

УДК 330.4**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРИНЯТИИ
РЕШЕНИЙ В ЦИФРОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ (INDUSTRY 4.0)**

Брысина К.Д., студент гр. ПИ2442, 2 курс
Научный руководитель: Попова Е.В., д.э.н., профессор
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т.
Трубилина
г. Краснодар

В условиях перехода промышленности к концепции Industry 4.0 возрастает роль цифровых технологий, обеспечивающих интеллектуальное управление производственными процессами на основе данных, получаемых в реальном времени. Ключевыми элементами цифрового производства являются киберфизические системы, промышленный интернет вещей, цифровые двойники, а также системы поддержки принятия решений, ориентированные на обработку больших массивов разнородной информации [1]. В подобных условиях управленческие решения принимаются с учетом множества критериев, которые часто имеют противоречивый характер, что обуславливает необходимость применения методов многокритериальной оптимизации.

Многокритериальная оптимизация представляет собой совокупность методов и подходов, направленных на выбор наилучшей альтернативы при наличии двух и более критериев эффективности. В задачах цифрового производства такими критериями могут выступать производительность оборудования, энергетическая эффективность, себестоимость продукции, надежность, экологические показатели, уровень риска и другие параметры [2]. Учет всех указанных факторов в рамках одного критерия, как правило, невозможен, что делает актуальным использование методов многокритериального анализа при принятии решений.

Целью данной работы является сравнительный анализ методов многокритериальной оптимизации, применяемых при принятии решений в цифровом производстве, а также определение областей их рационального использования в рамках концепции Industry 4.0. В качестве объекта исследования рассматриваются методы поддержки принятия решений в цифровых производственных системах, а предметом исследования являются методы многокритериальной оптимизации.

Одним из наиболее распространенных методов многокритериального анализа является метод анализа иерархий (АИР), предложенный Т. Саати [3]. Данный метод основан на декомпозиции сложной задачи принятия решения в виде иерархической структуры, включающей цель, критерии, подкритерии и альтернативы. На основе попарных сравнений формируются матрицы

предпочтений, позволяющие определить весовые коэффициенты критериев и итоговый рейтинг альтернатив. Преимуществами метода АНР являются его наглядность, логическая обоснованность и возможность учета экспертных оценок. Однако при увеличении числа критериев и альтернатив существенно возрастает трудоемкость расчетов, а также повышается влияние субъективного фактора, что может ограничивать применение метода в автоматизированных системах цифрового производства.

Метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) широко применяется в задачах многокритериального выбора благодаря относительной простоте вычислений и возможности автоматизации [4]. Суть метода заключается в выборе альтернативы, имеющей минимальное расстояние до идеального решения и максимальное расстояние до антиидеального. В условиях Industry 4.0 метод TOPSIS может эффективно использоваться в системах оперативного управления, например, при выборе режимов работы оборудования или оптимизации производственных расписаний. Вместе с тем результаты применения TOPSIS в значительной степени зависят от процедуры нормализации исходных данных и корректности задания весов критериев, что требует дополнительного анализа чувствительности.

Методы семейства ELECTRE основаны на использовании отношений превосходства и позволяют учитывать как количественные, так и качественные критерии [4]. Они находят применение в задачах, где необходимо учитывать ограничения и пороговые значения критериев, характерные для сложных производственных систем. Преимуществом данных методов является возможность выявления доминирующих альтернатив без необходимости строгого агрегирования критериев. Однако высокая вычислительная сложность и сложность интерпретации результатов ограничивают их использование в задачах реального времени и требуют значительных вычислительных ресурсов.

Отдельную группу составляют методы, основанные на концепции Парето-оптимальности, широко применяемые в задачах многокритериальной оптимизации технологических процессов и производственного планирования [5,6]. Согласно данному подходу, решение считается оптимальным, если не существует другой альтернативы, улучшающей один критерий без ухудшения хотя бы одного другого. Одним из существенных достоинств подходов, основанных на принципе Парето, является возможность рассматривать альтернативы без приведения всех критериев к единому интегральному показателю. Подобная особенность особенно важна для цифрового производства, где параметры функционирования системы могут изменяться достаточно быстро, а исходные данные нередко характеризуются неопределённостью. В таких условиях сохранение многокритериальности позволяет избежать чрезмерного упрощения модели и более корректно отразить реальные управленческие приоритеты. Вместе с тем применение данного подхода приводит к формированию набора Парето-оптимальных решений, каждое из которых рационально в рамках заданных ограничений.

Это, в свою очередь, требует использования дополнительных инструментов для выбора окончательной альтернативы.

