УДК 519.81 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-2-89-96

Размещение тепловой электростанции в районе с децентрализованным электроснабжением с учетом многих критериев

П.С. Панкратьев

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
scud33@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0002-0921-7842
Статья поступила 18.03.2018, принята 20.04.2018

В статье рассматриваются задачи, связанные с принятием решений по размещению электростанций. Один из этапов, выбор пункта размещения, наиболее сложен ввиду влияния таких факторов, как многокритериальность, высокая степень неопределенности информации, слабая структурированность. Особенно усложняет выбор пункта размещения необходимость предварительного принятия решений по дальнейшим вопросам, таким как выбор площадки и мощности станции. Для определения лучшего пункта размещения электростанции формулируется многокритериальная задача с выделением двух уровней альтернатив — пунктов размещения и вариантов реализации электростанции. Ввиду того, что условия анализа альтернатив двух уровней отличаются, предложено применить два метода многокритериального анализа. Предложена методика двухуровневого многокритериального анализа альтернатив с использованием метода многокритериальной теории полезности и метода анализа иерархий. Приводится пример выбора пункта размещения тепловой электростанции (ТЭС) в районе с децентрализованным электроснабжением. С этой целью определяются цели и критерии задачи выбора на двух уровнях анализа. Приводится описание критериев, характеризующих цели, а также описание каждого пункта размещения ТЭС. Также уделено внимание применению метода многокритериальной теории полезности для случая определения однокритериальной функции ценности немонотонного вида в контексте поиска «оптимальной» мощности тепловой электростанции. В данном случае лицо, принимающее решение, назначает оценку ценности каждому варианту мощности на основе имеющейся информации о существующих и перспективных нагрузках. Далее осуществляется анализ с применением метода AHP (Analytic Hierarchy Process, метод анализа иерархий), приводятся матрицы парных сравнений альтернатив и критериев. В завершение обсуждаются полученные результаты, рассматривается влияние отдельных факторов на результат сравнения.

Ключевые слова: многокритериальный анализ; многокритериальная теория полезности; метод анализа иерархий; размещение электростанции.

Location of a thermal power plant in a district with decentralized electricity supply taking into account many criteria

P.S. Pankratiev

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia
scud33@inbox.ru
https://orcid.org/0000-0002-0921-7842
Received 18.03.2018, accepted 20.04.2018

The article deals with the tasks associated with making decisions on the location of power plants. One of the stages, the choice of the location, is the most difficult due to the influence of such factors as multicriteria, high degree of uncertainty of information, weak structuredness. Particularly complicating the choice of the location is the need for preliminary decision-making on further issues, such as site selection and station capacity. To determine the best location of the power plant, a multicriterial task is formulated with the identification of two levels of alternatives - location and options for the implementation of the power plant. In view of the fact that the conditions for analyzing alternatives of the two levels differ, it is proposed to apply two methods of multicriteria analysis. A two-level multicriteria analysis of alternatives is proposed using the multi-criteria utility theory method and the hierarchy analysis method. An example of choosing a location for a thermal power plant (TPP) in an area with decentralized electricity supply is given. For this purpose, the goals and criteria of the choice task are determined on two levels of analysis. A description of the criteria characterizing the objectives, as well as a description of each TPP location, is given. Attention is also paid to the application of the multicriterion utility theory method to the case of determining a one-criterion value function of a nonmonotonic species in the context of searching for the "optimal" capacity of a thermal power plant. In this case, the decision-maker assigns an estimate of the value to each capacity option on the basis of available information on existing and prospective loads. Further analysis is performed using the AHP (Analytic Hierarchy Process) method, matrices of pair comparisons of alternatives and criteria are given. In conclusion, the results are discussed, the influence of individual factors on the result of the comparison is considered.

Keywords: multi-attribute analysis; multi-attribute utility theory; analytic hierarchy process; power plant location.

Введение

Согласно Энергетической стратегии России на период до 2030 года и Схеме территориального планирования Российской Федерации в области энергетики, в ближайшие годы планируется значительный объем строительства электростанций [1, 2].

