УДК 654.078
DOI: 10.17277/vestnik.2026.03.pp.363-372

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА МНОЖЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СИСТЕМОЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© В. В. Алексеев[1] ✉, Е. В. Емельянов[2], Д. А. Иванов[3], И. Г. Рыжов[3]

[1] *Кафедра «Информационные системы и защита информации», vvalex1961@mail.ru, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация;*
[2] *АО «Автодор-Эксплуатация», Москва, Российская Федерация;*
[3] *кафедра механики и процессов управления, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Москва, Российская Федерация*

Ключевые слова: внешний фактор; зона покрытия; интегральный показатель качества; метод анализа иерархий; многокритериальный анализ; нечеткое отношение; поддержка принятия решения; система специального назначения.

Аннотация: Представлен алгоритм поддержки принятия решения, основанный на многокритериальном анализе альтернатив с использованием методов анализа иерархий, парных сравнений и нечетких отношений предпочтения. На примере управления зонами покрытия системы мобильной связи показано, что потенциальные возможности алгоритма позволяют осуществить выбор рационального управляющего воздействия на основе интегральной оценки качества функционирования системы в условиях воздействия внешних факторов.

Введение

Современные системы специального назначения (**ССН**) функционируют в условиях непрерывного изменения как внутренних, так и внешних факторов. Так, для систем мобильной связи (**СМС**) такими параметрами являются изменения пользовательской нагрузки, состояния среды распространения радиоволн, условия электромагнитной совместимости и т.п. Изменение указанных факторов приводит к ухудшению характеристик зоны покрытия и снижению качества обслуживания пользователей, что повышает необходимость оперативного формирования управляющего воздействия на исполнительные механизмы СМС. Известно, что в организационно-технических системах, к каким относятся ССН и СМС, в частности, процесс управления сопровождается процессом поддержки принятия решения, который в свою очередь для СМС определяется полнотой информации о состоянии сети и необходимостью выбора наиболее рационального управляющего воздействия из множества допустимых альтернатив. В этих условиях, в частности, задача управления зонами покрытия приобретает многокритериальный характер и требует применения формализованных методов поддержки принятия решения. Практическая реализация моделей управления зонами покрытия в современных СМС осуществляется посредством централизованных контуров управления системой, опираясь на схему, представленную в работе [1].

Цель исследования – повышение эффективности управления ССН в условиях динамического изменения воздействия внешних факторов.

Постановка задачи многокритериального выбора управляющего воздействия при управлении зонами покрытия

Исследование существующих подходов применительно к СМС показало, что управление зонами покрытия развивалось преимущественно по двум направлениям: совершенствование методов расчета радиопокрытия и развитие механизмов адаптивной настройки параметров сети. Первое направление обеспечивало оценку условий распространения сигнала и прогнозирование зоны обслуживания, второе – изменение параметров функционирования сети в процессе эксплуатации. Однако применение указанных подходов осуществлялось раздельно, вследствие чего изменение нагрузки, воздействие внешних факторов и изменение качества обслуживания учитывались независимо друг от друга. В процессе исследования подтверждено, что фактическое состояние зоны покрытия определяется не только отдельными параметрами, но и их совокупным влиянием друг на друга. Изменение уровня сигнала приводило к перераспределению пользовательской нагрузки, рост нагрузки вызывал изменение доступности ресурсов, а ухудшение качества обслуживания изменяло распределение абонентов между соседними зонами обслуживания. Обеспечение качества функционирования СМС в условиях динамического изменения нагрузки и воздействия внешних факторов требует организации поддержки принятия решения по управлению зонами покрытия [2]. Зона покрытия рассматривается не как проектный параметр, а как управляемое состояние СМС, изменяющееся под действием пользовательской нагрузки и внешних факторов [3].

