

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-8-303-62-64

Д. М. Текутов, С. Г. Поступаева

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: tdm-111@mail.ru, posvetlana@mail.ru

Описывается способ модернизации автоматизированной системы противопожарной защиты (АСПЗ) с использованием метода многокритериальной автоматизации. Проведен анализ структуры и параметров АСПЗ как сложной технической системы, определены критерии модернизации на основе функциональных, качественных и стоимостных показателей, разработан алгоритм модернизации в условиях ограниченного финансирования.

Ключевые слова: автоматизированная система противопожарной защиты, многокритериальная оптимизация, критерии оптимизации, крупные промышленные объекты

D. M. Tekutov, S. G. Postupaeva

MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF AN AUTOMATED FIRE PROTECTION SYSTEM UNDER LIMITED FUNDING

Volgograd State Technical University

The article describes a method for upgrading an automated fire protection system (AFPS) using a multi-criteria automation method. The analysis of the structure and parameters of the AFPS as a complex technical system is carried out, the criteria for upgrading are determined based on functional, quality and cost indicators, and an algorithm for upgrading under conditions of limited funding is developed.

Keywords: automated fire protection system, multi-criteria optimization, optimization criteria, large industrial facilities

АСПЗ представляет собой сложную многоуровневую систему, входящую в автоматизированную систему управления крупного промышленного объекта. Она обеспечивает безопасность персонала, сохранность имущества и непрерывность технологических процессов. В связи с этим от нее требуется высокая степень надежности, адаптивности и функциональности [1].

Обычно, в условиях ограниченного финансирования, модернизация АСПЗ проводится не полностью, а частично, что порождает следующие проблемы:

- отсутствие объективного критерия для выбора очередности модернизации;
- трудности оценки эффективности улучшений по единственному показателю;
- не самую высокую вероятность распределения ресурсов, снижающую общую эффективность АСПЗ.

Кроме того, существующие методы модернизации зачастую опираются на экспертные мнения без формализованной поддержки принятия решений, что затрудняет обоснование технических и финансовых приоритетов.

Целью данной работы является повышение

эффективности модернизации АСПЗ крупных промышленных объектов за счет определения оптимальных направлений и многокритериальной оптимизации.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- 1) провести анализ структуры и параметров АСПЗ как сложной технической системы, функционирующей во взаимодействии с другими подсистемами промышленного объекта;
- 2) определить множество критериев модернизации на основе функциональных, качественных и стоимостных показателей;
- 3) разработать алгоритм модернизации АСПЗ на основе метода многокритериальной оптимизации.

АСПЗ является сложным техническим объектом, который можно представить в виде математической модели, определяющей зависимость выходных параметров $Y(t)$ от параметров составляющих элементов $X(t)$ в момент времени t :

$$Y_j(t) = y(X(t)), \quad j = \overline{1, m},$$

при $X(t) = [X_1(t), \dots, X_n(t)]^T,$

$$Y(t) = [Y_1(t), \dots, Y_n(t)]^T. \quad (1)$$

Выходные параметры в данной модели отражают показатели качества, характеризующие корректность функционирования системы. Их значения зависят не только от характеристик отдельных элементов, но и от особенностей взаимосвязей между ними, то есть от конфигурации системы в целом. При фиксированном составе и структуре системы выходные параметры определяются исключительно входными воздействиями и параметрами внешней среды.

При модернизации или создании новой АСПЗ нельзя ее оценить только по одному показателю – существует множество параметров, часть из которых противоречивы (улучшение одного параметра может негативно сказаться на параметрах другого).

Существующие методы оптимизации можно разделить на четыре основные группы, в каждой из которых осуществляется:

- упорядоченная оптимизация по скалярным критериям с использованием приоритетов и последовательных уступок;
- оптимизация, рассчитанная на выявление Парето-оптимальных решений;
- оптимизация в смысле поиска решения вблизи от некоторого «идеального» значения;
- компромиссная оптимизация, в частности, агрегирование критериев с использованием весовых коэффициентов или реализацию пороговых стратегий выбора.

Каждая из этих групп имеет свои достоинства и недостатки. При этом анализ показал, что в результате применения именно четвертого метода решение будет наиболее бюджетным. Кроме того, решение на его основе также является Парето-оптимальным. Принимая во внимание указанные обстоятельства, можно утверждать, что оптимизация на основе компромиссных соотношений является наиболее подходящим методом для решения задачи оптимизации АСПЗ.

Основной принцип этого метода заключается в нахождении оптимального решения путем назначения допустимых значений локальных критериев либо установления определенных весовых соотношений между локальными критериями [3]. В последнем случае формирование обобщенной целевой функции происходит через введение меры согласованности между всеми нормированными частными показателями качества и представления данной функции в виде свертки.

Постановка задачи оптимизации следующая:

Пусть

$$V = \{v_i\}, i = 1, 2, \dots, N,$$

где V – множество допустимых вариантов отдельных мероприятий по модернизации или совершенствованию системы противопожарной защиты; N – общее количество рассматриваемых вариантов.