Выбор места размещения электростанции является сложной комплексной задачей, решение которой должно учитывать множество факторов. В работах [3–7] приведены результаты предынвестиционных исследований по размещению гидроэлектростанции в условиях многокритериальности на основе разработанной методики двухуровневого многокритериального анализа альтернатив, дается обоснование использования указанной методики.

Особенностью задачи двухуровневого выбора места (пункта) размещения электростанции является различная степень детализации информации по критериям на первом и втором уровнях анализа [5–7]. При оценке альтернатив на первом уровне превалируют критерии с качественным измерением, при оценке на втором — с количественным измерением.

Методика анализа альтернатив. Дадим краткое описание разработанной с участием автора методики [3–7]. Сначала формируется иерархия целей и критериев с выделением двух уровней анализа.

Методом MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*, многокритериальная теория полезности) на втором уровне анализа предварительно оцениваются варианты реализации электростанции в каждом пункте (например, площадки, мощности); при этом проверяются условия применимости метода, определяются однокритериальные функции ценности, шкалирующие коэффициенты, а также вид многокритериальной функции ценности. В результате определяются лучшие варианты реализации электростанции при учете многих критериев.

Далее на первом уровне анализа пункты сравниваются методом AHP (*Analytic Hierarchy Process*, метод анализа иерархий) в предположении, что именно лучшие варианты будут реализованы. Лучшим признается пункт размещения с наибольшей многокритериальной оценкой.

Анализ района размещения электростанций и подготовка исходных данных для применения методики. Тепловые электростанции (ТЭС) на сегодняшний день являются наиболее распространенным типом электростанций в России [8]. Ввиду большого количества разведанных и разрабатываемых месторождений каменного и бурого углей ожидается, что строительство таких электростанций будет продолжено [1, 2].

Для проведения исследования был выбран район с децентрализованным электроснабжением в Момском улусе (Республика Саха (Якутия)) (рис. 1), где намечены три пункта строительства ТЭС (П1 – П3) вблизи от р. Индигирка. Дадим разъяснения по каждому из намеченных пунктов.

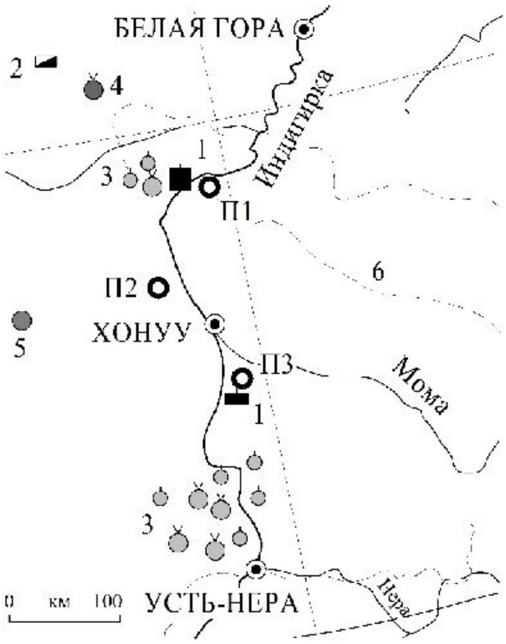

Рис. 1. Ситуационный план района размещения: 1 — месторождения каменного угля; 2 — месторождение бурого угля; 3 — месторождение золота; 4 — месторождение олова; 5 – месторождение драгоценных цветных камней; 6 — перспективная нефтегазовая область

Пункт П1 намечен между пос. Хонуу и Белая Гора по следующим причинам. Во-первых, поблизости расположены три разрабатываемых месторождения каменного угля, что позволяет использовать местный уголь на построенной станции. Во-вторых, все три пункта намечены в Зырянском угленосном бассейне, где в перспективе потребуется производить добычу угля, требующую дополнительной мощности. В-третьих, имеются небольшие запасы золота, пункт П1 расположен вблизи нескольких россыпных узлов. В-четвертых, пункт расположен вблизи месторождений цветного металла — олова. В этой связи может понадобиться дополнительная мощность для освоения и добычи полезных ископаемых. Кроме того, в перспективе мощность может использоваться для обеспечения потребностей жителей прилегающих населенных пунктов.

