

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Р.М. ЗАКИРЗЯНОВ

Современное производство, как правило, имеет высокую степень автоматизации. Предприятия машиностроительной, нефтегазовой, химической, пищевой отраслей активно применяют автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) для повышения качества продукции, обеспечения безопасности процесса и достижения экономической эффективности. Современные АСУТП характеризуются большим количеством контролируемых параметров и территориальной распределенностью. Построение таких сложных систем в основном производится на базе программно-технических комплексов (ПТК). При этом инженер-проектировщик решает задачу построения такой структуры системы, которая бы надлежащим образом обеспечивала управление объектом (процессом), удовлетворяла предъявляемым ограничениям и имела бы при этом минимальную стоимость.

Традиционная структура АСУТП имеет древовидную топологию (рисунок 1), поэтому ее удобно представить в виде ациклического графа $G = (V, E)$, где $v \in V$ – устройства (вершины графа), E – каналы связи (ребра графа).

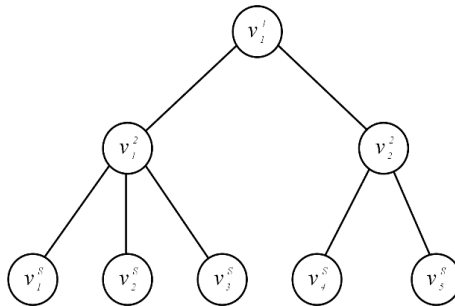


Рисунок 1 – Представление структуры АСУТП в виде дерева

Критерии оптимизации такой структуры сформулированы в [1]. Целевая функция при этом имеет вид (1).

$$C_0 = \min_g \sum_{v \in V} C_v, \quad (1)$$

где C_0 – оптимальная стоимость системы, C_v – стоимость устройства v .

Подробные условия задачи оптимизации приведены в [2]. Рассматривается NP-трудная задача комбинаторной оптимизации с множественными ограничениями. Для решения такого класса задач применяются точные методы (при небольших размерностях), приближенные методы, основанные на метаэвристических алгоритмах [3], а также методы машинного обучения.

Для решения задачи был выбран ряд известных алгоритмов, таких как алгоритм муравьиных колоний (ACO – Ant Colony Optimization (англ.)), генетический алгоритм, алгоритм поиска с запретами и алгоритм серых волков (GWO – Grey Wolf Optimization (англ.)). Также рассматривался метод обучения с подкреплением.

Для оценки эффективности алгоритмов использовались подходы, изложенные в [4]. Для реализации указанных алгоритмов оптимизации применительно к решаемой задаче было разработано программное обеспечение на языке Python. Оценка работы алгоритмов проводилась на специально выделенном полигоне.

Исследование проводилось на тестовых примерах, максимально приближенных к характеристикам реального применяемого в промышленности оборудования. Также исследовалось влияние начальных (стартовых) условий и параметров алгоритмов на их эффективность.

В результате экспериментов были получены графики сходимости алгоритмов при различных значениях параметров. Пример графика сходимости показан на рисунке 2.

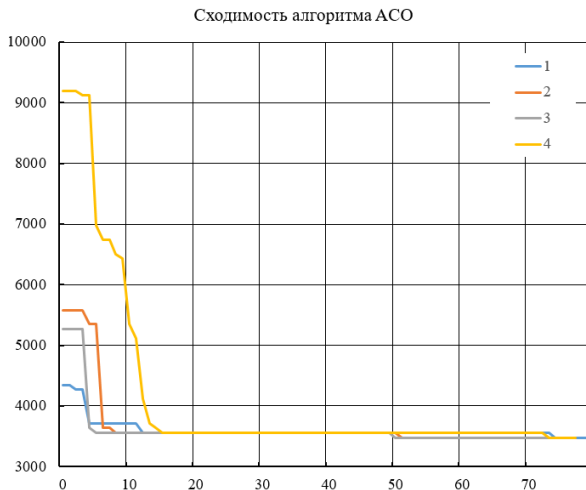


Рисунок 2 – Графики сходимости алгоритма ACO при различных параметрах

График сходимости иллюстрирует процесс приближения к наилучшему решению (минимальной стоимости) древовидной структуры. Ось y показывает стоимость, ось x – количество итераций алгоритма.

Результаты эксперимента показали, что наибольшую эффективность при решении задачи оптимизации иерархической структуры системы управления демонстрирует алгоритм муравьиных колоний (АСО). Указанный алгоритм был дополнительно модифицирован путем добавления локального поиска с целью минимизации застревания на локальных минимумах. При исследовании влияния параметров алгоритма на его эффективность было установлено, что наилучшие результаты достигаются при уменьшении влияния эвристики на начальном этапе поиска с увеличением ее при достижении предполагаемого оптимума.

Также были проведены исследования возможности применения обучения с подкреплением для решения рассматриваемой задачи. Эксперименты показали, что данный метод также показывает удовлетворительные результаты. Перспективным направлением исследований является применение комбинации метаэвристических алгоритмов и обучения с подкреплением.

Рассматриваемые методы могут быть успешно применены при проектировании сложных распределенных автоматизированных систем управления технологическими процессами, такими как, например, крупнотоннажное производство серной кислоты [5].

Литература. 1. Закирзянов Р. М. Критерии выбора оптимальной структуры распределенной системы управления технологическими процессами крупных промышленных предприятий / Р. М. Закирзянов // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 10. – С. 17-23. **2.** Закирзянов Р. М. Применение метаэвристических алгоритмов для оптимизации структуры промышленной системы управления / Р. М. Закирзянов // VI Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2025). Сборник докладов. Санкт-Петербург. 26 – 28 сентября 2025 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2025. – С. 35-37. **3.** Гладков Л. А. Интеллектуальные системы: модели и методы метаэвристической оптимизации / Л. А. Гладков, Ю. А. Кравченко, В. В. Курейчик, С. И. Родзин. – Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда», 2024. – 228 с. **4.** Ahmed Shaban A., Almufti S. M., Asaad R. R. Metaheuristic Algorithms for Engineering and Combinatorial Optimization: A Comparative Study Across Problems Categories and Benchmarks // International Journal of Scientific World. 2025. Vol. 11, No. 2, PP. 38–49. doi:10.14419/0hndc578. **5.** Закирзянов Р. М. Опыт импортозамещения АСУТП непрерывного производства в химической промышленности / Р. М. Закирзянов, А. Р. Латыпов, А. И. Шпилёв // Автоматизация в промышленности. – №12. – 2025. – С.43-48. (в печати)

Реквизиты для справок: *Россия, 421001, Казань, ул. Сибгата Хакима, 62, ООО «НЕКСТ инжиниринг», техническому директору, Закирзянову Р. М., тел. (843) 216-30-44. E-mail: zr@nexteng.ru*