

Ломакин В. В., канд. техн. наук, проф.,  
Лифиренко М. В., аспирант,  
Михелев М. В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

lifirenko@bsu.edu.ru

В настоящее время актуальными стали вопросы поддержки разработки и проектирования, так как сложность создаваемых систем повышается. В статье показаны инструментальные средства поддержки жизненного цикла автоматизированных систем управления наружным освещением. Исходя из исследования специфики автоматизированных систем управления наружным освещением, установлено, что на каждом этапе совершенствования системы необходимо ранжировать новые функции для определения наиболее приоритетных с точки зрения последующей реализации. Для ранжирования функций в статье была проведена формализация критериев оценки. В статье рассмотрено, что наиболее эффективным способом описания для такого большого и разнородного набора критериев является модель в виде иерархии. В качестве экспертного метода оценки использовался метод анализа иерархий. Были решены вопросы, связанные с получением согласованных суждений экспертов. Предложенные инструментальные средства позволяют повысить объективность оценки функций системы и снизить риски и затраты на разработке и внедрении.

**Ключевые слова:** разработка систем, принятие решений, сложные системы, автоматизированная система управления наружным освещением.

**Введение.** Автоматизированные системы управления наружным освещением (АСУНО) [9] имеют большое время жизненного цикла (25-50 лет), на протяжении которого система постоянно совершенствуется и модернизируется. Поэтому необходимо исследование существующих подходов к поддержке жизненного цикла автоматизированных систем с целью получения наиболее рациональных технических решений и тактики их совершенствования. Жизненный

цикл автоматизированной системы [1] – развитие системы, начиная со стадии разработки концепции и заканчивая прекращением применения. Существуют различные модели жизненного цикла: каскадная, итерационная, спиральная и другие. В настоящий момент наиболее популярной моделью считается спиральная модель (рис. 1), которая дает возможность за короткий срок получить рабочий прототип системы.

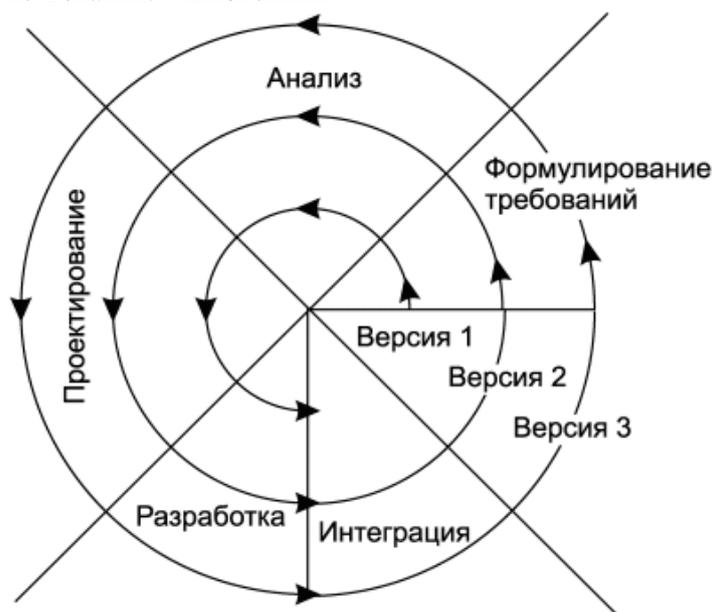


Рис. 1. Спиральная модель жизненного цикла систем

Как видно из рис. 1, спиральный подход, представляющий собой процесс частичной реализации всей системы наряду с постепенным

наращиванием функциональных возможностей. С помощью этого подхода ускоряется процесс создания функционирующей системы, при этом

уменьшаются затраты на разработку и внедрение, предшествующие достижению уровня заданных технических характеристик.

В АСУНО необходимы постоянные доработки, связанные с экономией электроэнергии и повышением эксплуатационных характеристик на основе обновления программных и техниче-