Пункт П3 намечен между п. Хонуу и богатейшими месторождениями золота, как перспективными, так и уже разрабатывающимися. Пункт расположен «на борту» угольного разреза, что решает проблему поставки топлива на станцию. Перспективу пункта также определяет планируемое строительство стратегической железнодорожной линии Якутск — Мома — Магадан. Учитывая, что от пос. Хонуу р. Индигирка судоходна, в перспективе поселок может стать крупным транспортным узлом.

Пункт П2 намечен как промежуточный вариант между пунктами П1 и П3 с целью повлиять на развитие двух регионов сразу. На 100 км западнее пункта П2, кроме того, имеется месторождение драгоценных цветных камней.

Формирование иерархии целей и критериев. Для проведения анализа необходимо определить цели и критерии задачи, построив соответствующую иерархию. При ее построении используются критерии, позволяющие наиболее полно оценить имеющиеся альтернативы. При этом, при необходимости, перечень критериев может быть расширен или наоборот сужен в зависимости от требуемой степени детализации поставленной задачи. Также необходимо отметить, что добавление критериев в иерархию имеет смысл лишь в том случае, если оценки для каждого пункта по данному критерию отличаются. Если отличий с определенной степенью приближения нет, добавлять таковые критерии нет необходимости, поскольку в данном случае все пункты относительно данного критерия оказываются в равных условиях, и критерий может быть исключен.

Рассмотрим пример выбора пункта размещения ТЭС в предынвестиционной фазе в условиях определенности, используя разработанную с участием автора методику. Пример иерархии целей и критериев для задачи выбора пункта размещения тепловой электростанции представлен на рис. 2.

Рис. 2. Иерархия целей и критериев задачи выбора пункта размещения ТЭС

Дадим разъяснения по данной иерархии. Цель «Минимизация экономического воздействия/максимизация экономического эффекта» характеризуется тремя критериями. Первый — «Установленная мощность ТЭС». На уровне оценки вариантов станции (вариантов мощности) наивысший балл будет присвоен площадке, имеющей наиболее «оптимальную» мощность с точки зрения имеющейся и перспективной производственной, хозяйственной, жилищной и транспортной инфраструктуры.

Второй критерий — «Стоимость строительства ТЭС». Площадка (или пункт) получит наивысший балл, если стоимость строительства будет наименьшей.

Третий критерий — «Условия строительства»: чем благоприятнее будут условия строительства в районе, тем выше будет оценка у альтернативы. Под условиями строительства подразумевается наличие транспортной (авто- и железные дороги, аэродромы, речные пути, морские порты и т. п.), хозяйственной (здания, сооружения, жилые поселки) и другой инфраструктуры, могущей привлекаться при строительстве объекта, что избавляет от необходимости ее возведения. На выбор альтернативы оказывает влияние и наличие строительного обеспечения — материалов, предприятий стройиндустрии. Близость к станции населенных пунктов уменьшает проблему подбора работников, а также сокращает расходы на обеспечение квалифицированными кадрами [9].

Цель «Минимизация экологического воздействия» характеризуется критерием «Воздействие на растительный и животный мир». При строительстве ТЭС неизбежно сменится микроклимат в районе, что может привести к пагубным последствиям для растений и животных. Негативное воздействие может быть выявлено, например, по специальным картам, на которых отмечены заповедные территории, территории обитания редких видов животных, растений. Чем меньшее влияние размещаемая ТЭС оказывает на жизнь животных и растений, тем выше будет оценка по критерию.

Цель «Минимизация социального воздействия» характеризуется критерием «Мнение заинтересованных групп людей». При строительстве любого энергетического объекта необходимым условием является учет мнения различных групп заинтересованных лиц (группы лиц, чьи интересы лежат в плоскости охраны окружающей среды и защищенности коренного населения, группы деловых людей, группы лиц — потребителей будущей энергии и т. п.). Оценка по критерию будет наивысшей, если пункт строительства станции имеет наименьшую степень недовольства групп заинтересованных лиц.