Решение задачи оптимизации сводится к определению варианта v^* , максимизацию интегрального критерия F :

$$v^* = \max F_i, \quad (2)$$

где F_i – оператор свертки, агрегирующий оценки f_j по частным критериям каждой i -ой работы с учетом их значимости, выраженной через соответствующие весовые коэффициенты W_j ,

$$F_i = F(W_1, W_2, \dots, W_j, \dots, W_m; f_1, f_2, \dots, f_j, \dots, f_m) \quad (3)$$

где m – число частных параметров, используемых в системе оценки.

В качестве интегрального критерия используется взвешенная сумма частных критериев каждого варианта

$$F_i = \sum_{j=1}^m W_j f_j. \quad (4)$$

Для получения результата, обладающим прикладной ценностью, важным является выбор показателей для оценки с их весовыми коэффициентами W_i .

В последствии, принимая во внимание технологические и инфраструктурные особенности крупного промышленного объекта, выделяются три группы показателей: функциональные, качественные и стоимостные [2].

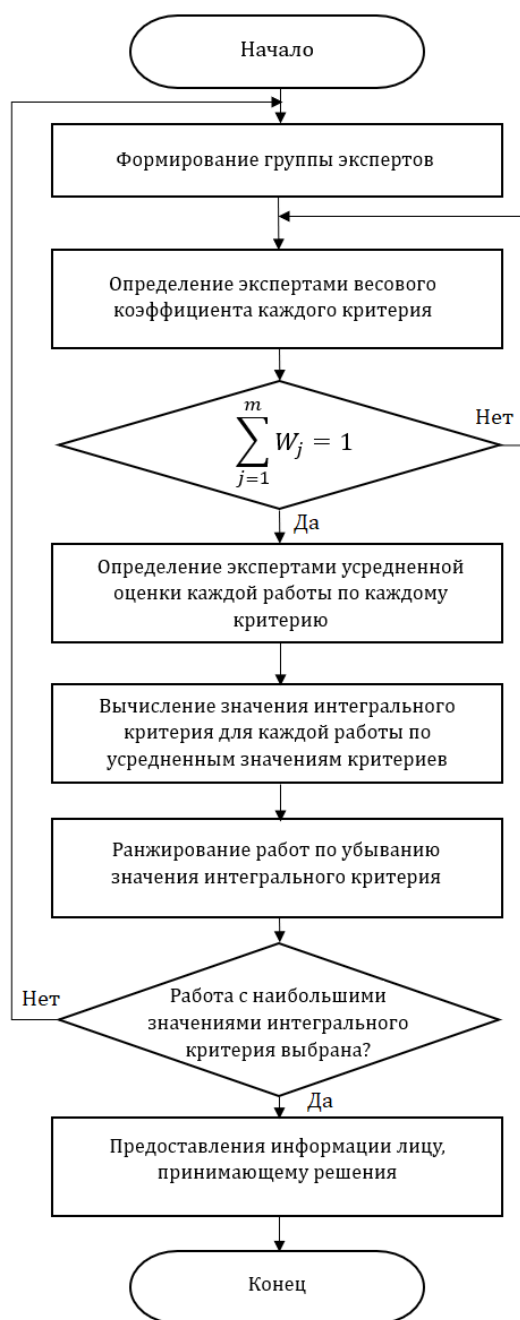
Функциональные показатели характеризуются временем обнаружения пожара, помехоустойчивостью и надежностью системы.

Качественные показатели характеризуются критериями удобства эксплуатации и адаптивности системы.

Стоимостные показатели характеризуются стоимостью модернизации и эксплуатационных расходов.

Каждому из критериев присваивается оценка по индивидуальной шкале, где максимальный параметр соответствует высокой степени улучшения, а минимальный – отсутствию изменений.

Интегральная оценка каждого варианта определяется посредством взвешенной суммы частных критериев. Для обеспечения корректно-



Алгоритм принятия оптимального решения на основе многокритериальной оптимизации

сти агрегирования сумма весовых коэффициентов W_j должна быть равна единице:

$$\sum_{j=1}^m W_j = 1. \quad (5)$$

После расчета интегрального критерия для каждого из вариантов осуществляется их ранжирование в порядке убывания значений критерия. Окончательное решение о приоритетности проведения работ принимается руководством технической службы крупного промышленного объекта.

Данный метод предполагает создание алгоритма принятия оптимального решения (рисунк).

Таким образом, в результате проведенного исследования был разработан алгоритм многокритериальной оптимизации, который позволяет определить оптимальные направления модернизации АСПЗ крупных промышленных объектов. Данный метод позволяет не только оптимально распределить ресурсы, но и повысить эффективность процесса модернизации АСПЗ, что особенно важно в условиях ограниченного бюджета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валиев, Р. Р. Методика многокритериальной оценки эффективности принятия решений при тушении пожаров на объектах нефтегазовой промышленности / Р. Р. Валиев, И. Ф. Хафизов, Ф. Ш. Хафизов, А. А. Шарафутдинов // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 4. – С. 63–69.
2. Буцынская, Т. А. Применение метода векторной оптимизации при совершенствовании систем пожарной сигнализации / Т. А. Буцынская, С. Ю. Журавлев // Пожарная безопасность. – 2008. – № 1. – С. 93–97
3. Тертерян, А. С. Методы оптимизации многокритериальных задач с использованием локальной качественной важности критериев / А. С. Тертерян // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах : матер. XVII Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2021. – ИЦ «Наука», 2021. – С. 415–423.