

УДК 519.816

**А.В. Гривачев**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: gargun-22@mail.ru)

**С.Ю. Сазонов**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: serg\_saz@mail.ru)

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА СЛОЖНЫХ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*В работе рассматривается группа задач поддержки принятия решений, касающаяся сравнительного анализа нескольких альтернатив и выбора одной из них в классе сложных мобильных (подвижных) систем на основе многокритериальных оценок. В качестве сложных мобильных систем рассматриваются автомобили, гусеничные платформы, подвижные наземные робототехнические комплексы и т.д., характеризующиеся большим набором параметров и различными тактико-техническими характеристиками. При этом в силу ряда объективных причин параметры и характеристики сравниваемых альтернатив не всегда являются сопоставимыми и одномерными, т.е. допускающими их прямое сравнение. Данная особенность значительно усложняет задачу поддержки принятия решений для лица, принимающего решения, или группы таких лиц. В результате возникает объективная необходимость разработки и/или сравнения математических моделей и методов принятия решений для компьютерных систем поддержки принятия решений, использующих методы многокритериальной оценки.*

*Сравнение в 7-мерном признаковом пространстве показало, что наиболее предпочтительным для анализа сложных мобильных систем оказывается метод анализа иерархий, позволяющий устанавливать связи как между уровнями критериев, так и предпочтения экспертов по каждой альтернативе. Применение собственной шкалы оценок позволяет вести обработку трудноизмеримых данных.*

**Ключевые слова** многокритериальный выбор, альтернатива, принятие решения.

\*\*\*

### **Введение**

Теоретическая и прикладная общезначимость задач поддержки принятия решений (ППР), которые в широком плане можно рассматривать как задачи анализа и сравнения сложных систем, определяется, в том числе, необходимостью создания средств оценки и выбора лучших вариантов (альтернатив) в признаковом пространстве таких систем. Принятие решения как инструмент прогнозирования развития сложных систем позволяет не только определить лучшие (приоритетные) системы, но и упорядочить их по различным критериям [1,2,3,4].

В данной работе выделяется группа задач ППР, касающихся сравнительного анализа нескольких альтернатив и выбора одной из них в классе сложных мобильных (подвижных) систем (СМС) на основе многокритериальных оценок. В качестве СМС рассматриваются автомобили, гусеничные

платформы, подвижные наземные робототехнические комплексы (РТК) и т.д., характеризующиеся большим набором параметров и различными тактико-техническими характеристиками (ТТХ). При этом в силу ряда объективных причин параметры и ТТХ сравниваемых альтернатив не всегда являются сопоставимыми и одномерными, т.е. допускающими их прямое сравнение. Данная особенность значительно усложняет задачу ППР для лица, принимающего решения (ЛПР), или группы таких лиц. В результате возникает объективная необходимость разработки и/или сравнения математических моделей и методов принятия решений для систем поддержки принятия решений (СППР), использующих методы многокритериальной оценки.

Бурно развивавшаяся в последнее время математическая теория оптимизации создала совокупность методов и под-

ходов, помогающих при компьютерной поддержке эффективно принимать решения при фиксированных и известных параметрах, характеризующих СМС, а также в том случае, когда параметры – случайные величины. Однако основные трудности возникают в том случае, когда параметры и ТТХ СМС оказываются неопределенными или неизвестными в силу отсутствия единого подхода создания такой техники и унификации агрегатов, узлов, подсистем (АУП) и их характеристик. Такая ситуация в целом сложилась для современных роботехнических комплексов по ряду организационно-технических причин [7,8].

По глубоко укоренившейся традиции научного мышления понимание явления отождествляют с возможностью его количественного анализа ЛПР. Тем не менее, из теории познания [1,5] известно, что чем сложнее СМС, тем менее способен ЛПР дать точные и в то же время имеющие практическое значение суждения о ее поведении. Для СМС сложность превосходит некоторый пороговый уровень единообразного восприятия со стороны ЛПР, поэтому точность и практический смысл становятся почти исключаящими друг друга характеристиками. В результате уместно говорить об актуальной научной задаче многокритериального выбора приоритетных экземпляров техники, наследующих идеологию, принципы построения, эксплуатации машин.

