аукционе продавцы и покупатели одновременно подают заявки. В заявках указываются желаемые объемы электроэнергии и соответствующие им цены. Далее заявки продавцов ранжируются по возрастанию, а заявки покупателей по убыванию цен. Образуются кривые спроса и предложения. Точка пересечения кривых образует равновесную цену на уровне самой дорогой заявки со стороны предложения, принятой рынком. По результатам двустороннего аукциона также определяются плановые объемы продаж и потребления электроэнергии.

В результате выбор ключевых факторов, влияющих на цену рынка, требует построения сложной системы их взаимосвязи.

С помощью методов статистической обработки данных составим граф [3, с. 20], описывающий взаимосвязь факторов, влияющих на равновесную цену РСВ. Наиболее распространенный метод Дельфи в данном случае не может быть

использован, поскольку нет необходимости в определении абсолютных значений анализируемых величин, требующих согласования мнений экспертов.

Процесс подготовки информации для определения состава и взаимосвязи факторов требует оснований [6, с. 58]. В нашем случае экспертиза включает следующие этапы.

Этап 1. Выявление факториальных признаков, оказывающих существенное влияние на формирование процесса ценообразования на РСВ.

На первом шаге этого этапа каждый эксперт должен сформулировать существенные, с его точки зрения, факторы, влияющие на формирование цены на РСВ. У каждого эксперта, естественно, самые разнообразные представления о том, что такое эффективность принимаемых решений. Именно эти разнообразные представления необходимо выявить в ходе экспертизы.

Для выявления различных признаков эффективности была сформулирована группа из четырех экспертов. От каждого эксперта был получен список наиболее существенных, с его точки зрения, факториальных признаков.

На втором шаге первого этапа осуществляется обработка полученных экспертных листов. Выясняется полный список факторов, названных всеми экспертами. В этом списке ликвидируется дублирование. На основании всех полученных от экспертов листов составляется единая таблица (табл. 1).

Таблица 1

Состав факторов методом простого ранжирования

№ п/п	Наименование факторов	Распределение голосов экспертов				Итого
		1	2	3	4	
1	Цены продавцов	1	1	1	1	4
2	Объемы продавцов	1	1	1	1	4
3	Регулирование СО	1	1	1	1	4
4	Объем резерва	1	1	1	1	4
5	Объем ремонта	1	1	1	1	4
6	Кривая предложения	1	1	1	1	4
7	Цены покупателей	1	1	1	1	4
8	Объемы покупателей	1	1	1	1	4
9	Кривая спроса	1	1	1	1	4
10	Себестоимость	1	1	1	1	4
11	Цена топлива	1	1	1	1	4
12	Расход топлива	1	1	1	1	4
13	Тип покупателя	1	1	1	1	4
14	Объем потребления	1	1	1	1	4
15	Время года	1	1	1	1	4
16	Час суток	1	1	1	1	4
17	Уровень производства	1	0	1	1	3
18	Маневренность станций	1	1	1	0	3
19	Предельный уровень регулируемой цены	1	0	1	1	3
20	Ограничения ФАС	1	1	0	1	3
21	КИУМ	1	0	0	1	2
22	Наличие ГЭС, АЭС	1	0	1	0	2
23	Структура производителей	0	0	1	1	2
24	Наличие ценопринимания	0	0	0	1	1
25	Тип продавца	1	0	0	0	1

В таблице все признаки записываются по приоритету – первыми идут признаки, названные всеми экспертами, затем те, которые названы решающим большинством экспертов (обычно 75% от общего числа). В дальнейшем все они определяются как рабочие признаки.

Результатом первого этапа экспертизы является формирование на основе данных, полученных от экспертов, состава существенных признаков (факторов), влияющих на процесс ценообразования на РСВ.

Этап 2. Определение приоритетности (весовых функций) факториальных признаков.

На втором этапе каждый эксперт получает набор рабочих признаков, значимость которых (важность, приоритетность) ему предстоит оценить. Предполагается, что все эксперты проводят оценки независимо друг от друга.

Существует множество различных методов оценки значимости факториальных признаков. В статье используется метод попарных сравнений, который позволяет с высокой степенью достоверности оценивать как количественные, так и качественные факторы. Он особенно эффективен в тех случаях, когда требуется определить степень предпочтения одного фактора над другим.

