

ЭНЕРГЕТИКА

Соснина Е.Н., Филатов Д.А.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

ВЫБОР ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ВИЭ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

sosnyna@yandex.ru

Рассмотрены вопросы сравнительного анализа и выбора энергоустановок (ЭУ) на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), основанные на многокритериальном подходе. Описана новая методика выбора оптимального варианта ЭУ на ВИЭ по совокупности эксплуатационно-технологических параметров и приведен пример ее реализации.

Ключевые слова: энергоустановки на возобновляемых источниках энергии, сравнительный анализ, выбор оптимального варианта.

Введение. Устойчивое функционирование и развитие сельскохозяйственных предприятий (СХП) России во многом определяется энергоэффективностью их систем электроснабжения. Вовлечение в электротехнические комплексы СХП возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволит повысить надежность и качество электроснабжения, снизить энергоемкость производства продукции за счет уменьшения затрат на покупку электроэнергии и углеводородных энергоресурсов, улучшить экологическую обстановку [1]. При этом, важной задачей является выбор оптимального варианта энергоустановок (ЭУ) на ВИЭ, сочетающих наилучшие эксплуатационно-технологические параметры и определяющих, в конечном счете, энергоэффективность проектируемой системы электроснабжения СХП.

Методология. Каждый вид ЭУ на ВИЭ (солнечные, ветровые, биогазовые и др.) отличается совокупность параметров, определяющих эффективность эксплуатации оборудования. Важной задачей на этапе проектирования электротехнических комплексов (ЭТК) СХП является выбор наилучшего варианта ЭУ среди предлагаемых альтернатив различных фирм произ-

водителей. При этом, необходимо учитывать максимальное количество факторов, влияющих на эффективность ЭУ, что требует серьезного аналитического подхода. Для принятия максимально объективного решения анализ должен быть комплексным. Каждая ЭУ обладает совокупностью взаимосвязанных характеристик. Изменение одной характеристики ЭУ может повлечь за собой изменения других ее характеристик. Поэтому цель анализа состоит в рассмотрении совокупности характеристик ЭУ и выявлении наилучших связей между ними. При этом, аналитический подход закономерно перерастает в синтетический, системный, позволяющий создавать картину действительности более адекватно.

Выбор оптимального варианта ЭУ на ВИЭ предполагает количественную оценку качества сравниваемых ЭУ, что является задачей многокритериальной оптимизации [2, 3]. Поэтому для решения задачи выбора ЭУ на ВИЭ по эксплуатационно-технологической эффективности необходим математический аппарат, удовлетворяющий условиям объективности, функциональности, когнитивности [4].

Таблица 1

Сравнительный анализ методов принятия решений

Метод принятия решений	Объективность		Функциональность				Когнитивность	
	Участие лица, принимающего решение (ЛПР)	Этапы участия ЛПР	Количество сравниваемых альтернатив	Количество сравниваемых одновременно критериев	Оценка ценности однородных критериев	Оценка ценности разнородных критериев	Наличие сложных операций	Количество решений
Метод главных критериев	Полное	Все	n	1	Да	Нет	Нет	1
Метод компенсации критериев	Полное	Все	n	2	Да	Нет	Нет	1
Метод анализа иерархий	Минимальное	1	n	N	Да	Да	Есть	1
Метод взвешенных сумм критериев (МВСК)	Минимальное	0-1	n	N	Да	Да	Есть	1
Метод Парето	Частичное	k	n	N	Да	Нет	Нет	m

0-1 Метод МВСК предполагает возможность решения задачи без участия ЛПР

При разработке методики выбора оптимальной ЭУ на ВИЭ проведен сравнительный анализ существующих методов принятия реше-

ний (см. табл. 1), выявивший преимущество метода взвешенных сумм критериев (табл. 2).

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа методов принятия решений¹

Метод принятия решений	Объективность	Функциональность	Когнитивность	Общий рейтинг
Метод главных критериев	+	+	+++	+++++
Метод компенсации критериев	+	+	+++	+++++
Метод анализа иерархий	++	+++	++	+++++++
Метод взвешенных сумм критериев	+++	+++	++	+++++++
Метод Парето	++	++	++	+++++

¹ + - не соответствие предъявляемому требованию
 ++ - частичное соответствие предъявляемому требованию
 +++ - максимальное соответствие предъявляемому требованию

Метод взвешенных сумм критериев лег в основу методики выбора ЭУ на ВИЭ, состоящей из восьми этапов [4]:

1. Отбор характеристик ранжирования ЭУ на ВИЭ.
2. Заполнение матрицы характеристик ЭУ на ВИЭ.
3. Переход от абсолютных значений характеристик (P_{ij}) к приведенным. Величина при-
4. Заполнение полноразмерной матрицы приведенных оценок:

P_{11}	P_{12}	...	P_{1j}	P_{1n}
P_{21}	P_{22}	...	P_{2j}	P_{2n}
...
P_{i1}	P_{i2}	...	P_{ij}	P_{in}
P_{m1}	P_{m2}	...	P_{mj}	P_{mn}

i - номер характеристики ЭУ; j - номер ЭУ.