Таким образом, актуальность разработки моделей сравнительного анализа объектов для систем поддержки принятия групповых решений обусловлена потребностью в повышении эффективности коллективного взаимодействия на этапе принятия групповых решений за счет разработки новых, усовершенствовании и

адаптации существующих методов принятия групповых решений [7,8].

### Постановка задачи принятия решений

Рассмотрим следующую модель задачи ПР. Пусть задана четверка объектов

$$\langle X, Y, f_i, \varphi \rangle, \quad (1)$$

где  $X$  – множество альтернатив СМС;  $Y$  – множество исходов;  $f_i : Y \rightarrow R, i = 1, \dots, n$  – множество показателей качества (критериев);  $\varphi : X \rightarrow Y$  – детерминистская функция, отображающая множество альтернатив СМС во множество исходов. (Здесь  $R$  – множество вещественных чисел.)

Требуется максимизировать каждую из функций  $f_i$ .

С помощью суперпозиции  $J_i(x) = f_i(\varphi(x)), i = 1, \dots, m$  имеется возможность непосредственно оценивать качество самого решения  $x$ , работая с векторным отображением

$$J : x \rightarrow R^m, J = \{J_1, \dots, J_m\}, J(X) = F \subset R^m.$$

Более того, задание бинарного отношения предпочтения  $R'$  на множестве исходов  $Y$  индуцирует соответствующее бинарное отношение  $R''$  на множестве  $X$ . Справедливо

$$(x_1, x_2) \in R'' \leftrightarrow (\varphi(x_1), \varphi(x_2)) \in R'.$$

Соответственно возникает бинарное отношение  $R'''$  во множестве оценок  $F \subset R^m$

$$\forall z_1, z_2 \in F: (z_1, z_2) \in R''' \leftrightarrow (y_1, y_2) \in R', \text{ где } z_1 = f(y_1), z_2 = f(y_2).$$

На основе свойств транзитивности отношений и пропорции объемов множеств для детерминистского случая отношения предпочтения могут задаваться в любом из указанных трех множеств:  $X, Y, F$ . Далее в

качестве основного отображения будет рассматриваться отображение

$$J : X \rightarrow F \subset R^m,$$

и соответственно системы предпочтений будут задаваться во множествах  $X, F$ .

В практических задачах часто непосредственно задается отображение  $J$  и, по сути,  $Y = F$ , т. е. в качестве исходов выступают сами оценки  $J$ . Что приводит к частному случаю задачи, в более простой форме. В результате получим распространенную модель принятия решений, или задачу многокритериальной оптимизации вида

$$J_i(x) \rightarrow \max_{x \in X}, i = 1, \dots, m, X \subset R^n.$$

Заметим, что  $X \subset R^n$ . То есть все альтернативы СМС или решения параметризованы и каждому из решений соответствует точка  $X \in R^n$ ,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Таким образом, рассматривается задача многокритериальной оптимизации вида

$$f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D}, f_i : D \rightarrow R,$$

$$i = 1, \dots, m; D \subseteq R^m. \quad (2)$$

Пусть, задано  $m$  функций  $f_i$ , отображающих множество  $D$  -мерных векторов  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  во множество вещественных чисел  $R$ . Здесь предполагается, что выбор оптимальных значений  $x$  производится не во всем  $n$ -мерном пространстве  $R^n$ , а лишь в пределах некоторого его подмножества  $D$ .

Важнейшее значение при исследовании задач (2) имеет принцип Парето и связанные с ним понятия эффективного (Парето-оптимального) и слабо эффективного решения.