В связи с этим для организации поддержки принятия решения при управлении зонами покрытия СМС предложено ввести интегральный показатель качества функционирования $Q(z)$, который объединяет все ключевые характеристики зоны покрытия [4 – 7]: уровень сигнала $P_{\text{signal}}(z)$, пропускную способность сети $C_{\text{channel}}(z)$, нагрузку сети $L_{\text{load}}(z)$, задержку передачи данных $D_{\text{latency}}(z)$, и записан выражением

$$Q(z) = w_1 f_1\left(P_{\text{signal}}(z)\right) + w_2 f_2\left(C_{\text{channel}}(z)\right) + w_3 f_3\left(D_{\text{latency}}(z)\right) + w_4 f_4\left(L_{\text{load}}(z)\right). \quad (1)$$

Выражение (1) позволяет количественно оценить текущее состояние зоны покрытия и определить необходимость выполнения управляющего воздействия. Вместе с тем значение интегрального показателя качества само по себе не определяет способ управления сетью. При возникновении неблагоприятного состояния зоны покрытия система может сформировать несколько допустимых вариантов изменения параметров сети, каждый из которых обеспечивает различный уровень эффективности, имеет собственные ограничения применения и по-разному влияет на качество обслуживания пользователей. К множеству возможных управляющих воздействий могут относиться изменение параметров излучения базовых станций, корректировка угла наклона антенных систем, перераспределение пользовательской нагрузки между соседними сотами, изменение параметров процедуры handover, балансировка радиоресурсов и другие мероприятия, реализуемые средствами системы управления сетью. Следовательно, возникает задача выбора наиболее рационального управляющего воздействия из множества допустимых управляющих воздействий

$$U = \{u_1, u_2, ..., u_n\}, \quad (2)$$

где u_i – возможное управляющее воздействие, направленное на повышение качества функционирования системы.

Особенностью рассматриваемой задачи является необходимость одновременного учета большого количества факторов, оказывающих влияние на эффективность принимаемого решения. В отличие от классических задач модификации изменение одного параметра системы может приводить к разнонаправленному изменению ее остальных характеристик функционирования. Например, увеличение мощности передачи позволяет повысить уровень сигнала в зоне обслуживания, однако одновременно приводит к росту межсотовых помех и ухудшению качества обслуживания соседних сот [8]. Аналогичным образом перераспределение пользовательской нагрузки уменьшает перегрузку одной базовой станции, но способно увеличить нагрузку на соседние элементы сети.

Таким образом, выбор управляющего воздействия, в частности, для СМС, представляет собой многокритериальную задачу поддержки принятия решения, в которой необходимо одновременно учитывать изменение интегрального показателя качества функционирования сети $Q(z)$, прогнозируемую пользовательскую нагрузку, вероятность деградации зоны покрытия, показатели качества обслуживания пользователей, а также эксплуатационные ограничения сети.

Дополнительной особенностью рассматриваемой задачи является неопределенность исходной информации. Она обусловлена невозможностью полного описания состояния радиосреды, изменчивостью условий распространения радиоволн, динамическим характером пользовательской нагрузки и воздействием внешних факторов, оказывающих влияние на функционирование системы мобильной связи. Вследствие этого оценка эффективности различных вариантов управления не всегда может быть выполнена исключительно на основании количественных измерений и требует привлечения экспертных знаний о поведении сети в различных режимах эксплуатации.

С учетом изложенного задача выбора управляющего воздействия формализуется как задача многокритериального принятия решения, в которой каждой альтернативе ставится в соответствие совокупность количественных и качественных критериев оценки [9 – 11]. Для обеспечения комплексного анализа предлагается использовать иерархическую модель представления критериев, позволяющую совместно применять методы анализа иерархий, процедуры согласования экспертных оценок и аппарат нечетких множеств [12].

Иерархическая модель процесса принятия решения

Для формализации процесса выбора управляющего воздействия используется иерархическая модель принятия решения, состоящая из N уровней. Верхний уровень соответствует цели принятия решения, промежуточные уровни содержат критерии оценки, а нижний – представляет множество альтернатив управляющего воздействия.