Цель «Максимизация социально-экономического воздействия» характеризуется критерием «Оценка перспектив развития района». Размещаемая ТЭС должна в наибольшей степени обеспечивать развитие района с учетом перспективных нагрузок. Для назначения оценок по этому критерию могут быть привлечены различные картографические материалы, например, с обозначением на них жилых поселков, городов, промышленных и градообразующих предприятий и т. п. Чем большее количество объектов будет находиться в зоне развития, тем выше оценка альтернативы по критерию.

Цель «Минимизация сейсмической активности» характеризуется критерием «Балльность по шкале MSK-64». Неоспоримой является важность учета такого фактора, как сейсмическая активность, особенно когда строительство тепловой станции планируется в сейсмически активных районах. В общем случае в каждом пункте строительства может быть отличная друг от друга сейсмическая активность, которая уже при детальных проектно-изыскательских работах должна быть уточнена с использованием материалов, проб, данных, полученных непосредственно на месте предполагаемого строительства. На предынвестиционной же стадии анализа такую активность можно оценить, используя специальные карты сейсмической активности, на которых отображено зонирование территории по степени сейсмической активности и каждой такой зоне присвоен соответствующий балл. Оценка по критерию примет наивысшее значение, если пункт будет расположен в наименее сейсмически активном районе.

Обобщенный алгоритм действий при применении метода MAUT. В соответствии с методикой [5–7] на первом этапе проводится анализ площадок (вариантов, мощностей станций) на втором уровне анализа на основе метода многокритериального анализа MAUT [10–12]. Согласно этому методу предстоит следующий порядок действий. Сначала производится проверка условий-аксиом, при выполнении которых может быть получена многокритериальная функция полезности в аддитивном (1) или мультипликативном (2) виде [10, 11]:

$$u(y) = u(y_1, y_2, ..., y_n) = \sum_{i=1}^{n} k_i u_i(y_i), \qquad (1)$$

$$ku(y) + 1 = ku(y_1, y_2, ..., y_n) + 1 = \prod_{i=1}^{n} [kk_i u_i(y_i) + 1]. \qquad (2)$$

где $u_i(y_i)$ — однокритериальная функция полезности; y_i — исход (оценка) альтернативы по критерию i; k, k_i — шкалирующие коэффициенты.

Если рассматривается выбор в условиях определенности, функцию полезности $u(y)$ называют функцией ценности $v(y)$. Выполнение условия взаимной независимости критериев по предпочтению позволяет получить многокритериальную функцию ценности (МФЦ) в аддитивном виде (3) [10, 11]:

$$v(y) = v(y_1, y_2, ..., y_n) = \sum_{i=1}^{n} k_i v_i(y_i), \qquad (3)$$

где $v_i(y_i)$ — однокритериальная функция ценности.

Далее определяются однокритериальные функции ценностей по каждому критерию, шкалирующие коэффициенты (коэффициенты важности критериев) и в заключение — МФЦ, определяющая важность каждой альтернативы второго уровня (АВУ).

Определение однокритериальных функций ценности и шкалирующих коэффициентов. Однокритериальные функции ценностей для двух критериев (К1, К2), определенные с учетом мнений экспертов и лица, принимающего решение (ЛПР), приведены на рис. 3.

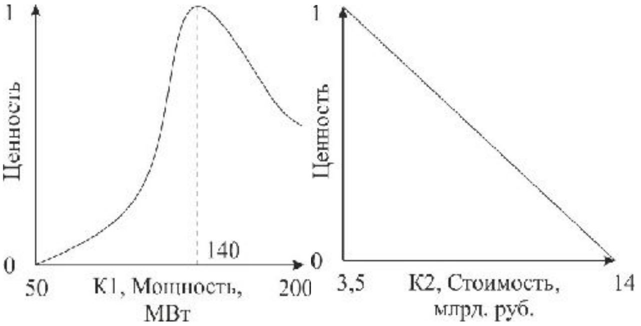

Рис. 3. Однокритериальные функции ценностей

Стоит дать пояснение к функции ценностей по критерию К1. Функция является немонотонной — сначала возрастает, а затем убывает. В связи с этим, по мнению ЛПР, в районе существует некоторая «оптимальная» мощность, которая «покроет» все существующие и, на определенный период времени, перспективные нагрузки. Этому значению мощности присвоена наивысшая ценность «1».