Для проведения парных сравнений выбрана шкала отношений (табл. 2), которая теоретически доказала свою эффективность и правомочность во многих приложениях [1, с. 87].

Таблица 2

Целочисленная шкала отношений (степени значимости свойств, событий и т.д.)

Степень значимости	Описание
1	Одинаковая значимость
3	Незначительное преобладание значимости одного фактора над другим (слабая значимость)
5	Существенная или сильная значимость
7	Очевидная или очень сильная значимость
9	Абсолютная значимость
2,4,6,8	Промежуточные значения между двумя соседними суждениями
Обратные значения приведенных выше ненулевых величин	Если фактору $i$ при сравнении с фактором $j$ приписывается одно из определенных выше ненулевых чисел, то фактору $j$ при сравнении с фактором $i$ приписывается обратное значение

При использовании данной шкалы эксперт должен оценить важность одного объекта перед другим в диапазоне от 1 до 9. Если данный объект менее значим, берутся обратные значения чисел из данного диапазона.

Когда оценочное суждение колеблется между несколькими близкими по значению вариантами и разница между объектами едва уловима, следует использовать шкалу с меньшим диапазоном. Однако следует иметь в виду, что точность получаемых экспертных оценок в таком случае теряется.

Парные сравнения описываются в терминах доминирования одного объекта над другим. Заполнение квадратной матрицы попарного сравнения

можно проводить следующим образом: в таблице, представленной матрицей  $n \times n$ , где по строкам и столбцам расположены факториальные признаки, полученные на этапе 1.

В матрице имеется 441 поле. Двадцать одно из них уже определено, а именно те, которые находятся на диагонали и равны единице, т. к. любой фактор имеет одинаковую значимость по отношению к самому себе.

Для оставшихся после заполнения диагонали 420 чисел нужно провести 210 сравнений, т. к. остальные 210 являются обратными сравнениями и их оценки должны быть обратными величинами к оценкам первых 210. Если, например, фактор  $X_2$  доминирует над фактором  $X_5$ , то клетка матрицы, соответствующая строке  $X_2$  и столбцу  $X_5$ , заполняется целым числом, а клетка, соответствующая строке  $X_5$  и столбцу  $X_2$ , заполняется обратным к нему числом. Если факторы равнозначны, то в обе позиции матрицы ставятся единицы [1, с. 119].

При заполнении матрицы эксперт сначала определяет, какой из двух сравниваемых факторов более значим, а потом – какова степень этой значимости.

На следующем шаге осуществляется вычисление вектора приоритетности (весовых функций). В математических терминах это вычисление главного собственного вектора, который после нормализации становится вектором весовых функций.

Учет мнений всех экспертов можно осуществить простым усреднением соответствующих элементов весовых функций, например, средняя геометрическая величина, как наиболее объективно отражающая тенденцию динамики различных показателей. Схема определения итоговой весовой функции факториальных признаков представлена в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

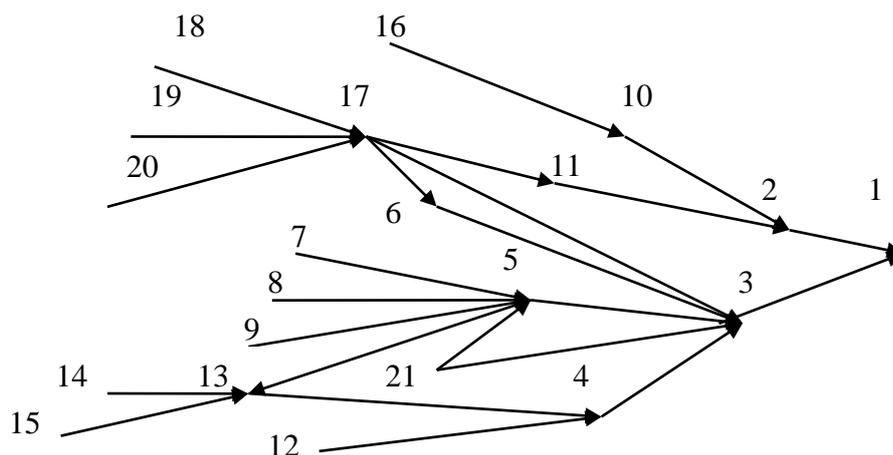
Итоговая матрица парного сравнения факторов на основе мнений четырех экспертов

	1	2	3	4	...	19	20	21	Сумма баллов	Весовая функция
1	1,0	0,1	0,1	0,1	...	0,1	0,1	0,2	3,635	0,004
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	6,9	0,2	0,1	0,2	...	1,0	1,0	0,2	15,824	0,018
21	6,4	0,2	0,3	0,3	...	5,0	5,0	1,0	51,756	0,059
Итого									877,293	1

Этап 3. Формирование матрицы причинно-следственных связей факториальных признаков.