Пусть L_i – множество элементов i-го уровня иерархии; m_i – число элементов на этом уровне. Тогда структура иерархии описывается выражением

$$H = \bigcup_{i=1}^{N} L_i = \bigcup_{i=1}^{N} \bigcup_{j=1}^{m_i} a_{i,j}, \tag{3}$$

где N – количество уровней иерархии; $a_{i,j}$ – отдельный элемент иерархии.

В общем случае количество уровней определяется степенью детализации модели принятия решения. В рамках настоящего исследования использована трехуровневая иерархия, поскольку она является достаточной для представления задачи выбора управляющего воздействия по управлению зонами покрытия СМС и не приводит к избыточному усложнению процедуры принятия решения. *Первый*

уровень соответствует цели принятия решения – выбору управляющего воздействия, обеспечивающего максимальное повышение интегрального показателя качества функционирования сети $Q(z)$. *Второй* – включает совокупность критериев, характеризующих состояние сети и ожидаемый эффект применения управляющих воздействий. *Третий* – образует множество допустимых альтернатив управления зоной покрытия мобильной связи.

Представление задачи в виде иерархической структуры позволяет перейти к формированию парных сравнений критериев и альтернатив, оценке их относительной значимости и последующему ранжированию вариантов управления с использованием методов многокритериального анализа и аппарата нечеткой логики [13]. Таким образом, на *втором* этапе сформированы парные сравнения критериев и вариантов управления зоной покрытия по шкале относительной важности $S'(m)$

$$a[i; j; k; m], \quad j = 1,...,l[i-1], \quad k = 1,...,l[i], \quad m = 1,...,l[i], \tag{4}$$

где $a[i; j; k; m]$ – степень предпочтения k-го элемента i-го уровня перед m-м элементом этого же уровня по отношению к j-му элементу вышестоящего уровня.

На *третьем* этапе из элементов $a[i; j; k; m]$ формируются обратносогласованные квадратные матрицы парных сравнений

$$A = \| a_{i,j} \|, \tag{5}$$

где $a_{i,j}$ принадлежит множеству $S'(m)$.

Количество матриц на каждом уровне, в данном случае, определяется количеством альтернатив на вышестоящем уровне, а количество строк и столбцов – количеством альтернатив на текущем уровне. Суммарное количество сформированных матриц вычисляется выражением

$$\sum_{I=1}^{n-1} l_i . \tag{6}$$

Матрицы формируются на основе парных сравнений экспертом альтернатив каждого уровня иерархии по отношению к каждой альтернативе вышестоящего уровня. Оценки производятся по шкале $S'(m)$. Это позволяет качественные оценки эксперта заменить на количественные на основе шкалы $S'(m)$, при этом будут получены обратно-симметричные матрицы.

На *четвертом* этапе осуществляется проверка согласованности суждений экспертов. Идет вычисление значения оценки согласованности (**ОС**). Если ОС меньше 20 % и удовлетворяет лицо, принимающее решение (**ЛПР**), то переходим к получению нечетких отношений нестрогих предпочтение, иначе переходим к корректировке экспертных оценок по желанию эксперта, возвращаемся к первому этапу [14 – 16]. С помощью метода многокритериального анализа, при удовлетворении согласованности, вычисляется вектор приоритетов по обратносогласованным матрицам

$$\lim_{k\to\infty} \frac{A^k e}{\| A^k \|} = cw, \quad \| A^k \| = e^{\mathrm{T}} A^k e, \tag{7}$$

где A – матрица попарных сравнений альтернатив или критериев; k – показатель степени матрицы, определяющий число последовательных итераций; e – единичный вектор, e^{T} – транспонированный вектор e; w – вектор приоритетов альтернатив или критериев; c – скалярный нормирующий множитель.

