

УДК 004.891.2, 004.896

КОМПЛЕКС КРИТЕРИЕВ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ**Ломакин В.В., Лифиренко М.В., Асадуллаев Р.Г.***ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: lomakin@bsu.edu.ru*

Статья посвящена разработке инструментальных средств для поддержки принятия решения при создании систем управления наружным освещением. Приведена схема жизненного цикла автоматизированных систем управления наружным освещением, определена необходимость разработки средств поддержки принятия решений на этапах создания и модификации. Получен комплекс критериев для оценки интенсивности свойств проявления функций системы управления наружным освещением. Предложен новый метод для выявления и возможной корректировки конкретных суждений, влияющих на низкую согласованность парных сравнений. Определена последовательность шагов для получения более согласованных суждений на основе применения предложенного метода. Разработаны алгоритмы, решающие задачи повышения согласованности экспертных оценок в процессе принятия решений и выбора метода корректировки матрицы парных сравнений. Предложенные методы и алгоритмы используются авторами в разработанном ими программном обеспечении.

Ключевые слова: принятие решений, комплекс критериев, парные сравнения, согласованность матрицы парных сравнений, обработка экспертных данных, система управления наружным освещением

SET OF CRITERIA AND ALGORITHMIC SUPPORT FOR DECISION-MAKING IN CONTROL SYSTEMS OF EXTERNAL LIGHTING**Lomakin V.V., Lifirenko M.V., Asadullaev R.G.***Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Belgorod National Research University», Belgorod, e-mail: lomakin@bsu.edu.ru*

The article is devoted to the development of tools for decision making support in creating outdoor lighting control systems. The scheme of the life cycle of the outdoor lighting automated control systems was shown, the need to develop decision support tools during the stages of the creation and modification was determined. Set of criteria for evaluating of the intensity of outdoor lighting control system development features was received. The new method for the detection and possible correction of specific judgments that affect the low consistency of pair comparisons was proposed. The sequence of steps for a more consistent judgments on the basis of the proposed method application was defined. The algorithms that solve the problems of increasing the consistency of expert judgments in decision-making and the choice of adjustment method for paired comparisons matrix. The proposed methods and algorithms were used in software developed by the authors.

Keywords: decision-making, set of criteria, pair comparisons, coherence of a matrix of pair comparisons, processing of expert data, external lighting control system

В настоящее время развитие общества неразрывно связано с вопросом о технико-технологическом развитии, меняющем среду обитания человека. Среда обитания человека, наполненная техногенными элементами, трансформируется, изменяя естественные характеристики, адаптируясь к требованиям и запросам человека. Риски бесконтрольного развития технико-технологической сферы создают вероятность возникновения неверных сценариев техногенной эволюции. Превентивные формы нивелирования негативных последствий стохастического развития могут быть предложены в виде систем управления техносредой обитания человека. Указанные вопросы очень сложно вписать в рамки определенной схемы решения. Однако выходом здесь может являться приведение данных задач

к типу слабоструктурированных, в связи с чем необходима разработка методов и средств решения данного класса задач.

Проблема повышения энергоэффективности является одной из важных задач в техногенной эволюции на современном этапе. Решение данной проблемы в экономике в текущей ситуации является антикризисной мерой не только в масштабе государственного развития, но и в цивилизационном масштабе, что обусловлено тесной взаимосвязью энергетической отрасли со всей средой обитания человека. Наряду с осознанием этой важности, существует реальный недостаток объективной информации, которая бы позволяла выстраивать четкий план перехода на новые технологии и модернизации старых. Одной из областей, где могут быть активно внедрены энерго-

сберегающие технологии, является управление наружным (уличным) освещением.

Жизненный цикл (ЖЦ) автоматизированной системы – развитие системы, начиная со стадии разработки концепции и заканчивая прекращением применения системы. Из этого определения следует, что идентификация и выбор модели ЖЦ, в первую очередь касается таких вопросов, как определенность и стабильность требований, жесткость и детализованность плана работ, а также частота выпуска новых версий программных средств. Модели жиз-

ненного цикла делят на три основные: каскадная, итерационная, спиральная. Предпочтительной для автоматизированных систем управления наружным освещением (АСУНО) является спиральная модель ЖЦ, так как разработка АСУНО связана с плохой детализованностью работ, их сложностью и необходимостью частого выпуска новых прототипов системы [3].

Обобщенно последовательность создания и модификации АСУНО по спиральной модели можно представить в виде схемы (рис. 1).

