

Поддержка принятия решений при выборе проекта автономной электрогенерации для малых производственных предприятий

А.С. Вендин¹, С.В. Вохменов¹, Е.В. Голованова¹, А.В. Ломазов², В.А. Ломазов^{1,3}

¹Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина,

²Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва,

³Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Аннотация: Работа посвящена проблематике обеспечения электрической энергией удаленных производственных предприятий при отсутствии централизованного энергоснабжения. Целью работы является развитие инструментария поддержки принятия решений при выборе проектов автономной электрогенерации из большого числа возможных альтернатив. Для достижения этой цели построена иерархия критериев и проведен сравнительный анализ существующих технико-экономических решений в области малой автономной энергетики. Показано, что при выборе проекта электрогенерации для конкретного предприятия имеется достаточно большое число альтернатив, что делает неэффективным применение обычно используемых процедур поддержки принятия решений на основе метода анализа иерархий/метода аналитических сетей (в классическом варианте). Предложена итерационная процедура с динамическим изменением обратных связей между критериями и альтернативами, позволяющая в процессе вычислений снизить размерность суперматрицы и, тем самым, уменьшить временную сложность алгоритмов. Эффективность предложенной модификации метода аналитических сетей подтверждена проведенными расчетами. Построенная процедура выбора проекта автономной электрогенерации позволяет повысить уровень научной обоснованности технико-экономических решений при расширении производственной деятельности малых предприятий на удаленных и малонаселенных территориях.

Ключевые слова: автономная энергосистема, поддержка принятия решений, метод аналитических сетей.

Введение

Использование автономных (малых, локальных, распределенных) энергосистем (АЭС) актуально для малонаселенных сельских территорий и существенно способствует их социально-экономическому развитию [1,2].

АЭС позволяют:

- уменьшить нагрузку на магистральные линии электропередачи (при их наличии);
- снизить потери при передаче электроэнергии;
- обеспечить резервирование электрогенерирующих мощностей;
- снизить воздействие на окружающую среду (при использовании «зеленой» генерации).

Эффективность использования АЭС во многом зависит от правильности технических решений при ее проектировании, предполагающих, в частности [3,4]:

- выбор типа автономной генерации (дизельная, ветровая, солнечная, геотермальная, биогазовая или гидрогенерация),
- выбор генерируемой мощности (микро-, мини- или малая электростанция),
- учет специфики (сезонность, периодичность в течение суток и т.д.) электропотребления и т.д.

Целью работы является развитие инструментария поддержки принятия решений при выборе проектов автономной электрогенерации из большого числа возможных альтернатив.

Многокритериальное оценивание проектов автономной электрогенерации

Для экспертного оценивания альтернатив при проектировании автономной электрогенерации предлагается использовать иерархическую систему критериев TEE , включающую наряду с интегральным оценочным критерием F (фокус иерархии критериев) и следующими критериями:

- технологичность ($Tech$),
- экономичность ($Econ$),
- экологичность ($Ecol$),

соответствующие им группы подкритериев $\{Tech_1, Tech_2, \dots, Tech_m\}$, $\{Econ_1, Econ_2, \dots, Econ_n\}$, $\{Ecol_1, Ecol_2, \dots, Ecol_k\}$.

Например, детализирующая критерий $Econ$ группа $\{Econ_1, Econ_2, \dots, Econ_n\}$, содержит подкритерии:

$Econ_1$ – относительная стоимость оборудования;

$Econ_2$ – относительная стоимость ежемесячного обслуживания оборудования;

$Econ_3$ – относительная себестоимость 1 кВт/час. электроэнергии и др.

Двухуровневая иерархия оценочных критериев, дополненная уровнем альтернатив $\{ Alt_1, Alt_2, \dots, Alt_p \}$, представлена на рис.1.