Характерная особенность районов с децентрализованным электроснабжением — распределенная генерация: множество потребителей, распределенных на относительно большой территории, получают энергию от своих собственных источников энергии (например, от дизельных электростанций). Совокупность таких потребителей в перспективе может получать энергию от размещаемой тепловой станции. Соединенные между собой, такие нагрузки образуют множество вариантов сетей, диапазон суммарной мощности которых варьируется в некоторых пределах. Иная ситуация возникла бы при рассмотрении района с централизованным электроснабжением, когда вместо подсчета суммы нагрузок необходимо оперировать с величиной дефицита мощности в энергосистеме.

Таким образом, варианты мощностей от 50 до 200 МВт получены в результате анализа имеющихся и перспективных нагрузок в изолированном районе и зависят от множества вариантов потребителей (нагрузок), входящих или исключенных из сети, питаемой от размещаемой электростанции в каждом отдельном пункте (такие нагрузки, как жилые дома, горно-обогатительные комбинаты, объекты хозяйственной, производственной инфраструктуры и пр.).

При построении однокритериальной функции ценностей (ОФЦ) по критерию К2 стоимость 1 МВт установленной мощности ТЭС принята равной 0,07 млрд р. [13].

Для наглядности изобразим процедуру определения шкалирующих коэффициентов с учетом особенностей критерия К1 в совмещенном с ОФЦ виде (рис. 4).

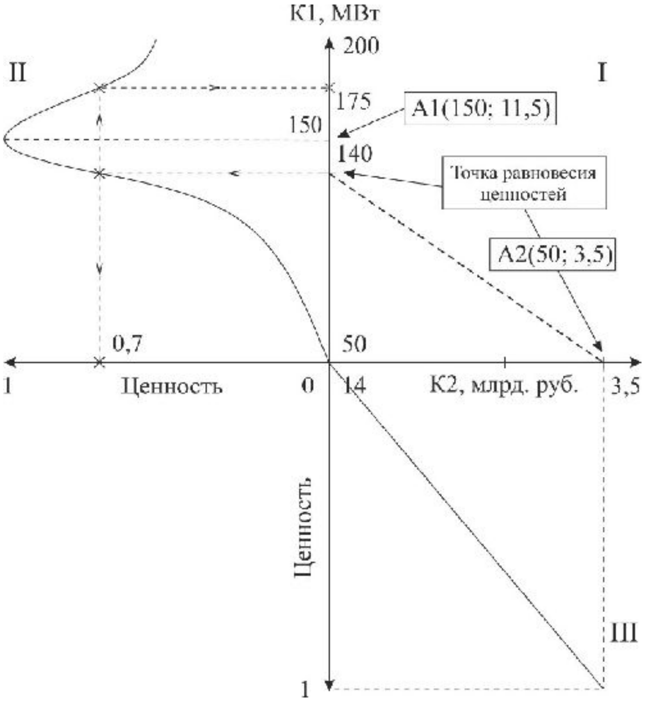

Рис. 4. Определение шкалирующих коэффициентов

При определении шкалирующих коэффициентов согласно методу шкалы по каждому критерию располагаются в направлении от худшего значения к лучшему относительно начала координат (рис. 4, квадрант I). Поскольку ОФЦ по критерию К1 имеет немонотонный вид, ЛПР было предложено избрать такое значение по критерию К1 в промежутке от 50 до 150 МВт (от 0 до 1 по ценности), чтобы достигнуть отношения безразличия в выборе между альтернативами А1 и А2 («точка равновесия ценностей»). Значение ценности 0,7, полученное таким образом, означает степень важности критерия К2 (квадрант III) по отношению к К1 (квадрант II), ценность которого равна 1. При правильном построении ОФЦ по критерию К1 значение ценности 0,7 должно совпадать для 140 и 175 МВт; это дает возможность дополнительно проверить суждения ЛПР в диапазоне мощностей от 150 до 200 МВт при определении шкалирующего коэффициента.

Многокритериальная оценка альтернатив второго уровня методом MAUT. После проверки условия взаимной независимости критериев по предпочтению, построения ОФЦ и определения шкалирующих коэффициентов [10, 11, 14] по формуле (3) определятся (МФЦ) для каждой АВУ (табл. 1).

