

Многокритериальная оптимизация судовых климатических систем

Дмитриев Д. О. (ИТМО, ООО «НПК МСА»), д. т. н. Сулин А.Б. (ИТМО),
Научный руководитель – доктор технических наук, Сулин А.Б. (ИТМО)

Введение. Судовые системы кондиционирования воздуха являются неотъемлемым элементом систем жизнеобеспечения и оказывают существенное влияние на энергетический баланс судна, параметры микроклимата и эксплуатационные характеристики судового объекта в целом. В современных условиях развития судостроения особую значимость приобретает повышение энергоэффективности и экологичности вспомогательных систем, что обусловлено международными требованиями по снижению выбросов и оптимизации энергопотребления [1,2].

При проектировании судовых HVAC-систем традиционно применяются однокритериальные методы выбора оборудования, основанные преимущественно на оценке холодопроизводительности или стоимости. Однако такой подход не позволяет учитывать совокупность разнонаправленных факторов, включая энергоэффективность, надёжность, экологические показатели и экономические ограничения, что снижает обоснованность принимаемых проектных решений.

В связи с этим актуальной является разработка методического инструмента, обеспечивающего комплексную оценку альтернатив при выборе судовых климатических систем.

Основная часть. В работе предложен подход к выбору судовых систем кондиционирования воздуха на основе метода многокритериальной оптимизации TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [3,4]. Данный метод позволяет формализовать процедуру выбора оборудования путём определения альтернативы, обладающей минимальным расстоянием до «положительного» идеального решения и максимальным расстоянием до «отрицательного» решения.

В качестве критериев оценки приняты:

- энергоэффективность (удельная холодопроизводительность и энергопотребление);
- экологичность (уровень шума, характеристики хладагента);
- экономичность (удельная стоимость оборудования);
- надёжность (ресурс наработки и массогабаритные параметры).

Весовые коэффициенты критериев определены методом прямой экспертной оценки с привлечением специалистов в области судостроения и проектирования HVAC-систем с последующей нормировкой.

Методика апробирована на примере выбора автономной системы кондиционирования для электрического пассажирского судна, для которого характерны повышенные требования к энергопотреблению оборудования. Сформирована матрица альтернатив, включающая шесть вариантов судовых климатических систем различной конструктивной схемы.

Расчёт выполнен в следующей последовательности: нормализация исходных показателей, формирование взвешенной матрицы, определение идеальных решений и вычисление коэффициентов относительной близости альтернатив.

Результаты анализа показали отсутствие абсолютного преимущества какой-либо альтернативы по всем критериям одновременно, что подтверждает корректность постановки задачи как многокритериальной. Вместе с тем выявлено наиболее сбалансированное решение, обеспечивающее оптимальное сочетание энергоэффективности, экономичности и надёжности при приемлемых экологических характеристиках.

Для практической реализации предложенного подхода разработано программное обеспечение, автоматизирующее процедуру расчёта и позволяющее выполнять анализ устойчивости решения при изменении весовых коэффициентов критериев.

Выводы. Применение метода TOPSIS к задаче выбора судовых климатических систем позволяет обеспечить формализованный и воспроизводимый процесс принятия проектных решений с учётом совокупности конфликтующих критериев.

Разработанный методический подход повышает обоснованность выбора HVAC-оборудования, снижает вероятность принятия несбалансированных решений и позволяет учитывать приоритеты проектирования в зависимости от типа судна и района эксплуатации.

Реализация методики в виде программного инструмента расширяет возможности её практического применения на стадиях технического предложения и технического проекта.

Список литературы

1. International Maritime Organization. Energy efficiency measures for ships [Электронный ресурс]. – London : IMO, 2018. – Режим доступа: <https://www.imo.org> (дата обращения: 19.02.2026).
2. ГОСТ Р 56162–2014. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха судовые. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2015. – 24 с.
3. Hwang C. L., Yoon K. Multiple attribute decision making: methods and applications. – Berlin : Springer, 1981. – 259 p.
4. Triantaphyllou E. Multi-criteria decision making methods: a comparative study. – New York : Springer, 2000. – 320 p.