Практика внедрения методов многокритериальной оптимизации в цифровом производстве показывает, что их результативность во многом зависит от уровня цифровой зрелости предприятия, а также от степени интеграции используемых информационных систем [7]. При недостаточной связанности данных потенциал таких методов реализуется лишь частично. Именно поэтому в последние годы всё чаще применяются комбинированные подходы, объединяющие традиционные методы многокритериального анализа с интеллектуальными алгоритмами, включая инструменты машинного обучения и эволюционной оптимизации. Подобное сочетание обеспечивает большую гибкость процедур принятия решений и позволяет адаптировать их к изменяющимся условиям производственной среды.

Сравнительная оценка методов многокритериальной оптимизации по показателям автоматизируемости, вычислительной сложности и интерпретируемости представлена на рисунке 1.

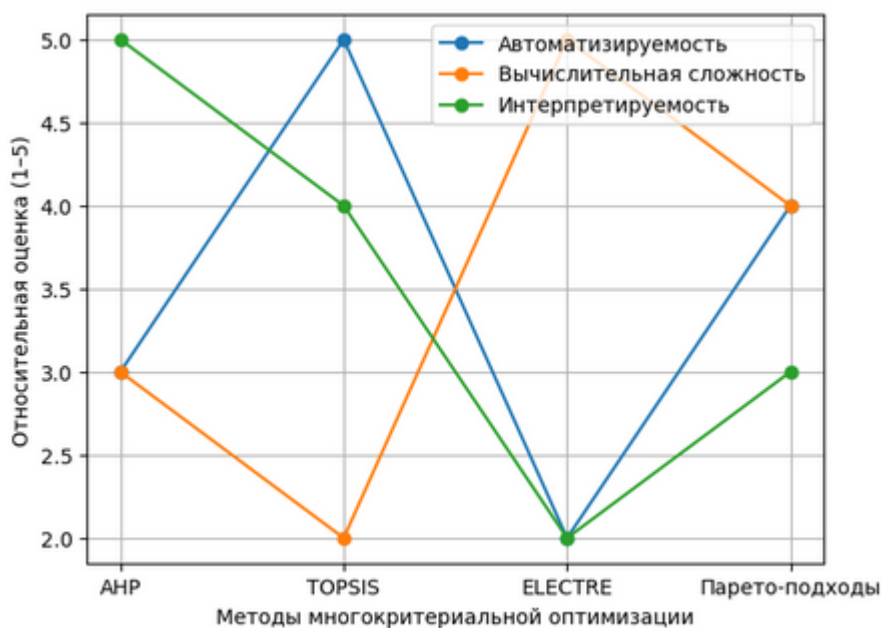


Рисунок 1 — Сравнительная характеристика методов многокритериальной оптимизации в условиях цифрового производства.

На графике приведено сравнение методов многокритериальной оптимизации по трем обобщённым показателям:

- 1) Автоматизируемость — пригодность для встраивания в цифровые системы управления
- 2) Вычислительная сложность — относительные требования к вычислительным ресурсам
- 3) Интерпретируемость — удобство анализа и объяснения результатов

Оценка дана по пятибалльной шкале (1–5) и носит сравнительный, экспертный характер, что допустимо для обзорно-аналитической статьи.

В результате проведенного исследования установлено, что выбор метода многокритериальной оптимизации должен осуществляться с учетом специфики решаемой задачи, требований к быстродействию, объема и качества исходных данных, а также уровня автоматизации системы управления. Для стратегических и экспертно-ориентированных решений целесообразно применение метода анализа иерархий, для оперативных задач – метод TOPSIS, а для сложных производственных систем с большим числом критериев – Парето-ориентированные и гибридные методы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и внедрении систем поддержки принятия решений в условиях цифрового производства и реализации концепции Industry 4.0.

Список литературы:

1. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. – Berlin, 2013.
2. Deb K. Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. – Chichester: Wiley, 2001.
3. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
4. Hwang C.L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. – Berlin: Springer, 1981.
5. Попова, М. И. Математическая многокритериальная модель формирования ассортимента как комплексной многофакторной стратегической задачи / М. И. Попова, И. В. Яковенко // Друкеровский вестник. – 2025. – № 4(66). – С. 394-406.
6. Попова, М. И. Методы многокритериальной оптимизации в формировании ассортимента монопродуктовой компании / М. И. Попова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 202. – С. 151-165.
7. Xu L.D., Xu E.L., Li L. Industry 4.0: State of the Art and Future Trends // *International Journal of Production Research*. – 2018. – Vol. 56. – No. 8.