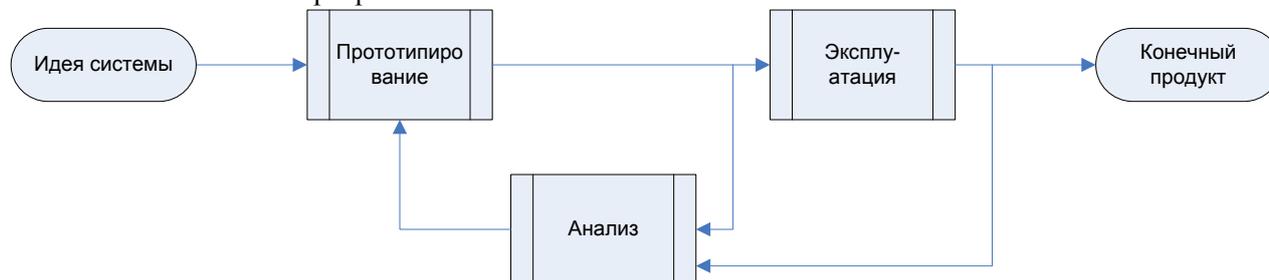


Рис. 2. Обобщенная схема разработки АСУНО по спиральной модели

На блок-схеме показаны этапы разработки продукта от идеи системы до конечного продукта. Как видно, вся разработка производится с помощью повторения процедур прототипирования, эксплуатации и анализа. Изложенный выше подход в полной мере учитывает особенность АСУНО, связанную с поэтапным внедрением.

При решении задач на всех итерациях имеют место формализованные и неформализованные этапы, при этом многие задачи ранее не были решены. Это задачи ранжирования функций с целью определения наиболее важных направлений улучшения системы, выбора способа управления освещением, выбора объектов наружного освещения для модернизации.

Данные задачи относятся к типу слабоструктурированных, и их решение можно описать с помощью многокритериальных моделей [3]. В нашем случае для получения решения необходим учет множества экономических, организационных, технических и других факторов, при этом невозможно описать зависимости с помощью четких формул и правил.

**Функции системы и критерии для их выбора.** В настоящее время функции, которые должна выполнять современная АСУНО, значительно расширились [11]. В частности, АСУНО не только позволяет управлять освещением, но и выполнять функции контроля, учета и прогнозирования потребления электроэнергии. В АСУНО активно внедряются новые технологии и технические средства, такие как: GSM, Ethernet, PLC, ZigBee, ЭПРА, ЭМПРА, DALI и другие [10].

В зависимости от того, как спланировано внедрение системы, можно по-разному распределить силы и средства при разработке той или иной функции. Как отмечалось выше, при качественном анализе функций АСУНО необходимо учесть множество факторов, и для решения дан-

ских средств. При этом все функции системы должны проходить объективную экспертную оценку в соответствии с определенным набором требований. Обобщенно последовательность совершенствования АСУНО можно схематически представить в виде схемы (рис. 2).

ного вопроса необходимо привлекать широкий круг экспертов из различных областей знаний. Поэтому решение задачи ранжирования функций системы предлагается получать на основе экспертных методов принятия решений [2].

Проведем анализ критериев, которые должны использоваться экспертами для оценки интенсивности свойств проявления отдельных функций системы. На наш взгляд, рационально распределить все критерии по кластерам, таким как: экономические, технические и организационные. Выберем и опишем критерии, входящие в данные кластеры.

Важные показатели работы АСУНО связаны с эффективностью расходования электроэнергии, поэтому необходимо учесть экономический эффект от внедрения функций энергосбережения в систему. Необходимо также учитывать финансовые и временные затраты на разработку системы. Функции, которые разрабатываются в рамках НИОКР, необходимо защищать как интеллектуальную собственность, что также важно отразить в критериях. Определенные функциональные возможности системы должны быть проанализированы с точки зрения актуальности и риска возможной незаинтересованности у клиентов.

Каждый вариант построения системы необходимо оценить по сложности технической реализации. Системы, работающие в энергетической сфере, должны отвечать высоким требованиям надежности, поэтому необходимо учесть влияние каждого технического элемента АСУНО на надежность системы. При выборе набора функций важно обеспечить совместимость между конструктивными модулями и обеспечивающими подсистемами, а также возможность масштабирования. При разработке технических решений важными факторами успешной реализации являются степень проработанности предложенных технических и технологических реше-

ний и опыт в необходимых областях. Кроме того, необходимо учитывать опыт реализации аналогичных решений в других системах. На успешное завершение разработки оказывают влияние качество оснащения лаборатории. Для определения направления развития АСУНО важно оценить степень влияния реализованных функций на состав и структуру будущих разработок.

Организационный кластер критериев связан с методами организации работ, технической документацией и персоналом. Важно учесть достаточность количественного и квалификационного состава персонала для реализации функции.

Значительное влияние на конечный результат оказывают такие факторы, как нацеленность команды на успешную реализацию функции и энтузиазм, проявленный при выполнении работы.

