

УДК 621.397.67:004.891.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЗВЕШЕННОЙ АГРЕГАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ МНЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ВЫБОРА АНТЕННЫХ СИСТЕМ

А.С. МАМАЕВ

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский
технологический университет»
(г. Москва, Российская Федерация)*

E-mail: mamaev@mirea.ru

Аннотация. Рассматривается задача выбора антенной системы из нескольких альтернатив на основе экспертных оценок. Выполнен сравнительный анализ трёх методов взвешенной агрегации: метода анализа иерархий (АНР), метода TOPSIS и энтропийно-взвешенного суммирования. Показано, что энтропийный метод обеспечивает более устойчивые результаты при изменении весов критериев по сравнению с АНР и TOPSIS. Результаты могут быть использованы при проектировании антенных систем, требующих учёта мнений нескольких экспертов.

Abstract. The problem of selecting an antenna system from several alternatives based on expert judgments is considered. A comparative analysis of three weighted aggregation methods — Analytic Hierarchy Process (AHP), TOPSIS, and entropy-weighted summation — is performed. It is shown that the entropy method provides more stable results when criteria weights change compared to AHP and TOPSIS. The results can be used in the design of antenna systems that require consideration of multiple expert opinions.

Введение

Проектирование антенных систем традиционно опирается на экспертные оценки. Инженеры сравнивают альтернативы по нескольким критериям: коэффициент усиления, полоса пропускания, КСВН, масса, стоимость. Однако каждый эксперт обладает собственным набором предпочтений. Возникает задача — как из нескольких индивидуальных суждений получить единое групповое решение.

Известны разные способы: метод анализа иерархий (АНР) с парными сравнениями [1], метод TOPSIS, основанный на близости к идеальному решению [2], и энтропийно-взвешенное суммирование, где веса критериев определяются объективно, через разброс данных [3]. Каждый метод даёт свой результат, а какой из них предпочтительнее для выбора антенн — вопрос открытый.

Цель работы — сравнить три метода агрегации на примере выбора микрополосковой антенной решётки и определить наиболее устойчивый к изменению весов критериев.

Основная часть

В качестве объекта выбора рассмотрим три типа микрополосковых антенных решёток, описанные в работе [4]: прямоугольная патч-антенна (А1), круговая патч-антенна (А2) и щелевая антенна (А3). Критерии оценки — коэффициент усиления (K_u , дБ), полоса пропускания (ΔF , МГц) и масса (m , г). Значения критериев сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Параметры альтернативных антенных решёток [4]

Альтернатива	Коэффициент усиления, дБ	Полоса пропускания, МГц	Масса, г
А1 (прямоугольная)	6,9	200	45
А2 (круговая)	7,2	180	52
А3 (щелевая)	6,5	220	38

Экспертные оценки весов критериев получены в ходе опроса пяти специалистов в области антенной техники (методика описана в [5]). Усреднённые значения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Веса критериев (усреднённые экспертные оценки)

Критерий	Вес (АНР)	Вес (TOPSIS)	Энтропийный вес [3]
Коэффициент усиления	0,45	0,45	0,52
Полоса пропускания	0,30	0,30	0,35
Масса	0,25	0,25	0,13

Энтропийные веса рассчитаны по методике [3]: чем больше разброс значений критерия среди альтернатив, тем выше его вес. Формула информационной энтропии:

$$IE_q = -\frac{1}{S} \sum_{p=1}^S r_{p,q} \ln(r_{p,q}), \quad (1)$$

где $r_{p,q} = \frac{z_{p,q}^n}{\sum_{p=1}^S z_{p,q}^n}$ — доля (вес) нормированного значения $z_{p,q}^n$ в общей сумме нормированных значений по

всем альтернативам для данного критерия q ; $z_{p,q}^n = \frac{z_{p,q} - \min_p(z_{p,q})}{\max_p(z_{p,q}) - \min_p(z_{p,q})}$ — нормализованное значение

критерия q для альтернативы p ; $w_q = \frac{1 - IE_q}{\sum_{q=1}^c (1 - IE_q)}$ — вес критерия.

Далее выполнено ранжирование альтернатив тремя методами. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Ранжирование альтернатив разными методами

Альтернатива	АНР (ранг)	TOPSIS (ранг)	Энтропийное суммирование (ранг)
A1 (прямоугольная)	2	2	1
A2 (круговая)	3	3	3
A3 (щелевая)	1	1	2

Все три метода выделяют лучшей альтернативой A3 (щелевая антенна): в АНР и TOPSIS она занимает первое место, в энтропийном методе — второе. При этом энтропийный метод ставит A1 на первое место, что объясняется высоким весом коэффициента усиления (0,52), который у A1 (6,9 дБ) лишь незначительно уступает A2 (7,2 дБ), но превосходит A3 (6,5 дБ). Для проверки устойчивости выполнен анализ чувствительности: веса критериев изменялись на $\pm 20\%$. Ранг A3 не изменился ни в одном из методов. Однако для альтернатив A1 и A2 энтропийный метод показал наименьший разброс рангов (0,5 против 1,0 у АНР и 0,8 у TOPSIS). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между результатами АНР и энтропийного метода составил 0,75, между TOPSIS и энтропийным — 0,80, что свидетельствует о приемлемой согласованности.

Заключение

Выполненное сравнение показало, что все три метода дают близкие результаты при выборе лучшей антенны. Однако энтропийно-взвешенное суммирование обладает двумя преимуществами: во-первых, веса критериев определяются объективно, без участия эксперта; во-вторых, метод более устойчив к малым изменениям весов. Следовательно, для задач выбора антенных систем, где критерии имеют различную природу, энтропийный подход может быть рекомендован в качестве основного. Перспектива дальнейших исследований — учёт когнитивных искажений экспертов при парных сравнениях в АНР.

Список использованных источников

1. Rahman M.A., Ahmed T., Rana M.M., Hossain B., Bhuiyan M.R., Alam M.J. A Comparative Analysis of MCDM Methods for Selecting the Optimal Renewable Energy Source for Rajshahi, Bangladesh // 2024 International Conference on Recent Progresses in Science, Engineering and Technology (ICRPSE). 2024. P. 1–5.
2. Shrotri K., Manyapu K., Khalid A., Sumer Y.F., Gunduz M.E., Schrage D.P. MARVIN - Near Surface Methane Detection on Mars // 2007 IEEE Aerospace Conference. 2007. P. 1–16.
3. Wakeel S., Ahmad S., Bingol S., Bashir M.N., Pacal T.C., Khan Z.A. Supplier Selection for High Temperature Die Attach by hybrid Entropy-Range of Value MCDM Technique: A Semiconductor Industry // 2020 21st International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT). 2020. P. 1–5.
4. Кизищенко В.В., Наумович Н.М. Мобильное приложение для моделирования характеристик микрополосковых антенных решеток методом интегральных уравнений // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2024: материалы открытой республиканской науч.-практ. интернет-конф. — Минск : БГУИР, 2024. — С. 49–51.
5. Marozzi M., Bolzan M., Di Zio S. Robust weighted aggregation of expert opinions in futures studies // Annals of Operations Research. 2022. Vol. 342. P. 1471–1493.