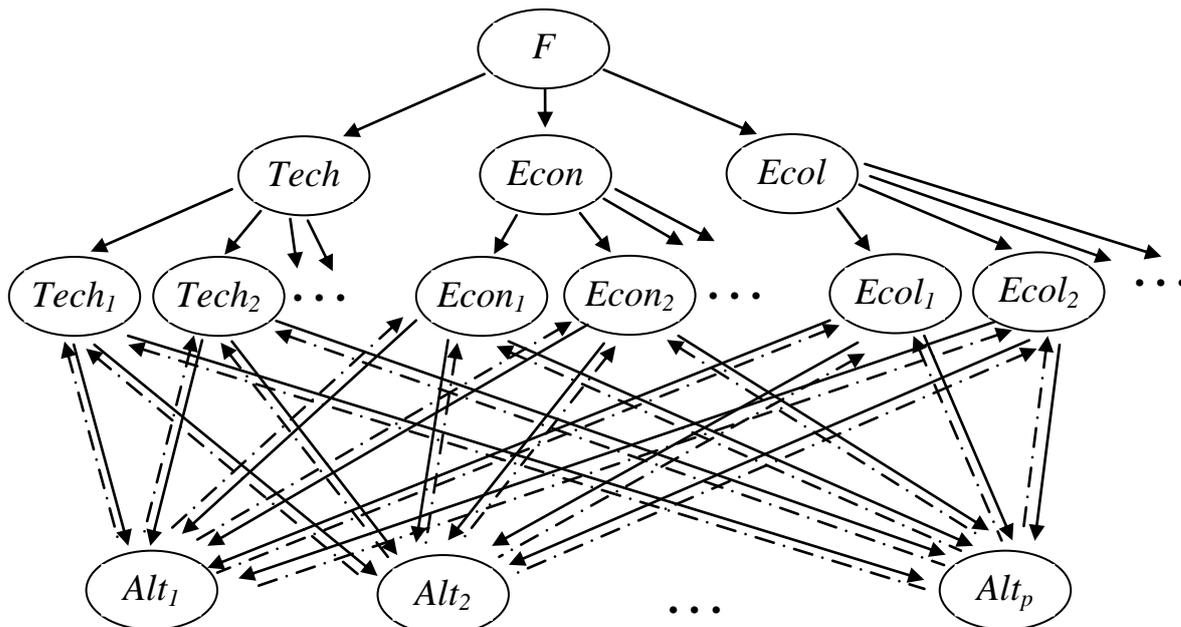


Рис. 1. Иерархия о критериев оценки проектов автономной электрогенерации

Относительные значения подкритериев для рассматриваемых альтернатив $Alt_1, Alt_2, \dots, Alt_p$ могут быть определены методом парных сравнений с использованием шкалы Саати [5]. Общая относительная оценка альтернатив (интегральный критерий F) в соответствии с общим подходом метода анализа иерархий (МАИ) определяется по формуле:

$$F = w_{Tech} \sum_{i=1}^m v_i^{Tech} Tech_i + w_{Econ} \sum_{i=1}^n v_i^{Econ} Econ_i + w_{Ecol} \sum_{i=1}^k v_i^{Ecol} Ecol_i$$

Здесь весовые коэффициенты w_{Tech} , w_{Econ} , w_{TEcol} отражают относительную значимость подсистем критериев и для них должны выполняться условия:

$$w_{Tech} + w_{Econ} + w_{TEcol} = 1, \quad w_{Tech}, w_{Econ}, w_{TEcol} \geq 0$$

Весовые коэффициенты отражают относительную значимость частных критериев в составе подсистем и для них должно выполняться:

$$\sum_{i=1}^m v_i^{Tech} = 1; \quad \sum_{i=1}^n v_i^{Econ} = 1; \quad \sum_{i=1}^k v_i^{Ecol} = 1$$

$$v_i^{Tech} \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m); \quad v_i^{Econ} \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, n); \quad v_i^{Ecol} \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, k);$$

При определении методом парных сравнений весовых коэффициентов необходимо учитывать чувствительность решений к возможным изменениям экспертных суждений, оценка которой может быть выполнена путем проведения вычислительных экспериментов [6].