ЛПР самостоятельно формирует матрицу взаимосвязей факториальных признаков (граф непосредственных связей), опираясь на хорошее согласование своего представления о структуре факториальных признаков с результатами проведенной экспертизы.

Взаимосвязь характеристик, влияющих на равновесную цену РСВ, представлена на рисунке.



1. Равновесная цена. 2. Кривая спроса. 3. Кривая предложения. 4. Цены продавцов.
5. Объемы продавцов. 6. Регулирование СО. 7. Объем резерва. 8. Объем ремонта.
9. Ограничения ФАС. 10. Цены покупателей. 11. Объемы покупателей.
12. Предельный уровень регулируемой цены. 13. Себестоимость. 14. Цена топлива.
15. Расход топлива. 16. Тип покупателя. 17. Объем потребления. 18. Время года.
19. Час суток. 20. Уровень производства. 21. Маневренность станций.

Факторы, влияющие на цену РСВ (автор – А.Ю. Амелина)

Существует достаточно большое количество экспертных методов, имеющих свою специфическую область применения [5, с. 3]. Для разработки графа, описывающего взаимосвязь факторов, наиболее целесообразно применение методов простого ранжирования и парного сравнения. В статье для выявления максимально возможного количества взаимосвязей факторов предлагается алгоритм подготовки исходной информации для проведения экспертной оценки.

### Список литературы

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
2. Орлов А.И. Экспертные оценки [Электронный ресурс]. М., 2002. URL:<http://www.studfiles.ru/preview/594478/> (дата обращения: 05.04.2017).
3. Бородкин. Ф.М. Статистическая оценка связей экономических показателей. М.: Статистика, 1968. 203 с.
4. Стивен С. Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии. М. : Мир, 2006. 623 с.
5. Баумоль У. Дж. Состязательные рынки: мятеж в теории структуры отрасли // Вехи экономической мысли. Т. 5. Теория отраслевых рынков. СПб. : Экономическая школа, 2003. С. 110–140.

## **ALGORITHM OF EXPERT EVALUATION FOR DETERMINING KEY FACTORS INFLUENCING THE PRICE OF ELECTRICITY**

**A.Y. Amelina**

National Research University "MPEI", Moscow

The article proposes an algorithm for preparing the initial information necessary for constructing the maximum relationships graph that describes the influence of various factors on the price of electricity in the competitive sector of the electricity market – in the "twenty four hours ahead market", using statistical information processing methods.

**Keywords:** *expert assessments methods, "twenty four hours ahead market", ranking, pair comparison.*

*Об авторе:*

АМЕЛИНА Анна Юрьевна – доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», e-mail: amel-anna@yandex.ru

*About the author:*

AMELINA Anna Jur'evna – candidate of Economic Sciences, Associate Professor, National Research University "MPEI", e-mail: amel-anna@yandex.ru

### **References**

1. Anfilatov V.S., Emel'janov A.A., Kukushkin A.A. *Sistemnyj analiz v upravlenii*. M.: Finansy i statistika, 2002. 368 s.
2. Orlov A.I. *Jekspertnye ocenki [Jelektronnyj resurs]*. M., 2002. URL:<http://www.studfiles.ru/preview/594478/> (data obrashhenija: 05.04.2017).
3. Borodkin. F.M. *Statisticheskaja ocenka svjazej jekonomicheskikh pokazatelej*. M.: Statistika, 1968. 203 s.
4. Stiven S. *Jekonomika jenergosistem. Vvedenie v proektirovanie rynkov jelektrojenergii*. M. : Mir, 2006. 623 s.
5. Baumol' U. Dzh. *Sostjazatel'nye rynki: mjatezh v teorii struktury otrasli // Vehi jekonomicheskoy mysli. T. 5. Teorija otraslevyh rynkov*. SPb. : Jekonomicheskaja shkola, 2003. S. 110–140.