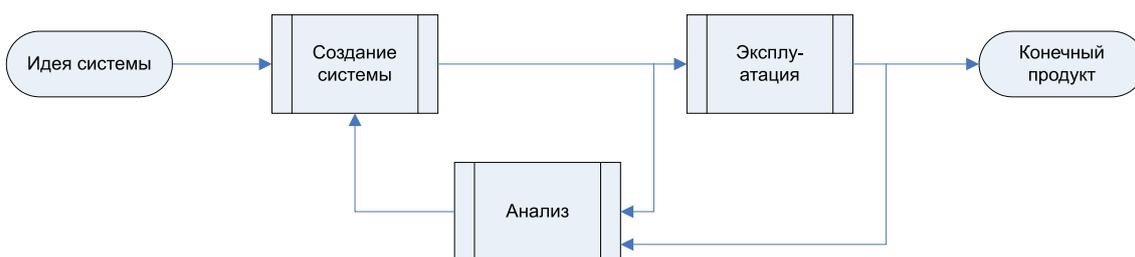


Рис. 1. Обобщенная схема разработки АСУНО по спиральной модели

На каждой итерации проектирования и разработки системы функции должны проходить объективную экспертную оценку в соответствии с определенным набором требований, поэтому необходимо решение задачи ранжирования функций системы.

Для ранжирования функций системы необходимо определить систему критериев, а также выбрать соответствующий метод принятия решений. Ввиду того, что задача ранжирования функций относится к слабоструктурированным и многокритериаль-

ным, для принятия решений был выбран метод анализа иерархий (МАИ) [6].

Основная часть

Проведем систематизацию 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 (рис. 2).

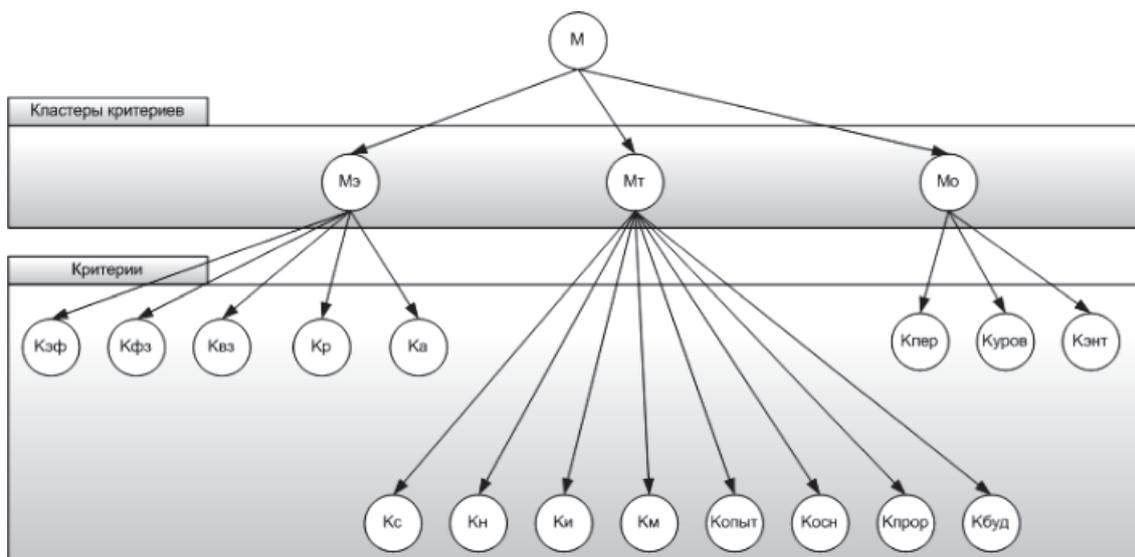


Рис. 2. Структура критериев в формализованном виде

Подмножество M_3 состоит из $K_{эф}$ – экономический эффект от внедрения функции в систему, $K_{фз}$ – финансовые затраты на реализацию функции, $K_{вз}$ – временные затраты, K_r – риск будущей не востребоваемости данной функции, K_a – актуальность данной функции.

Подмножество M_4 (рис. 2) состоит из K_c – сложность реализации, K_n – влияние на надежность системы, K_i – интегрируемость с другими техническими решениями и системами, K_m – масштабируемость функционала, $K_{оп}$ – 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_5 состоит из 4 критериев: $K_{пер}$ – наличие персонала для реализации функции, $K_{уров}$ – уровень подготовки команды, $K_{энт}$ – энтузиазм команды для реализации функции.