Формализуем описание выбранных критериев с помощью иерархии множеств. Обозначим через  $M$  – множество критериев ранжирования функций, которое состоит из кластеров (подмножеств критериев):  $M_э$  – подмножество экономических критериев,  $M_т$  – подмножество технических критериев,  $M_о$  – подмножество организационных критериев. В соответствии с выбранными обозначениями представим структуру критериев в виде иерархии (рис. 3).

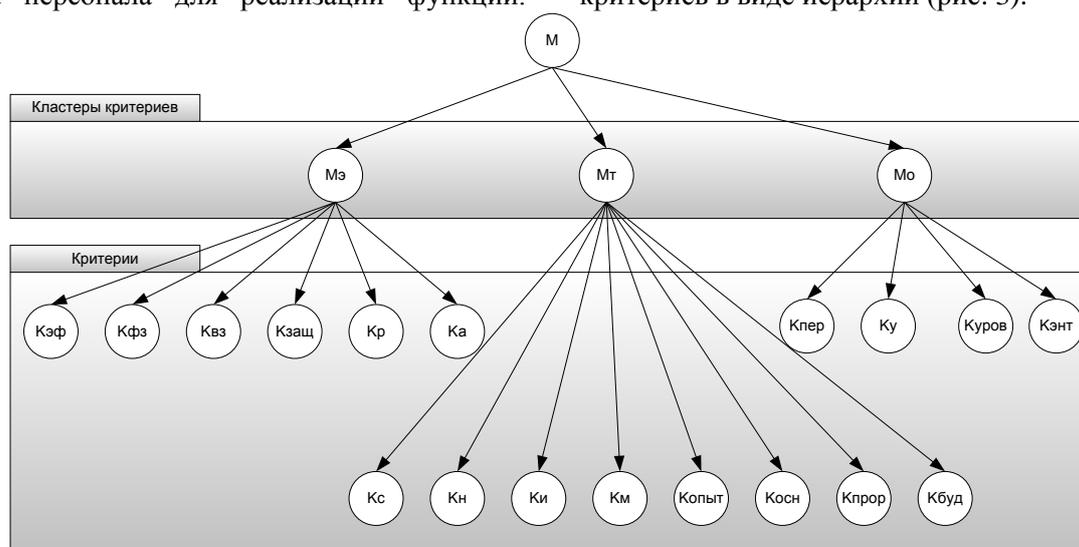


Рис. 3. Структура критериев в формализованном виде

Подмножество  $M_э$  состоит из  $K_эф$  – экономический эффект от внедрения функции в систему,  $K_фз$  – финансовых затрат на реализацию функции,  $K_вз$  – временных затрат,  $K_защ$  – необходимость защиты функции,  $K_р$  – риск будущей невостребованности данной функции,  $K_а$  – актуальность данной функции.

Подмножество  $M_т$  (см. рис. 3) состоит из  $K_с$  – сложность реализации,  $K_н$  – влияние на надежность системы,  $K_и$  – интегрируемость с другими техническими решениями и системами,  $K_м$  – масштабируемость функционала,  $K_опыт$  – опыт реализации такого рода функционала,  $K_осн$  – качество оснащения лаборатории,  $K_прор$  – степень проработанности предложенных технических и технологических решений,  $K_буд$  – влияние на будущие разработки.

Подмножество  $M_о$  состоит из 4 критериев:  $K_пер$  – наличие персонала для реализации функции,  $K_у$  – степень нацеленности команды на успех,  $K_уров$  – уровень подготовки команды,  $K_энт$  – энтузиазм команды для реализации функции.

Важно отметить, что состав критериев может с течением времени изменяться, поэтому необходимо учесть это при выборе средства

поддержки принятия решений. Таким образом, полученная трехуровневая система критериев дает необходимую основу для определения параметров и функций АСУНО на всех этапах ее жизненного цикла.

**Реализация средств принятия решения для ранжирования функций системы.** Выше формально описана задача ранжирования функций системы и определен состав критериев для оценки функций АСУНО. Поэтому на следующем этапе перейдем к решению задачи выбора инструментального средства для реализации многокритериальной задачи принятия решений. При этом необходимо структурировать и определить набор функций АСУНО для последующей оценки лицом, принимающим решение (ЛПР) или экспертом. В таком случае структура системы для решения задачи оценки приоритетов функций АСУНО будет представлена пятиуровневой иерархией (рис. 4).