Таблица 1

Многокритериальные оценки ценности
для каждого варианта мощности

Пункт	Мощность, *МВт*	Стоимость строительства, *млрд р.*	Ценность
П1	100	7	0,373
	135	9,45	0,548
	150	10,5	**0,726**
	180	12,6	0,453
П2	50	3,5	0,412
	110	7,7	0,381
	140	9,8	**0,618**
	170	11,9	0,573
П3	50	3,5	0,412
	125	8,75	0,437
	175	12,25	**0,513**
	200	14	0,314

Для наиболее компактного вида в таблице приведены только четыре варианта мощности по каждому пункту, включая получивший максимальную многокритериальную оценку. Ценности лучших вариантов мощности в каждом пункте выделены жирным шрифтом.

Таким образом, в каждом пункте были определены лучшие варианты мощности. Пункт П1 обладает наивысшей оценкой с точки зрения двух критериев, что объясняется высшей оценкой по критерию К1 и относительно высокой по критерию К2. Далее необходима многокритериальная оценка альтернатив первого уровня (АПУ) — пунктов размещения П1 – П3.

Многокритериальная оценка АПУ методом AHP. Согласно методике многокритериального двухуровневого анализа для этих целей предлагается использовать хорошо зарекомендовавший себя метод многокритериального анализа AHP, показавший свою эффективность при решении множества реальных проблем [15–21].

В соответствии с этим методом ЛПР попарно сравнивает имеющиеся альтернативы по критериям (К1 – К7), заполняя при этом матрицу парных сравнений (МПС), используя специальную шкалу сравнений (табл. 2).

Таблица 2

Шкала относительных сравнений

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Значительное превосходство	5
Явное превосходство	7
Абсолютное превосходство	9

Математический аппарат метода АНР предполагает выполнение следующих основных действий.

Определение собственного вектора матрицы λ = (λ_1, λ_2,…, λ_n) может проводиться по известному выражению [15; 16]:

$$\lambda_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} a_{ij}}\ , \tag{4}$$

где λ_i — элемент собственного вектора матрицы, соответствующий альтернативе или критерию i; a_{ij} — оценка шкалы парных сравнений альтернатив или критериев i и j; n — количество альтернатив или критериев.

Вес критерия w_i или альтернативы v_{ij} определяется путем нормирования элементов собственного вектора. Например, вес критерия определяется:

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}\ , \tag{5}$$

Оценки альтернатив с учетом всех критериев получают по выражению:

$$V_j = \sum_{i=1}^{n} w_i v_{ij}\ , \tag{6}$$

где V_j — показатель качества j-й альтернативы; w_i — вес i-го критерия; v_{ij} — вес j-й альтернативы по i-му критерию.

По имеющимся критериям ЛПР проводит соответствующие парные сравнения. Сравнение происходит как по важности самих критериев, так и между альтернативами по каждому критерию. Матрицы парных сравнений, полученные с учетом мнений экспертов и ЛПР, а также матрица-строка результатов сравнений пунктов представлены в табл. 3–11.

Обсуждение результатов и заключение. Таким образом, с учетом предпочтений ЛПР, лучшим для размещения ТЭС был выбран пункт П2. Анализируя данное решение, можно заключить, что наибольший вклад в него внесли критерии К1 «Установленная мощность ТЭС», К2 «Стоимость строительства ТЭС» и К5 «Мнения заинтересованных групп людей». Меньшее влияние ТЭС на окружающую среду и больший вклад ТЭС в развитие сразу двух районов также объясняет данное решение, что было учтено критериями К4 «Воздействие на растительный и животный мир» и К6 «Перспективы развития района».