При практическом использовании предложенного подхода для ранжирования функций возникли сложности, связанные с получением согласованных суждений экспертов. С одной стороны, МАИ ориентирован на формирование матрицы парных сравнений самим человеком, с другой стороны, существуют рекомендации о числовых границах параметров согласованности [7]. При практическом использовании методов принятия решений вопросы повышения степени со-

гласованности суждений достаточно сложны для лиц, принимающих решение (ЛПР), и экспертов. Поэтому возникла необходимость решения задачи повышения согласованности матриц парных сравнений со степенной калибровкой, используемых в МАИ. При исследовании методов повышения согласованности [4] были определены их недостатки, связанные со сложностью процесса и невозможностью определения конкретных суждений экспертов, имеющих наименьшую согласованность с другими суждениями.

Нами разработан новый метод для выявления и возможной корректировки конкретных суждений [2], влияющих на низкую согласованность парных сравнений. Опишем последовательность шагов для получения более согласованных суждений на основе применения предложенного метода [2]:

1. Построение по исходной матрице парных сравнений графа $G = \langle V, E \rangle$, где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество вершин, состоящих из элементов сравнения, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – множество ребер, характеризующих наличие сравнительной оценки для пары вершин; n – количество элементов сравнения; m – количество сравнений, равное $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$, если сравнение производится для всех парами элементов.

2. Поиск максимального остовного подграфа в графе $G = \langle V, E \rangle$ [5].

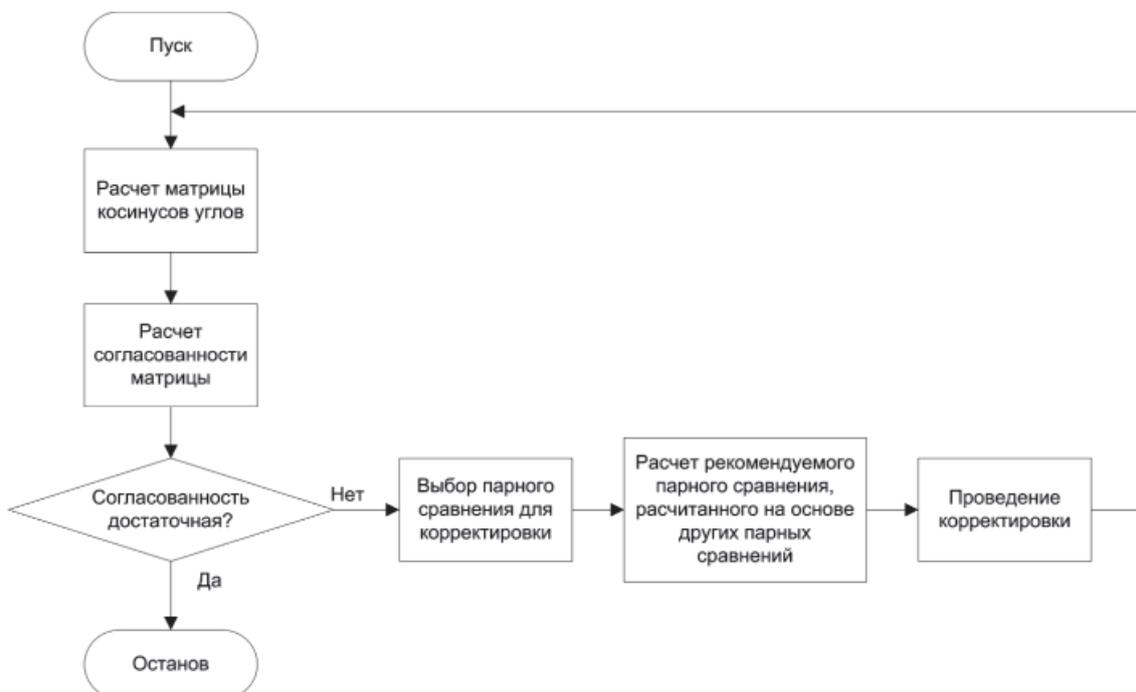


Рис. 3. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений в итерационном режиме

3. Дополнение остовного графа до полного графа посредством перебора всех пар вершин остовного графа, которые не имеют прямой связи, нахождения для этих пар соответствующих значений и определения новых оценок $S' = \{s'_1, s'_2, \dots, s'_m\}$.

4. Приведение полученных оценок к оценкам по применяемой шкале

$$h = \frac{\max(S') - 1}{\max(S'') - 1},$$

где $\max(S')$ – максимальная сравнительная оценка в множестве оценок S' , которая определяет верхнюю границу рассчи-

танных оценок, а $\max(S'')$ – максимальная сравнительная оценка в множестве оценок S'' применяемой шкалы.