5. Независимая оценка коэффициентов ценности критериев по следующему алгоритму:

5.1. Вычисление средних оценок по i -й характеристике:

$$P_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N P_{ij}, i = 1, \dots, M, \quad (2)$$

где M - количество характеристик ЭУ; N - количество ЭУ.

5.2. Вычисление величины разброса по i -й характеристике:

$$r_i = \frac{1}{N \cdot P_i} \cdot \sum_{j=1}^N |P_{ij} - P_i|, i = 1, \dots, M \quad (3)$$

5.3. Вычисление суммы величин разброса:

веденной оценки (P_{ij}) определяется в зависимости от вида и направленности характеристики:

$$\begin{cases} P_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{ij}^{\max}}, P_{ij} \rightarrow \max \\ P_{ij} = \frac{P_{ij}^{\min}}{P_{ij}}, P_{ij} \rightarrow \min \end{cases} \quad (1)$$

$$r = \sum_{i=1}^M r_i \quad (4)$$

5.4. Вычисление коэффициентов ценности:

$$v_i = \frac{r_i}{r}, i = 1, \dots, M \quad (5)$$

6. Оценка коэффициентов ценности критериев на основании опросов экспертов. Оценка ценности экспертом проводится в диапазоне значений независимых (объективных) коэффициентов ценности, что при адаптации методики к выбору энергоустановок на ВИЭ повышает качество оценочных работ.

7. Вычисление обобщенных коэффициентов ценности критериев:

$$\begin{cases} k_i = \frac{v_i + w_i}{2}, \\ k_i = v_i = w_i, v_i = w_i, \\ k_i \neq v_i \neq w_i, v_i = w_n \end{cases} \quad (6)$$

где v_i - коэффициент ценности i -ой характеристики, полученный расчетным путем; w_i - коэффициент ценности i -ой характеристики, с учетом мнения эксперта; w_n - коэффициент ценности n -ой характеристики, с учетом мнения эксперта.

8. Вычисление интегральной оценки (K_j)

альтернатив с применением линейной свертки:

$$K_j = \sum_{i=1}^M k_i \cdot P_{ij}, i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N \quad (7)$$

Реализация. В качестве примера рассмотрим задачу выбора когенерационной ЭУ на биогазе для животноводческого комплекса Нижегородской области со среднесуточной выработкой исходного топлива 30 м³/ч как альтернативу централизованной электрической сети. Проведем сравнительный анализ пяти биогазопоршневых ЭУ по 5 критериям ранжирования (табл. 3). Присвоим характеристикам ранжирования следующие обозначения: электрическая мощность – K_1 , расход газа – K_2 , электрический КПД – K_3 , ресурс до капремонта - K_4 , стоимость – K_5 .

Таблица 3

Характеристики БГПУ (исходные данные)

Характеристика \ Модель	Cento T80	Doosan Daewoo 100	Ricardo 100	Caterpillar G3306	Petra 74 C
Электрическая мощность, кВт	83	100	100	68	62,3
Расход газа, м ³ /ч	36,5	26	30	21,8	31,3
Электрический КПД, %	35	27,9	35,4	27,9	32,9
Коэффициент мощности, о.е.	1	0,8	0,8	1	1
Ресурс до капремонта, тыс. час	55	40	40	60	60

Вычислим значения приведенных характеристик.

Электрическая мощность подлежит максимизации:

$$P_{11}=83/100=0,83; P_{12}=1; P_{13}=1; P_{14}=68/100=0,68; P_{15}=0,62.$$

Расход газа подлежит минимизации:

$$P_{21}=21,8/36,5=0,60; P_{22}=0,84; P_{23}=0,73; P_{24}=1; P_{25}=0,70.$$

Электрический КПД подлежит максимизации:

$$P_{31}=35/35,4=0,99; P_{32}=0,79; P_{33}=1; P_{34}=0,79; P_{35}=32,9/35,4=0,93.$$

Коэффициент мощности подлежит максимизации:

$$P_{41}=1/1=1; P_{42}=0,8/1=0,8; P_{43}=0,8; P_{44}=1; P_{45}=1.$$

Ресурс до капитального ремонта подлежит максимизации:

$$P_{51}=55/60=0,92; P_{52}=0,67; P_{53}=0,67; P_{54}=1; P_{55}=1.$$

Результаты сведены в табл. 4 – матрицу приведенных оценок.