Относительная простота МАИ предопределила его широкое использование в задачах поддержки принятия решений. Однако отмеченные многими авторами (например, [7,8]) значительные недостатки МАИ обусловили необходимость развития многокритериального подхода, что привело, в частности, к появлению метода аналитических сетей (МАС), позволяющего учесть обратные зависимости (зависимости критериев от альтернатив) [9]. На рис. 1 эти зависимости, рассматриваемые применительно к задаче выбора проекта автономной электрогенерации, представлены штрих-пунктирными стрелками. Необходимо отметить, что алгоритм МАС имеет большую (по сравнению с МАИ) временную сложность, что значимо для задач с большим числом альтернатив (к которым относится рассматриваемая задача). Тем самым актуальной является разработка модификации МАС, позволяющая снизить время выполнения процедуры поиска решения.

Модификация процедуры метода аналитических сетей при выборе проекта автономной электрогенерации

Значительные затраты времени выполнения процедуры МАС связаны с большой размерностью суперматрицы, обусловленной большим числом обратных связей. Предлагаемая модификация МАС (ММАС) представляет собой итерационную процедуру, использующую на каждой итерации только те обратные связи, которые идут от нескольких наилучших на предыдущей итерации альтернатив. Блок-схема процедуры приведена на рис.2.



Рис. 2. Блок-схема процедуры выбора альтернативы на основе ММАС

На первом этапе процедуры вводятся управляющие параметры, к которым относится:

- количество альтернатив, имеющих лучшие значения относительных оценок и выводимых в качестве решения задачи выбора,
- число обратных связей, используемых для пересчета весов критериев и подкритериев,
- минимальное изменение на новой итерации значений относительных оценок альтернатив, при котором продолжается итерационный процесс.

На втором этапе путем обработки экспертных суждений методом парных сравнений определяются начальные (на первой итерации) веса критериев и подкритериев.

Третий этап состоит в определении относительных оценок альтернатив по формуле (1).

На четвертом этапе проверяется выполнение условия останова процедуры. Если условие не выполнено, то весов критериев и подкритериев пересчитываются (пятый этап), после чего производится переход на третий этап процедуры, но уже в рамках следующей итерации. Если условие останова выполняется, то производится документирование результатов процедуры, состоящее в выводе нескольких лучших (по относительным оценкам) альтернатив и окончание работы процедуры.

Следует отметить, что окончательный выбор наилучшей альтернативы выполняется лицом, принимающим решение, на основе его личных (зачастую, не подлежащих формализации) предпочтений.

Для оценки эффективности предложенной процедуры были проведены вычислительные эксперименты. В таблице 1 приведены средние значения (по результатам 100 экспериментов с использованием случайным образом генерируемых параметров) отношения времени выполнения МАС и ММАС к времени выполнения МАИ при различных количествах альтернатив.

Таблица № 1.

Сравнение относительного времени выполнения процедур МАС и ММАС

Число альтернатив \ Метод	5	10	20	30	40
МАС	471.66	540.66	680.759	847.76	986.88
ММАС	321.93	133.24	44.7	28.42	27.14

Из данных таблицы 1 видно, что хотя по затратам времени ММАС уступает МАИ, но является предпочтительнее, чем МАС. Однако (как видно из таблицы 2), неучет в МАИ обратных связей может привести к ошибкам (расхождению с МАС, наиболее полно учитывающим обратные связи) при выборе наилучшей альтернативы (проекта автономной электрогенерации), в то время как при использовании ММАС доля таких ошибок незначительна.

Таблица №2.

Сравнение доли расхождения с МАС результатов выполнения процедур
МАИ и ММАС

Число альтернатив \ Метод	5	10	20	30	40
МАИ	0.095	0.115	0.123	0.141	0.164
ММАС	0.001	0.003	0.018	0.029	0.038

Таким образом, применение процедуры ММАС при выборе проекта автономной электрогенерации из большого числа возможных альтернатив является оправданным. При этом необходимо иметь в виду, что электрогенерация является лишь одним (хотя и очень важным) компонентом энергетической системы и тем самым построенная процедура является

частью процедуры структурно-параметрического синтеза этой системы (например, в рамках подхода [10]).