Процесс корректировки в полностью автоматическом режиме не всегда возможен, так как имеют место случаи с низкой согласованностью, когда при корректировке анализ исходных данных не дает полезной информации. В случае значительной несогласованности исходных данных необходим итерационный процесс повышения согласованности, а в некоторых случаях корректировка не сможет помочь и необходимо проводить экспертный опрос повторно.

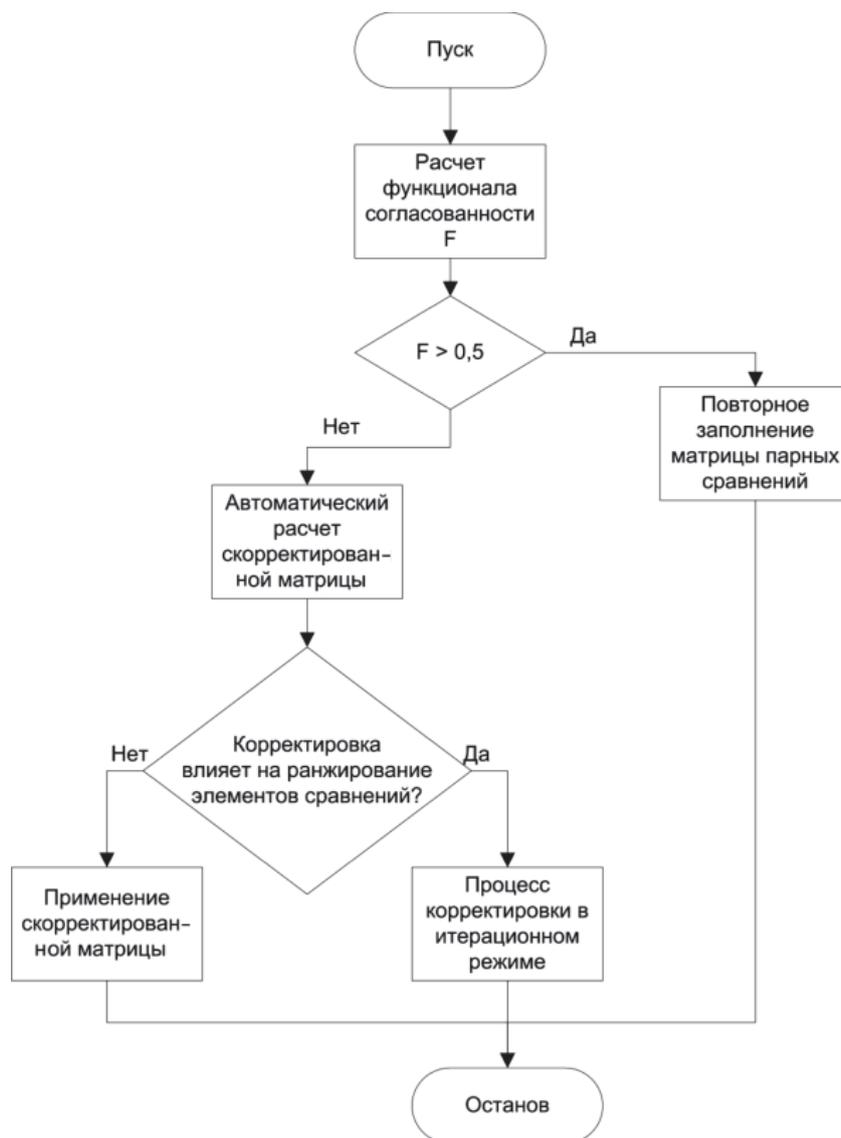


Рис. 4. Алгоритм выбора метода корректировки матрицы парных сравнений

В итерационном процессе корректировки определяется отдельный элемент сравнения, имеющий самую низкую степень согласованности, и выдается рекомендуемая оценка, при

этом окончательное значение пользователь определяет самостоятельно. Алгоритм процесса повышения степени согласованности в итерационном режиме представлен на рис. 3.

Для решения вопроса выбора способа повышения согласованности парных сравнений получим решающее правило, с помощью которого определяется один из методов корректировки: автоматическая, итерационная или повторный экспертный опрос.