На *пятом* этапе формируются нечеткие отношения нестрогого предпочтения, позволяющие количественно учесть влияние внешних факторов:

$$R(\mu_R), \quad \mu_R \in [0;1], \tag{8}$$

где $R(\mu_R)$ – нечеткое отношение нестрогого предпочтения между рассматриваемыми альтернативами; μ_R – степень принадлежности пары альтернатив данному отношению.

На *шестом* этапе полученные данные обрабатываются двумя методами: методом анализа иерархий и методом принятия решения на базе нечеткой логики при нескольких отношениях нестрогого предпочтения с весовыми коэффициентами. Применение метода принятия решения на базе нечеткой логики, при удовлетворении транзитивной согласованности, позволяет вычислить значения вектора недоминируемости альтернатив

$$R^S = \frac{R}{R^{\text{т}}} \Rightarrow \mu_R^{nd}(v_i) = \min_{v_i \in V} \left\{ 1 - \mu_R^S(v_j, v_i) \right\} = 1 - \max_{v_j \in V} \left\{ \mu_R^S(v_j, v_i) \right\}, \tag{9}$$

где R^S – нечеткое отношение строгого предпочтения; $R^{\text{т}}$ – обратное (транспонированное) отношение предпочтения; V – множество рассматриваемых альтернатив; v_i – альтернатива, для которой определяется степень недоминируемости; v_j – альтернатива, с которой сравнивается v_i; $\mu_R^S(v_j, v_i)$ – степень строгого предпочтения альтернативы v_j перед v_i; $\mu_R^{nd}(v_i)$ – степень недоминируемости альтернативы v_i.

Сама процедура выделения области недоминируемых альтернатив реализуется следующими этапами:

1. Задание минимально допустимого уровня достижения цели по всем критериям $d_{\min}(k)$.
2. Сужение области альтернатив $\mu_R^{nd}(v_i) < d_{\min}(k)$.
3. Вычисление индексов согласия I_{ij} и $I_{ij} \Rightarrow$ выделение недоминируемых альтернатив v_i.

На *седьмом* этапе к результатам этих процедур $\arg\max w(v_i)$ и $\mu_R^{nd}(v_i)$ применяются алгоритмы иерархической свертки по векторам приоритетов вариантов и выделения области недоминируемых вариантов

$$\exists \frac{v_i}{v_i} = \arg\max w(v_i) = \mu_R^{nd}(v_i). \tag{10}$$

При удовлетворении равенства v_i – наилучшая альтернатива с наибольшим весом или вариант, недоминируемый другими. При условии высокой согласованности всех бинарных отношений, сформированных экспертами, оба алгоритма предложат одинаковое решение в качестве наиболее предпочтительного, иначе возвращаемся к корректировке экспертных оценок и проводим расчеты повторно.

Выражения (1) – (10) описывают алгоритм многокритериального выбора альтернатив, при принятии решения по управлению ССН, реализованный применительно к процессу управления зонами покрытия СМС.

Анализ результатов вычислительного эксперимента

Алгоритм многокритериального выбора альтернатив интегрирован в разработанную систему поддержки принятия решения при управлении зонами покрытия СМС, формируя замкнутый контур, в котором результаты оценки состояния сети используются для формирования управляющего воздействия [17], а эффективность принятого решения оценивается посредством расчета интегрального показателя качества функционирования.

Результаты вычислительного эксперимента по исследованию эффективности применения разработанного алгоритма при управлении зонами покрытия СМС представлены на рис. 1. По оси абсцисс отложены последовательные моменты времени наблюдения, а по оси ординат – значения интегрального показателя качества.

Полученные результаты показывают наличие трех характерных режимов функционирования системы. Область значений $Q(z) \geq 0{,}75$ принималась как нормативный режим функционирования, соответствующий устойчивому состоянию зоны покрытия и отсутствию необходимости изменения параметров системы.

Значения $0{,}50 \leq Q(z) < 0{,}75$ интерпретировались как область допустимого качества функционирования, при которой сохраняется работоспособность системы, однако возникает необходимость мониторинга состояния и применения локальных механизмов управления нагрузкой [18]. Значения $Q(z) < 0{,}50$ рассматривались как область деградации качества обслуживания и являлись основанием для формирования управляющих воздействий.