На рис. 4 функции (F11 – F52) разделены на группы (F1-F5), обычно это является удобным способом разделить функции по назначению. В данном случае F1 – группа функций, повышающих информативность интерфейса пользователя, F2 – группа функций, повышающих надеж-

ность системы, F3 – группа функций, предоставляющих интеграцию других устройств в систему, F4 – группа функций, предоставляющих новые способы передачи данных, F5 – функции, предоставляющие новые возможности. В группу F1 входят функции: F11 – отображение графиков изменения величин, F12 – внедрение всплывающих сообщений диспетчера; в группу F2: F21 – поддержка двух SIM-карт, F22 – повышение стабильности связи и её монито-

ринг, F23 – резервное копирование базы данных; в группу F3: F31 – работа со счетчиками электроэнергии определенных фирм изготовителей, F32 – добавление настроечных параметров для поддержки различных видов датчиков; в группу F4: F41 – управление светильниками по каналу ZigBee, F42 – управление светильниками по каналу PLC; и в группу F5: F51 – поддержка других устройств, работающих по протоколу Mod-Bus, F52 – поддержка датчика освещенности.

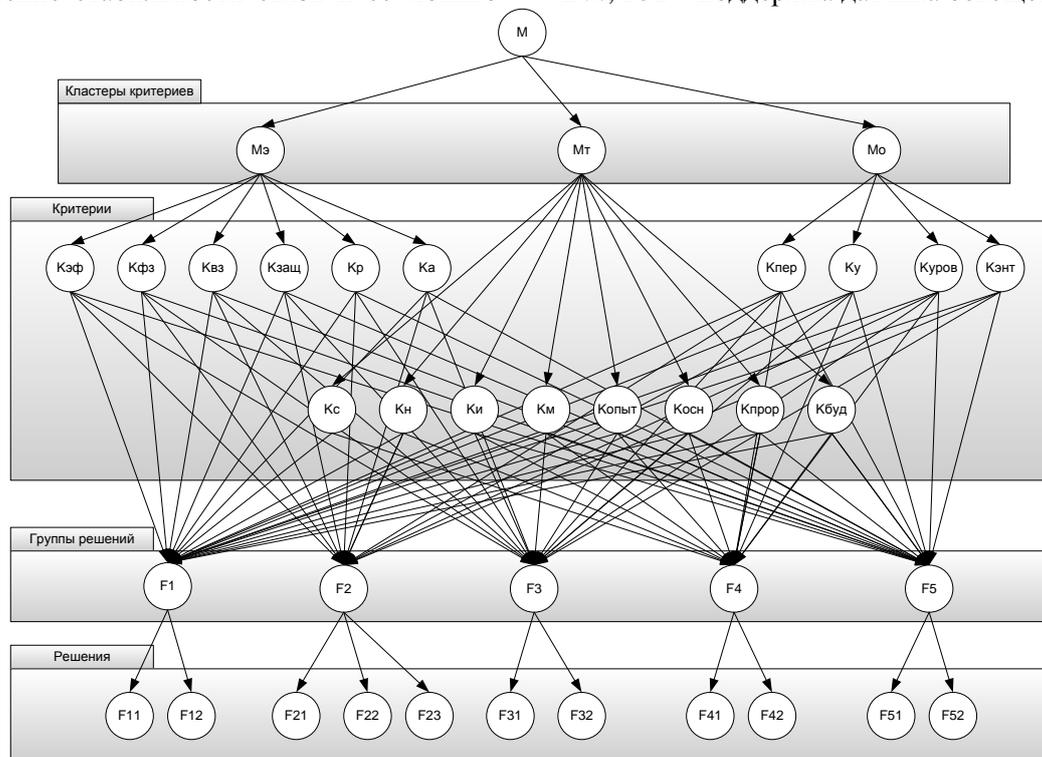


Рис. 4. Иерархическая структура системы функций АСУНО для задачи их ранжирования

Как видно, структура иерархической системы достаточно сложна и включает множество взаимосвязей, поэтому для ранжирования функций АСУНО необходимо применить методы, с помощью которых оценка бы производилась поэтапно, оценивая элементарные составляющие данной структуры. К наиболее подходящему методу для такой задачи относится метод анализа иерархий (МАИ)[2,8], который позволяет получить числовые приоритеты альтернатив после проведения парных сравнений системы экспертами по каждому из критериев отдельно.

Перечислим основные этапы решения многокритериальных задач на основе МАИ, реализованные в СППР «Решение» [6]:

1. Структуризация задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями.
2. Определение экспертной группы, производящей оценку.
3. Эксперты или ЛПР проводят попарные сравнения элементов на каждом уровне иерархии. Результаты их сравнений переводятся в числовые.