Условием возможности осуществления автоматической корректировки является ситуация, когда после исправления матрицы в автоматическом режиме результат ранжирования элементов сравнения не изменился, при этом степень согласованности уменьшилась. Итерационный процесс корректировки возможен, когда исходные данные несут полезную информацию, и степень их согласованности достаточна для принятия решения о выборе конкретного элемента для возможной корректировки. На практике итерационный процесс целесообразен в случае, если значение предложенного нами в [2] функционала согласованности F меньше 0,5. В остальных случаях нельзя полагаться на экспертные данные, так как они противоречат друг другу, и необходимо проводить экспертный опрос повторно. Данное решающее правило реализовано в виде алгоритма (рис. 4).

Заключение

Таким образом, проанализирован жизненный цикл АСУНО и установлено, что необходимо осуществление поддержки принятия решений при создании и модификации системы. Для ранжирования функций АСУНО разработана система критериев. Выявлено, что при проведении процедуры принятия решений возникают сложности по достижению необходимой согласованности экспертных данных, и предложены алгоритмы их корректировки. Для выбора рационального режима корректировки разработано решающее правило, основанное на вычислении предложенного нами ранее функционала согласованности [2]. Предложенные методы и алгоритмы реализованы авторами в новой версии СППР «Решение» [1]. Разработанные инструментальные средства позволяют ранжировать функции АСУНО на этапах её создания и модификации.

Выводы

Внедрение методов поддержки принятия решений позволяет повысить эффективность создания АСУНО за счет учета совместного влияния качественных и количественных параметров на итоговый результат. Систематизированы критерии, на основании которых возможно ранжировать функции АСУНО в процессе создания и поэтапного внедрения. Предложенные алгоритмы повышения согласованности экспертных суждений позволяют повысить степень доверия к получаемым результатам, что является существенным аргументом для повышения обоснованности принимаемых решений. Разработанные инструменталь-

ные средства могут быть полезными при решении слабоструктурированных прикладных задач в различных сферах применения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 143800047 «Прогнозирование и управление социальными рисками развития техногенных человекомерных систем в динамике процессов трансформации среды обитания человека» при участии НИУ «БелГУ», ИСПИ РАН, ЮЗГУ.

Список литературы

1. Лифиренко, М.В. Система поддержки принятия управленческих решений на основе усовершенствованного аналитико-иерархического процесса / М.В. Лифиренко, В.В. Ломакин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616249 от 02.07.2013.
2. Ломакин, В.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11. – С. 1798–1803.
3. Ломакин, В.В. Инструментальные средства поддержки жизненного цикла автоматизированных систем управления наружным освещением на основе экспертных методов принятия решений / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко, М.В. Михелев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2014. – № 5. – С. 196–200.
4. Cao D., Leung L.C. and J. Law Modifying inconsistent comparison matrix in analytic hierarchy process: a heuristic approach // Decision Support Systems. – 2008. – № 44(4) – P. 944–953.
5. Joseph. B. Kruskal, On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem // Proc. AMS – 1956 – № 7(1) – P. 48–50.
6. Saaty T.L. Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation // University of Pittsburgh, RWS Publications – 1990 – P. 287.
7. Saaty T.L. How to make a decision the analytic hierarchy process // European Journal of Operational Research – 1990 – № 48 – P. 9–26.

References

1. Lifirenko, M.V. System support management decisions based on improved analytic hierarchy process / M.V. Lifirenko, V.V. Lomakin // Certificate of state registration of the computer no. 2013616249 of 02.07.2013.
2. Lomakin, V.V. Algorithm to enhance the coherence of paired comparisons matrix when carrying out expert surveys / V.V. Lomakin, M.V. Lifirenko // Fundamental research. 2013. no. 11. pp. 1798–1803.
3. Lomakin, V.V. Tools of support of life cycle of automated control systems for external lighting on the basis of expert methods of decision-making / V.V. Lomakin, M.V. Lifirenko, M.V. Mihelev // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. Belgorod, 2014. no. 5. pp. 196–200.
4. Cao D., Leung L.C. and J. Law Modifying inconsistent comparison matrix in analytic hierarchy process: a heuristic approach // Decision Support Systems. 2008. no. 44(4). pp. 944–953.
5. Joseph. B. Kruskal, On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem // Proc. AMS. 1956. no. 7(1). pp. 48–50.
6. Saaty T.L. Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation // University of Pittsburgh, RWS Publications. 1990. pp. 287.
7. Saaty T.L. How to make a decision the analytic hierarchy process // European Journal of Operational Research. 1990. no. 48. pp. 9–26.

Рецензенты:

Рубанов В.Г., д.т.н., профессор, директор института информационных технологий и управляющих систем, ФГБОУ ВПО «БГТУ им В.Г. Шухова», г. Белгород;

Ивашук О.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры информационных систем управления, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 28.11.2014.