Из множества известных методов и подходов к принятию решений наибольший интерес представляют те, которые дают возможность учитывать многокритериальность и неопределенность, а также позволяют осуществлять выбор реше-

ний из множеств альтернатив различного типа при наличии критериев, имеющих разные типы шкал измерения [5,4]. Среди таких методов, которые учитывают специфику процесса проблемной ситуации, выделяются:

- метод главного критерия;
- метод линейной свертки;
- метод максиминной свертки;
- метод отношения предпочтений ЛПР;
- метод анализа иерархий и модифицированный метод анализа иерархий.

### **Сравнительный анализ подходов и методов многокритериального выбора СМС**

#### *Метод главного критерия*

В методе главного критерия в качестве целевой функции директивно выбирается один из функционалов  $f_i$ , например  $f_1$ , наиболее полно, с точки зрения исследователя, отражающий цель ПР. Остальные требования к результату, описываемые функционалами  $f_1, \dots, f_m$ , учитываются с помощью введения необходимых дополнительных ограничений. Таким образом, вместо задачи (2) решается другая, уже однокритериальная задача вида

$$f_1(x) \rightarrow \max_{x \in D'}; D' \subseteq D \subseteq R^n;$$

$$D' = \{x \in D | f_i(x) \geq t_i, i = 2, \dots, m\}.$$

Формально в результате получена более простая задача поиска максимума функционала  $f_1$ , на новом допустимом множестве  $D'$ . Добавились ограничения вида  $f_i(x) \geq t_i$ , показывающие, что мы согласны не добиваться максимальных значений для функционалов  $f_2, \dots, f_m$ , сохраняя требование их ограниченности снизу на приемлемых уровнях.

Отметим, что применение этого метода на интуитивном уровне обычно наталкивается на трудности, связанные с возможным наличием нескольких «главных» критериев, находящихся в противоречии

друг с другом. Кроме того, не всегда ясен алгоритм выбора нижних границ  $t_i$ . Их необоснованное задание может привести, в частности, к пустому множеству  $D'$ .

Как итог краткого описания следует указать, что данный метод хорошо подходит для анализа сложных объектов, в которых однозначно можно выделить ведущий элемент или критерий оценки. СМС таких свойств не имеет.

#### *Метод линейной свертки*

Это наиболее часто применяемый метод «скаляризации» (свертки) задачи (2), позволяющий заменить векторный критерий оптимальности  $f = (f_1, \dots, f_m)$  на скалярный  $J: D \rightarrow R$ .

Он основан на линейном объединении всех частных целевых функционалов  $f_1, \dots, f_m$  в одно значение

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D}; \quad (3)$$

$$\alpha_i > 0, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1,$$

где  $\alpha_i$  – весовые коэффициенты.

Весовые коэффициенты  $\alpha_i$  могут при этом рассматриваться как показатели относительной значимости отдельных критериальных функционалов  $f_i$ . Чем большее значение мы придаем критерию  $f_i$ , тем больший вклад в сумму (3) он должен давать и, следовательно, тем большее значение  $\alpha_i$  должно быть выбрано. При наличии существенно разнохарактерных частных критериев обычно бывает достаточно сложно указать окончательный набор коэффициентов  $\alpha_i$  исходя из неформальных соображений, связанных, как правило, с результатами экспертного анализа.

#### *Метод максиминной свертки*

Обычно применяется в форме

$$J(x) = \min_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D}. \quad (4)$$

Здесь, в отличие от метода линейной свертки, на целевой функционал  $J(x)$  оказывает влияние только тот частный критерий оптимальности, которому в данной точке  $x$  соответствует наименьшее значение соответствующей функции  $f_i(x)$ . И если в случае (3), вообще говоря, возможны «плохие» значения некоторых  $f_i$  за счет достаточно «хороших» значений остальных целевых функционалов, то в случае максиминного критерия производится расчет «на наихудший случай», и по значению  $J(x)$  можно определить гарантированную нижнюю оценку для всех функционалов  $f_i(x)$ . Этот факт расценивается как преимущество максиминного критерия перед методом линейной свертки. Максиминная свертка является реализациями пессимистического подхода, игнорирующего хорошие стороны альтернатив. Это значит, что лучшей считается альтернатива, имеющая минимальные недостатки по всем критериям.