Вычислим средние приведенные оценки по i -ой характеристике.

$$P_1=(0,83+1+1+0,68+0,62)/5=0,83; P_2=0,77; P_3=0,90; P_4=0,92; P_5=0,85.$$

Таблица 4

Матрица приведенных оценок БГПУ

Оценка \ Модель	Cento T80	Doosan Daewoo 100	Ricardo 100	Caterpillar G3306	Petra 74 C
K_1	0,83	1	1	0,68	0,62
K_2	0,60	0,84	0,73	1	0,70
K_3	0,99	0,79	1	0,79	0,93
K_4	1	0,8	0,8	1	1
K_5	0,92	0,67	0,67	1	1

Вычислим разброс приведенных оценок по i -ой характеристике.

$$\begin{aligned} r_1 &= (|0,83-0,83|+|1-0,83|+|1-0,83|+|0,68-0,83|+|0,62-0,83|)/(5 \cdot 0,83)=0,17; \\ r_2 &= (|0,60-0,77|+|0,84-0,77|+|0,73-0,77|+|1-0,77|+|0,70-0,77|)/(5 \cdot 0,77)=0,15; \\ r_3 &= (|0,99-0,90|+|0,79-0,90|+|1-0,90|+|0,79-0,90|+|0,93-0,90|)/(5 \cdot 0,90)=0,10; \\ r_4 &= (|1-0,92|+|0,8-0,92|+|0,8-0,92|+|1-0,92|+|1-0,92|)/(5 \cdot 0,92)=0,10; \\ r_5 &= (|0,92-0,85|+|0,67-0,85|+|0,67-0,85|+|1-0,85|+|1-0,85|)/(5 \cdot 0,85)=0,17; \end{aligned}$$

Вычислим сумму величин разброса приведенных оценок.

$$r=0,17+0,15+0,10+0,10+0,17=0,69.$$

Вычислим величину коэффициентов ценности критериев оценки.

$$k_1=0,17/0,69=0,25; k_2=0,22; k_3=0,14; k_4=0,14; k_5=0,25.$$

Вычислим интегральную оценку альтернатив с применением линейной свертки.

$$K^1=0,83 \cdot 0,25+0,6 \cdot 0,22+0,99 \cdot 0,14+1 \cdot 0,14+0,92 \cdot 0,25=0,85;$$

$$K^2=1 \cdot 0,25+0,84 \cdot 0,22+0,79 \cdot 0,14+0,8 \cdot 0,14+0,67 \cdot 0,25=0,82;$$

$$K^3=1 \cdot 0,25+0,73 \cdot 0,22+1 \cdot 0,14+0,8 \cdot 0,14+0,67 \cdot 0,25=0,83;$$

$$K^4=0,68 \cdot 0,25+1 \cdot 0,22+0,79 \cdot 0,14+1 \cdot 0,14+1 \cdot 0,25=0,89;$$

$$K^5=0,62 \cdot 0,25+0,70 \cdot 0,22+0,93 \cdot 0,14+1 \cdot 0,14+1 \cdot 0,25=0,83.$$

На основании проведенного сравнительного анализа по 5 критериям ранжирования наиболее оптимальным вариантом является модель Caterpillar G3306. При вовлечении в диапазон критериев ранжирования цен ЭУ можно определить оптимальный вариант ЭУ по соотношению «стоимость-эффективность эксплуатации». Диапазон критериев оценки может быть велик [5]. Однако методика не имеет ограничений ни по количеству альтернатив, ни по количеству критериев, что является неоспоримым достоинством.

Выводы

1. Сравнительный анализ существующих методов принятия решений по условиям объективности, функциональности, когнитивности выявил преимущество метода взвешенных сумм критериев. Данный метод положен в основу новой методики выбора оптимального варианта ЭУ на ВИЭ.

2. Разработанная методика позволяет определить оптимальный вариант ЭУ на ВИЭ по совокупности эксплуатационно-технологических параметров, а при вовлечении в диапазон критериев ранжирования цен ЭУ позволяет определить оптимальный вариант ЭУ по соотношению «стоимость-эффективность эксплуатации».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Стребков Д.С., Тихомиров А.В. Энергетическая стратегия сельского хозяйства России на период до 2020 г. // и др. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2009. 64 с.

2. Батищев Д.И., Шапошников Д.Е. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 1994. 92 с.

3. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 144 с. ISBN 5-9221-0274-5.

4. Соснина Е.Н., Филатов Д.А. Разработка методики сравнительного анализа энергоустановок на возобновляемых источниках энергии // Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник научно-технических статей. Н. Новгород: НГТУ, 2013. С.87-91.

5. Симанков В.С., Бучацкий П.Ю. Формирование дерева целей и системы критериев эффективности в альтернативной энергетике на основе системного подхода // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. АГУ, 2007. С.37-47.

Sosnina E.N., Filatov D.A.

CHOICE OF POWER INSTALLATIONS ON RES FOR POWER SUPPLY OF THE AGRICULTURAL ENTERPRISES

The questions of the comparative analysis and selection of power plants (EC) on renewable energy sources (RES) based on multicriterion approach. We describe a new method of choosing the best option for renewable energy power plant for combined operational and technological parameters and an example of its implementation.

Key words: power plant renewable energy, comparative analysis, the choice of the optimal variant.