Анализ графика показывает, что исходное состояние системы (сценарий 0) характеризуется значением $Q(z) = 0{,}535$, что соответствует допустимому режиму функционирования. При переходе к сценарию 2 наблюдается снижение интегрального показателя до $Q(z) = 0{,}299$, обусловленное совместным ухудшением параметров радиодоступа и ростом пользовательской нагрузки. Полученные значения демонстрируют устойчивое снижение $Q(z)$ при совместном ухудшении параметров радиодоступа и росте пользовательской нагрузки. Максимальное значение показателя составило $Q(z) = 0{,}636$, что соответствует устойчивому состоянию сети, а минимальное значение $Q(z) = 0{,}214$ соответствует режиму деградации функционирования системы.

Полученный характер изменения интегрального показателя подтверждает чувствительность разработанной модели к изменению эксплуатационных параметров системы и показывает возможность использования показателя Q(z) в качестве основного критерия оценки состояния зоны покрытия при принятии решения

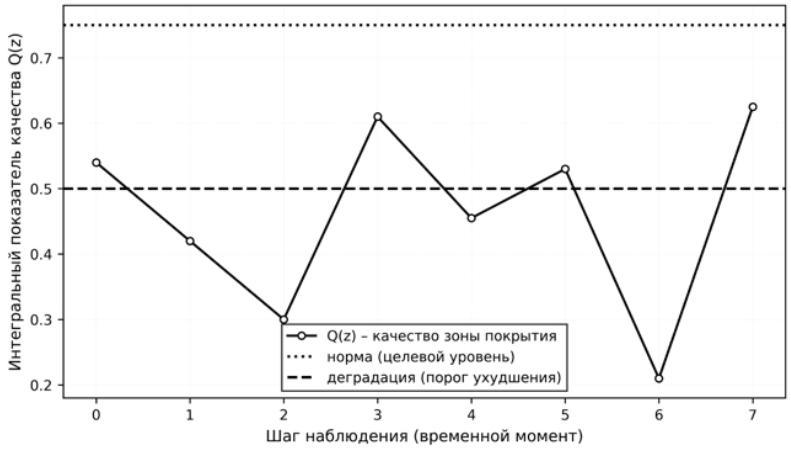

Рис. 1. Динамика изменения интегрального показателя качества

по управлению параметрами СМС. При достижении показателем $Q(z)$ критического значения система поддержки принятия решения автоматически инициирует выполнение разработанного алгоритма многокритериального выбора управляющего воздействия. По результатам анализа множества допустимых альтернатив выбирается воздействие, обеспечивающее наибольшее повышение качества функционирования системы [19].

После применения выбранного управляющего воздействия наблюдается увеличение значения интегрального показателя качества и его возврат в область допустимых значений. Таким образом, управление осуществляется не непрерывно, а только в моменты возникновения деградации зоны покрытия, что позволяет минимизировать количество управляющих воздействий и одновременно поддерживать требуемый уровень качества обслуживания пользователей.

Представленные на рисунке результаты подтверждают, что разработанный алгоритм обеспечивает своевременное обнаружение ухудшения состояния зоны покрытия, выбор рационального управляющего воздействия и восстановление требуемого уровня качества функционирования сети. Это свидетельствует об эффективности применения предложенного алгоритма в составе системы поддержки принятия решения [20].

Для оценки эффективности проведен вычислительный эксперимент, в котором моделировались различные состояния зоны покрытия СМС, отличающиеся интенсивностью пользовательской нагрузки, условиями распространения радиосигнала и характеристиками передачи данных. Для каждого состояния вычислялся интегральный показатель качества функционирования сети $Q(z)$. При снижении качества ниже установленного уровня формировалось множество допустимых управляющих воздействий, выбор которых осуществлялся разработанным алгоритмом многокритериального принятия решения.