Таблица 3

Матрица парных сравнений АПУ по критерию К1

Альтернатива	П1	П2	П3	**Вес**
П1	1	2	4	**0,571**
П2	0,5	1	2	**0,286**
П3	0,25	0,5	1	**0,143**

Таблица 4

Матрица парных сравнений АПУ по критерию К2

Альтернатива	П1	П2	П3	**Вес**
П1	1	0,333	4	**0,304**
П2	3	1	3	**0,575**
П3	0,25	0,333	1	**0,121**

Таблица 5

Матрица парных сравнений АПУ по критерию К3

Альтернатива	П1	П2	П3	**Вес**
П1	1	3	0,5	**0,309**
П2	0,333	1	0,2	**0,109**
П3	2	5	1	**0,582**

Таблица 6

Матрица парных сравнений АПУ по критерию К4

Альтернатива	П1	П2	П3	**Вес**
П1	1	0,2	0,333	**0,105**
П2	5	1	3	**0,637**
П3	3	0,333	1	**0,258**

Таблица 7

Матрица парных сравнений АПУ по критерию К5

Альтернатива	П1	П2	П3	**Вес**
П1	1	0,333	0,5	**0,163**
П2	3	1	2	**0,540**
П3	2	0,5	1	**0,297**

Таблица 8

Матрица парных сравнений АПУ по критерию К6

Альтернатива	П1	П2	П3	**Вес**
П1	1	3	0,5	**0,309**
П2	0,333	1	0,2	**0,109**
П3	2	5	1	**0,582**

Таблица 9

Матрица парных сравнений АПУ по критерию К7

Альтернатива	П1	П2	П3	**Вес**
П1	1	0,333	1	**0,200**
П2	3	1	3,003	**0,600**
П3	1	0,333	1	**0,200**

Таблица 10

Матрица парных сравнений критериев К1-К7

Критерий	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	**Вес**
К1	1	1	3	3	2	1	1	**0,204**
К2	1	1	2	2	1	1	1	**0,165**
К3	0,333	0,5	1	0,5	0,333	1	1	**0,081**
К4	0,333	0,5	2	1	0,5	1	2	**0,116**
К5	0,5	1	3	2	1	2	3	**0,204**
К6	1	1	1	1	0,5	1	2	**0,135**
К7	1	1	1	0,5	0,333	0,5	1	**0,095**

Таблица 11

Результаты сравнений пунктов строительства ТЭС методом AHP

Пункт	П1	П2	П3
Оценка	0,298	**0,418**	0,284

В данной статье было показано применение разработанной с участием автора методики многокритериального двухуровневого анализа пунктов размещения электростанций с использованием двух методов многокритериального анализа, MAUT и AHP, к тепловым станциям в изолированных районах с децентрализованным электроснабжением. Разработанная методика может также использоваться в указанных условиях для тепловых станций на предынвестиционной стадии анализа. В настоящей работе методика была применена без учета влияния неопределенности событий, что является целью дальнейших исследований.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года / М-во промышленности и энергетики Рос.Федеации; Ин-т энергетической стратегии М.: ГУ ИЭС, 2010. 184 с.
2. Схема территориального планирования Российской Федерации в области энергетики / Минэнерго. М., 2016. 180 с.
3. Шакиров В.А., Панкратьев П.С. Многокритериальный двухуровневый подход к выбору лучшей альтернативы в рамках слабоструктурированной проблемы // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. 2013. № 2. С. 118-127.
4. Шакиров В.А., Панкратьев П.С. Поддержка принятия решений на стадии предпроектных исследований на основе двухуровневого многокритериального анализа // Прикладная информатика. 2013.№ 6 (48) С. 111-121.
5. Шакиров В.А., Панкратьев П.С. Выбор пункта строительства электростанции в условиях риска методом анализа иерархий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 4 (44). С. 141-147.
6. Панкратьев П.С., Шакиров В.А. Двухуровневый многокритериальный анализ пунктов строительства гидроэлектростанции // Информационные технологии. 2015. Т. 21, № 5. С. 385-390.
7. Шакиров В.А., Панкратьев П.С. Методика многокритериального двухуровневого анализа пунктов размещения электростанций // Искусственный интеллект и принятие решений. 2017. № 1. С. 69-83.
8. Баринов В.А. Перспективы развития электроэнергетики России на период до 2030 г. // Кабели и провода. 2010. № 3 (322). С. 13–20.
9. Осика Л.К. Управление инвестпроектами строительства ТЭС. Прединвестиционная фаза. М.: Вершина, 2009. 344 с.
10. Keeney R. Siting Energy Facilities. Academic Press, New York, 1980. 432 p.
11. Keeney R.L., Raiffa H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. Wiley, 1976. 569 p.
12. Winterfeldt D., Fischer G.W. Multiattribute utility theory: Models and assessment procedures // Utility, probability and human decision making. Amsterdam: Reidel, 1975. P. 47–85.
13. Белобров В. Анализ динамики стоимости строительства ТЭС в мире // Энергорынок. 2009. № 11 (71). С. 64-67.
14. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989. 304 с.
15. Saaty T.L. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
16. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 1980.
17. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process // Thomas L. Saaty. Int. J. Services Sciences. 2008. Vol. 1, № 1. P. 83–98.
18. Grandzol J.R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process // IR Applications. 2005. № 6. P. 1-13.
19. Saaty T.L.,Vargas L.G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Second Edition. 2012. 343 p.
20. Saaty T.L. Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process // Management Science. 1986. Vol. 32, № 7. P. 841-855
21. Tanjim M., Mohammad S.H. An Evidential Reasoning-based Decision Support System to Support House Hunting // International Journal of Computer Applications (0975–8887) Vol. 57, № 21. November, 2012. P. 51-58.