Заключение

Развитие удаленных территорий невозможно без надежного и эффективного энергоснабжения объектов как производственной, так и социальной сферы, которое может быть обеспечено использованием автономных энергосистем.

Предложенная в работе иерархия критериев дает возможность формализовать экспертное оценивание проектов автономной электрогенерации. Построенная (на основе предложенных критериев и модификации метода аналитических сетей) процедура выбора наиболее подходящего для конкретных условий проекта позволяет повысить уровень научной обоснованности технико-экономических решений при расширении производственной деятельности на удаленных и малонаселенных территориях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 24-21-00059.

Литература

1. Pellerin R., Perrier N. A review of methods, techniques and tools for project planning and control //Int. J. Prod. Res.2019. 57, 2160-2178.

2. Ломазов А.В., Иващук О.А., Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Информационно-аналитическая система мониторинга и анализа выполнения региональных социально-экономических программ // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6939.

3. Ковалёв В.З., Парамзин А.О. Анализ подходов к оптимизации структуры и состава генерирующего комплекса в задачах распределенной



генерации // Инженерный вестник Дона. 2022. №11.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7997.

4. Шеина С.Г., Пирожникова А.П. Тенденции развития альтернативной энергетики в странах мира и России // Инженерный вестник Дона. 2016. № 3.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3720.

5. Saaty T.L. Relative measurement and its generalization in decision making: why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors – the analytic hierarchy/network process//Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics. 2008. 102 (2). Pp. 251-318.

6. Дмитриев М.Г., Ломазов В.А. Оценка чувствительности линейной свертки частных критериев при экспертном определении весовых коэффициентов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 1. С. 52-56.

7. Подиновский В.В., Подиновская О.В. О некорректности метода анализа иерархий // Проблемы управления. 2011. №1. С. 8-13.

8. Munier N., Hontorio E. Uses and Limitations of the AHP Method A Non-Mathematical and Rational Analysis. Management for Professionals. Switzerland: Springer Nature. 2021. 130 p.

9. Saaty T.L. Decision making – the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP) //Journal of Systems Science and Systems Engineering. 2004. №13. Pp. 1-35.

10. Petrosov D.A., Lomazov V.A., Mironov A.L., Klyuev S.V., Muravyov K.A., Vasilievna F.M. Intellectual structural-parametric synthesis of large discrete systems with specified behavior // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. 13 (8). Pp. 2177-2182.



References

1. Pellerin R., Perrier N. Int. J. Prod. Res. 2019. 57. pp. 2160-2178.
2. Lomazov A.V., Ivashchuk O.A., Lomazov V.A., Nesterova Ye. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6939.
3. Kovalev V.Z., Paramzin A.O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7997.
4. Sheina S.G., Pirozhnikova A.P. Inzhenernyj vestnik Dona. 2016. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3720.
5. Saaty T.L. Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics. 2008. 102 (2). pp. 251-318.
6. Dmitriyev M.G., Lomazov V.A. Iskusstvennyj intellekt i prinyatiye resheniy. 2014. № 1. pp. 52-56.
7. Podinovsky V.V., Podinovskaya O.V. Problemy upravleniya. 2011. №1. pp. 8-13.
8. Munier N., Hontorio E. Uses and Limitations of the AHP Method A Non-Mathematical and Rational Analysis. Management for Professionals. Switzerland: Springer Nature. 2021. 130 p.
9. Saaty T.L. Journal of Systems Science and Systems Engineering. 2004. №13. pp. 1-35.
10. Petrosov D.A., Lomazov V.A., Mironov A.L., Klyuev S.V., Muravyov K.A., Vasilievna F.M. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. 13 (8). pp. 2177-2182.

Дата поступления: 7.05.2024

Дата публикации: 26.06.2024