Заключение

Показано, что разработанный алгоритм формирования управляющих воздействий в системе поддержки принятия решения эффективен при управлении зонами покрытия СМС. В основе алгоритма лежат методы иерархического представления задачи, парного сравнения альтернатив, оценки согласованности экспертных суждений и формирования нечетких отношений предпочтения, что позволяет учитывать одновременно количественные показатели состояния системы и неопределенность исходной информации. Представленный алгоритм отличается использованием интегрального показателя качества функционирования зоны покрытия $Q(z)$ при формировании и ранжировании допустимых управляющих воздействий. При снижении значения показателя ниже установленного порога алгоритм обеспечивает выбор воздействия, направленного на возврат системы в допустимую область функционирования. Результаты вычислительного эксперимента подтвердили возможность восстановления значения $Q(z)$ после его снижения вследствие изменения нагрузки и воздействия внешних факторов. Дальнейшим направлением исследования являются совершенствование методов прогнозирования изменения состояния зоны покрытия, развитие правил автоматического формирования множества допустимых управляющих воздействий, уточнение критериев их оценки и экспериментальная проверка разработанного алгоритма на эксплуатационных данных СМС.

Список литературы

1. Берлин, А. Н. Цифровые сотовые системы связи / А. Н. Берлин. – Москва : Эко-Трендз, 2007. – 292 с.

2. Иванов, Д. А. Системный подход к организации структуры управления мобильной сетью в интересах обеспечения устойчивости связи / Д. А. Иванов, В. В. Алексеев, И. Г. Рыжов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2025. – Т. 31, № 2. – С. 259–268. doi: 10.17277/vestnik.2025.02.pp.259-268

3. Слепов, Н. Н. Англо-русский толковый словарь сокращений в области связи и новых информационных технологий = Acronyms and abbreviations an English-Russian dictionary for communications and modern information sciences : около 42 000 терминов и словарь русских сокращений : около 7 400 терминов / Н. Н. Слепов. – 4-е изд., доп. и перераб. – Москва : Техносфера, 2013. – 794 с.

4. Клир, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир ; пер. с англ. М. А. Зуева ; под ред. А. И. Горлина. – Москва : Радио и связь, 1990. – 538 с.

5. Соболь, И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. М. Соболь, Р. Б. Статников. – Москва : Наука, 1981. – 110 с.

6. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных Странах : учебник / О. И. Ларичев. – Москва : Логос, 2000. – 296 с.

7. Юдин, Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений / Д. Б. Юдин. – Москва : Наука, 1989. – 316 с.

8. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач : монография / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Физматлит, 2007. – 254 с.

9. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа : учебное пособие для вузов / Н. Н. Моисеев. – Москва : Наука, 1981. – 488 с.

10. Новиков, Д. А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д. А. Новиков. – Москва : Фонд «Проблемы управления», 1999. – 160 с.

11. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – Москва : Наука, 1986. – 284 с.

12. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation / T. L. Saaty. – New York : McGraw-Hill, 1980. – 287 p.

13. Борисов, А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига : Зинатне, 1990. – 184 с.

14. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьева, Н. Н. Слядзь, В. И. Глушков. – Москва : Радио и связь, 1989. – 302 с.

15. Орловский, С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С. А. Орловский. – Москва : Наука, 1981. – 208 с.

16. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств в управлении предприятиями / А. Кофман, Х. Хил Алуха. – Минск : Вышэйшая школа, 1992. – 224 с.

17. Zadeh, L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – Vol. 8, No. 3. – P. 338–353.

18. Bellman, R. E. Decision-making in a fuzzy environment / R. E. Bellman, L. A. Zadeh // Management Science. – 1970. – Vol. 17, No. 4. – P. B141–B164.

19. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами / Я. Е. Львович, А. П. Преображенский, Ю. П. Преображенский, Т. В. Аветисян // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 41–48. doi: 10.18127/j5604128-202403-05

20. A Multi-Criteria Approach to Decision Making in Broadband Network Deployment / M. Araújo, L. Ekenberg, M. Danielson, J. Confraria // Group Decision and Negotiation. – 2022. – Vol. 31, No. 4. – pp. 387–418. doi: 10.1007/s10726-021-09772-9

Algorithm for Generating Control Actions from a Set of Alternatives in the Management of a Special-Purpose System

© V. V. Alekseev[1] ✉, E. V. Emelyanov[2], D. A. Ivanov[3], I. G. Ryzhov[3]

[1] *Department of Information Systems and Information Protection, vvalex1961@mail.ru, TSTU, Tambov, Russian Federation;*
[2] *JSC Avtodor-Expluatatsiya, Moscow, Russian Federation;*
[3] *Department of Mechanics and Control Processes, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation*

Keywords: external factor; coverage area; integral quality indicator; analytic hierarchy process; multi-criteria analysis; fuzzy relation; decision support; special-purpose system.

Abstract: The article describes a decision support algorithm based on the multi-criteria analysis of alternatives using the analytic hierarchy process, pair wise comparisons, and fuzzy preference relations. Using the management of mobile communication system coverage areas as an example, it is demonstrated that the algorithm's capabilities allow for the selection of a rational control action based on an integral assessment of system performance under the influence of external factors.

References

1. Berlin A.N. *Tsifrovye sotovye sistemy svyazi* [Digital Cellular Communication Systems], Moscow: Eko-Trendz, 2007, 292 p. (In Russ.)

2. Ivanov D.A., Alekseev V.V., Ryzhov I.G. [A Systems Approach to Organizing the Mobile Network Management Structure to Ensure Communication Stability], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2025, vol. 31, no. 2, pp. 259-268. doi: 10.17277/vestnik.2025.02.pp.259-268 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Slepov N.N. [Acronyms and abbreviations an English-Russian dictionary for communications and modern information sciences], Moscow: Tekhnosfera, 2013, 794 p. (In Russ.)

4. Klir J. *Sistemologiya. Avtomatizatsiya resheniya sistemnykh zadach* [Systemology. Automation of Systems Problem Solving], Moscow: Radio i svyaz', 1990, 538 p. (In Russ.)

5. Sobol' I.M., Statnikov R.B. *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami* [Selection of Optimal Parameters in Multicriteria Problems], Moscow: Nauka, 1981, 110 p. (In Russ.)

6. Larichev O.I. *Teoriya i metody prinyatiya resheniy, a takzhe khronika sobytiy v Volshebnykh Stranakh: uchebnik* [Theory and Methods of Decision Making, and the Chronicle of Events in Magical Countries], Moscow: Logos, 2000, 296 p. (In Russ.)

7. Yudin D.B. *Vychislitel'nyye metody teorii prinyatiya resheniy* [Computational Methods of Decision-Making Theory], Moscow: Nauka, 1989, 316 p. (In Russ.)

8. Podinovskiy V.V., Nogin V.D. *Pareto-optimal'nyye resheniya mnogokriterial'nykh zadach: monografiya* [Pareto-Optimal Solutions to Multi-Criteria Problems: Monograph], Moscow: Fizmatlit, 2007, 254 p. (In Russ.)

9. Moiseyev N.N. *Matematicheskiye zadachi sistemnogo analiza : uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Mathematical Problems of Systems Analysis : Textbook for Higher Education Institutions], Moscow: Nauka, 1981, 488 p. (In Russ.)

10. Novikov D.A. *Mekhanizmy funktsionirovaniya mnogourovnevykh organizatsionnykh sistem* [Mechanisms of Functioning of Multilevel Organizational Systems], Moscow: Fond "Problemy upravleniya", 1999, 160 p. (In Russ.)

11. Pospelov D.A. *Situatsionnoe upravlenie: teoriya i praktika* [Situational Control: Theory and Practice], Moscow: Nauka, 1986, 288 p. (In Russ.)

12. Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, New York: McGraw-Hill, 1980, 287 p.

13. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. *Prinyatie reshenii na osnove nechetkikh modelei: primery ispol'zovaniya* [Decision Making Based on Fuzzy Models: Examples of Application], Riga: Zinatne, 1990, 184 p. (In Russ.)

14. Borisov A.N., Alekseev A.V., Merkur'eva G.V., Slyadz' N.N., Glushkov V.I. *Obrabotka nechetkoi informatsii v sistemakh prinyatiya reshenii* [Processing of Fuzzy Information in Decision-Making Systems]. Moscow: Radio isvyaz', 1989, 302 p. (In Russ.)

15. Orlovskii S.A. *Problemy prinyatiya reshenii pri nechetkoi iskhodnoi informatsii* [Decision-Making Problems under Fuzzy Initial Information], Moscow: Nauka, 1981, 208 p. (In Russ.)

16. Kofman A., Khil Alukha Kh. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv v upravlenii predpriyatiyami* [Introduction to the Theory of Fuzzy Sets in Enterprise Management], Minsk: Vysheishaya shkola, 1992, 224 p. (In Russ.)

17. Zadeh L.A. Fuzzy sets, *Information and Control*, 1965, vol. 8, no. 3, pp. 338-353.

18. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision-making in a fuzzy environment, *Management Science*, 1970, vol. 17, no. 4, pp. B141-B164.

19. L'vovich Ya.Ye., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Avetisyan T.V. [Modeling and Optimization of Management Processes for Information and Telecommunication Systems], *Elektromagnitnyye volny i elektronnyye sistemy* [Electromagnetic Waves and Electronic Systems], 2024, vol. 29, no. 3, pp. 41-48. doi: 10.18127/j5604128-202403-05 (In Russ., abstract in Eng.)

20. Araújo M., Ekenberg L., Danielson M., Confraria J. A Multi-Criteria Approach to Decision Making in Broadband Network Deployment, *Group Decision and Negotiation*, 2022, vol. 31, no. 4, pp. 387-418. doi: 10.1007/s10726-021-09772-9

Algorithmus zur Bildung von Steuereffekten auf einer Menge der Alternativen bei der Steuerung des Spezialsystems

Zusammenfassung: Es ist ein Entscheidungsunterstützungsalgorithmus vorgestellt, der auf einer multikriteriellen Analyse von Alternativen mittels analytischem Hierarchieprozess, Paarvergleichen und Fuzzy-Präferenzrelationen basiert. Am Beispiel der Verwaltung von Mobilfunknetzabdeckungsgebieten ist das Potenzial des Algorithmus demonstriert, die Auswahl rationaler Steuerungsmaßnahmen auf Grundlage einer integrierten Bewertung der Systemleistung unter dem Einfluss externer Faktoren zu ermöglichen.

Algorithme de la formation des influences de commande sur une variété d'alternatives dans la gestion d'un système à usage spécial

Résumé: Est présenté un algorithme d'aide à la décision basé sur une analyse multicritère des alternatives utilisant des méthodes d'analyse de hiérarchie, des comparaisons par paires et des relations de préférence floues. À l'exemple de la gestion des zones de couverture d'un système de téléphonie mobile, il est démontré que les possibilités potentielles de l'algorithme permettent de choisir une action de la commande rationnelle àr la base d'une évaluation intégrale de la qualité du fonctionnement du système dans des conditions de l'action des facteurs externes.

Авторы: ***Алексеев Владимир Витальевич*** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация; ***Емельянов Евгений Валентинович*** – ведущий специалист АО «Автодор-Эксплуатация», Москва, Российская Федерация; ***Иванов Дмитрий Александрович*** – аспирант кафедры механики и процессов управления; ***Рыжов Илья Геннадьевич*** – аспирант кафедры механики и процессов управления, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Москва, Российская Федерация.