References

1. Energy Strategy of Russia for the period up to 2030 / M-vo promyshlennosti i ehnergetiki Ros. Fedeacii; In-t ehnergeticheskoj strategii M.: GU IEHS, 2010. 184 p.
2. The Scheme of territorial planning of the Russian Federation in the field of energy / Minehnergo. M., 2016. 180 p.
3. Shakirov V.A., Pankrat’ev P.S. Multi-criteria two level approach to choosing the best alternative within semistructured problem //Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems analysis and information technologies. 2013. № 2. P. 118-127.
4. Shakirov V.A., Pankrat’ev P.S. Decision making support at the pre-feasibility study stage based on two level multi-attribute analysis //Applied informatics. 2013. № 6 (48). P. 111-121.
5. Shakirov V.A., Pankrat’ev P.S. A choice of the power plant construction site location under conditions of risk with analytic hierarchy process //Modern technologies. System analysis. Modeling. 2014. № 4 (44). P. 141-147.
6. Pankrat’ev P.S., Shakirov V.A. Two-Level Multiattribute Analysis of Hydroelectric Station Sites //Information Technology. 2015. T. 21, № 5. P. 385-390.

7. Shakirov V.A., Pankrat'ev P.S. Technique of multiattribute two-level analysis of geographic areas for power plant construction // Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij. 2017. № 1. P. 69-83.

8. Barinov V.A. Prospects for the development of the Russian electric power industry for the period up to 2030 //Cables and-wires. 2010. № 3 (322). P. 13-20.

9. Osika L.K. Management of investment projects for the construction of TPPs. Pre-investment phase. M.: Vershina, 2009. 344 p.

10. Keeney R. Siting Energy Facilities. Academic Press, New York, 1980. 432 p.

11. Keeney R.L., Raiffa H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. Wiley, 1976. 569 p.

12. Winterfeldt D., Fischer G.W. Multiattribute utility theory: Models and assessment procedures // Utility, probability and human decision making. Amsterdam: Reidel, 1975. P. 47-85.

13. Belobrov V. Analysis of construction cost of THERMAL POWER PLANTS in the world // Energorynok. 2009. № 11 (71). P. 64-67.

14. Borisov A.N., Alekseev A.V., Merkur'eva G.V. Processing of fuzzy information in decision-making systems. M.: Radio i svyaz', 1989. 304 p.

15. Saaty T.L. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh, 1996.

16. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 1980.

17. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process // Thomas L. Saaty. Int. J. Services Sciences. 2008. Vol. 1, № 1. P. 83-98.

18. Grandzol J.R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process // IR Applications. 2005. № 6. P. 1-13.

19. Saaty T.L., Vargas L.G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Second Edition. 2012. 343 p.

20. Saaty T.L. Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process // Management Science. 1986. Vol. 32, № 7. P. 841-855

21. Tanjim M., Mohammad S.H. An Evidential Reasoning-based Decision Support System to Support House Hunting // International Journal of Computer Applications (0975-8887) Vol. 57, № 21. November, 2012. P. 51-58.