4. Проверка на согласованность суждений экспертов. Повышение согласованности при необходимости.

5. Производится вычисление приоритетов на каждом из уровней иерархии.

6. Вычисление результирующего количественного показателя для каждой из альтернатив и определение наилучших альтернатив.

Предполагается, что оценка функций АСУНО производится группами экспертов. При обработке материалов коллективной экспертизы необходимо оценить согласованность суждений каждого эксперта. Для определения согласованности суждений экспертов по методу парных сравнений в МАИ используются следующие коэффициенты: индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС). Достоверность оценок считается приемлемой, когда ИС и ОС имеют значения в пределах от 0 до 0,1. В противном случае суждения имеют логические противоречия или повышенный элемент случайности при формировании матрицы парных сравнений. Задача дополнительной оценки экс-

пертом матрицы является трудоемкой, так как ИС и ОС являются интегрированными показателями логической достоверности суждений и не показывают, какие элементы матрицы наиболее недостоверны. Это обосновывает организацию средств, позволяющих указать экспертам на наиболее несогласованные элементы матрицы парных сравнений для последующего принятия решений по их изменению. Поэтому нами предложен инструментарий для поиска суждений экспертов с наиболее вероятными ошибками и средствами оценки возможности сохранения итоговых результатов с точки зрения последующей корректировки.

Наряду с организационными методами повышения согласованности суждений экспертов, разработан автоматизированный метод повышения согласованности парных сравнений [4], основанный на применении анализа взаимовлияния парных сравнений на итоговые приоритеты. С помощью данного метода эксперт может скорректировать матрицу парных сравнений автоматически. После ранжирования функций АСУНО получаем набор наиболее приоритетных функций для первоочередной реализации на данной итерации жизненного цикла, что уменьшает время внедрения и способствует более эффективному расходованию ресурсов.

**Выводы.** Исходя из исследования специфики АСУНО, установлено, что на каждом этапе совершенствования системы необходимо ранжировать новые функции для определения наиболее приоритетных с точки зрения последующей реализации. Получена трехуровневая структура критериев оценки функций АСУНО, применяемая для решения задачи оценки альтернатив на основе МАИ. Путем декомпозиции трехуровневой структуры получена иерархия ранжирования функций АСУНО для определения наиболее приоритетных с точки зрения очередности реализации. Решены вопросы, связанные с получением согласованных суждений экспертов в МАИ. Предложенный подход и инструментальные средства позволяют повысить эффективность внедрения АСУНО, особенно в случаях, когда заказчик ставит задачу ее постоянного совершенствования. Предложенные инструментальные средства поддержки жизненного цикла были использованы в АСУНО «Гелиос» [7], внедренной в России и за рубежом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – Введ. 2010-11-30. – М.: Стандартинформ, 2011. – 105 с.: ил.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
3. Кочеткова И.А., Рубанов В.Г. Системный анализ экспериментов с моделью с применением геометрического метода распознавания образов и теории нечетких множеств // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №2. С. 20-26.
4. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов // Фундаментальные исследования. 2013. №11. С.1798-1803
5. Ломакин В.В., Трухачев С.С., Косоногова М.А., Асадуллаев Р.Г. Интерактивная динамическая модель обучения на основе интеллектуальной системы поддержки принятия решений и многомерных баз знаний // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №1. С. 177–179
6. Лифиренко М.В., Ломакин В.В. Система поддержки принятия управленческих решений на основе усовершенствованного аналитико-иерархического процесса // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013616249 от 02.07.2013г.
7. Михелев М.В., Насипов И.В., Лифиренко М.В., Ковляшенко А.С., Макаров С.А. Программа управления уличным освещением «Гелиос 2.0» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013616209 от 02.07.2013г.
8. Безрук В.М., Скорик Ю.В., Лебедев О.Г., Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Выбор оптимальных речевых кодеков на основе методологии многокритериальной оптимизации // Информационные системы и технологии. 2014. №2(82). С. 84-92
9. Лифиренко М.В. Система управления уличным освещением как этап создания «Умного города» [Электронный ресурс]. // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. Шухова. 2011г. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)
10. Образцов С.А., Панфилов Д.И. Децентрализованная беспроводная система управления наружным освещением // Светотехника. 2012. №1. С. 32–36.
11. Михелев М.В. Формализация бизнеса с помощью графоаналитических моделей // Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». 2009. №1(56) выпуск №9/1. С. 84-92.