#### *Метод отношения предпочтений ЛППР*

Отношение предпочтения (ОП) по - му критерию  $p_j(k, l)$  для пары альтернатив  $(A_k, A_l)$  определяется как

$$p_j(k, l) = \begin{cases} \frac{r_{kj} - r_{lj}}{m_j}, & \text{если } r_{kj} > r_{lj} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $r_{ij}$  – значение  $i$ -го критерия для альтернативы  $A_i$ ;  $m_j$  – балльность шкалы оценок  $j$ -го критерия.

ОП по паре альтернатив  $(A_k, A_l)$  определим так:

$$P(k, l) = \sum_{i=1}^N k'_j p_j(k, l) = \sum_{i=1}^N k'_j \begin{cases} \frac{r_{kj} - r_{lj}}{m_j}, & \text{если } r_{kj} > r_{lj} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (6)$$

где  $k'_j$  – «нормированный» вес (значимость)  $j$ -го критерия:

$$k'_j = \frac{k_j}{\sum_{i=1}^{M_j} \bar{k}_i},$$

где  $M_j$  – количество оценок на  $j$ -й шкале;  $\bar{k}_i$  – значения оценок на  $j$ -й шкале;  $k_j$  – значение  $j$ -го критерия. Например, шкала (1, 2, 3, 4, 5),  $\sum_{i=1}^{M_j} \bar{k}_i = 15$ ,  $k_j = 4 \Rightarrow k'_j = \frac{4}{15} \approx 0,26$ .

Таким образом, получается следующая двойственность:  $P(k, l)$  – функция согласия с тем, что альтернатива  $A_k$  предпочтительнее, чем альтернатива  $A_l$ , а  $P(l, k)$  – функция несогласия с этим утверждением. Для анализа сложных объектов двойственность вычисления оценок можно считать полезным свойством метода, так как оценки прямые СМС можно заменить без потери содержания на двойственную оценку.

#### *Метод анализа иерархий*

Иерархия является основным способом, с помощью которого ЛПР может подразделить всю совокупность СМС на кластеры и подкластеры. Основной задачей метода анализа иерархий (МАИ, метод Саати) [5, 9] является оценка высших уровней иерархии, исходя из взаимодействия различных уровней, а не из непосредственной зависимости от элементов на этих уровнях.

Суть метода заключается в определении собственного вектора с наибольшим собственным значением на основе попарного сравнения исследуемых показателей объекта. Анализ значений собственного вектора матрицы, построенной на основе попарного сравнения исследуемых показателей, обеспечивает упорядочение приоритетов оцениваемых характеристик в группе параметров исследования.

После построения количественных суждений о парах  $(C_i, C_j)$  в числовом вы-

ражении через  $a_{ji}$  задача сводится к получению весовых коэффициентов, которые соответствовали бы зафиксированным суждениям экспертов. Для выявления количественных показателей при рассмотрении значимости различных суждений в методе анализа иерархий предлагается следующая 9-значная шкала относительной важности объектов.

Собственный вектор матрицы суждений обеспечивает упорядочение приоритетов, а собственное значение является мерой согласованности суждений. Таким образом, следующим шагом, после составления матрицы суждений, является вычисление вектора приоритетов.

Определив вектор приоритетов, можно найти главное собственное значение матрицы суждений  $\lambda_{\max}$ , которое используется для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений. Чем ближе  $\lambda_{\max}$  к размерности матрицы суждений ( $n$ ), тем более согласован результат. Отклонение от согласованности может быть выражено величиной индекса согласованности (ИС), который равен отношению  $ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ .

Таким образом, в основу метода анализа иерархий заложен рационально-взвешенный подход, основанный на попарных сравнениях объектов и нормированных весовых коэффициентах, что позволяет рассматривать его как потенциальный инструмент сравнения СМС. Тем не менее, субъективизм экспертов при составлении матрицы попарных сравнений является ограничительной стороной МАИ, которую следует компенсировать за счет получения в дальнейшем дополнительной информации, например о группах (кластерах) СМС в оригинальном признаковом пространстве характеристик и показателей машин.

### Модифицированный метод анализа иерархий

Представляет интерес способ решения многокритериальной задачи выбора СМС с использованием модифицированного ме-

тода анализа иерархий (ММАИ), предложенного учеными НАН Украины [4].

В ММАИ происходит непосредственное оценивание важности каждого элемента иерархии в 10 балльной шкале, разбитой на уровни (табл.1).

Таблица 1

Оценивание важности каждого элемента иерархии в ММАИ

Элементы иерархии X	Ранг	Оценки шкалы									
		очень высокая		высокая		средняя		низкая		очень низкая	
$x_1$		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$x_2$											
$\vdots$											
$x_n$											

Нормирование оценок важности элементов каждого уровня производится по формуле

$$k_j = \frac{w_j}{\sum_{i=1}^n w_i}, i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

где  $k_j$  – коэффициент важности приоритета;  $n$  – число элементов данного уровня иерархии;  $w_i, w_j$  – оценки важности элементов в шкале ММАИ.

Общим шагом для математической обработки оценок двух методов (МАИ и ММАИ) остается получение системно-взвешенных оценок для всех уровней иерархии.

Если получены оценки каждого элемента данного уровня иерархии относительно каждого элемента предыдущего уровня (например, оценки важности критериев относительно цели, или оценки важности альтернатив относительно критериев):

$$k_{1j}, k_{2j}, \dots, k_{ij}, k_{mj}, i = 1, 2, \dots, m, ; \\ j = 1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

то для получения оценки  $K_j$  элемента  $x_j$ , необходимо взвесить ее с помощью оценок  $u_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, ; j = 1, 2, \dots, n$ , элементов предыдущего уровня иерархии.

Взвешенная оценка  $K_j$  подсчитывается как сумма произведений оценок  $k_{ij}$  на соответствующие оценки  $u_{mj}$  верхнего уровня:

$$K_j = k_{1j}u_{1j} + k_{2j}u_{2j} + \dots + k_{mj}u_{mj}. \quad (9)$$

Преимуществом ММАИ является то, что благодаря наглядности сопоставления всех элементов одного уровня исключаются несогласованности и другие возможные погрешности в оценке суждений, а также упрощается процедура получения взвешенных оценок в рамках каждого уровня [9].

### Критерии сравнения методов

Задача выбора подходящего метода многокритериальной оценки СМС должна рассматриваться в двух плоскостях:

– с одной стороны, должно быть достигнуто соответствие метода объективным характеристикам решаемой задачи, к которым могут быть отнесены условия выбора (определенность, риск, неопределенность), тип множества альтернатив (дискретное), количество критериев ПР, тип постановки задачи и др.;

– с другой стороны, на выбор метода существенное влияние оказывают субъективные характеристики задачи, обусловленные возможностями и даже привычками совершенно конкретного лица, отвечающего за ПР. К таким характеристикам могут быть отнесены: желание или нежелание ЛПР пользоваться субъективными критериями, имеющими в большинстве случаев порядковые шкалы измерений; временные ограничения ЛПР; его способность давать только качественные оценки или как качественные, так и количественные.

В работе для сравнения выбранных методов предлагаются критерии оценок методов принятия решений по выбору СМС:

1. Возможность оценивания альтернатив по критериям вербально.
2. Фиксированное число требуемых сравнений, слабо зависящее от размера  $n$ .
3. Возможность производить неполные парные сравнения в случаях, когда

определить наилучший объект из двух затруднительно или невозможно.

4. Учет структуры объекта в процессе принятия решения.

5. Возможность учитывать нечеткость, неясность, неточность в параметрах, характеризующих объект исследования.

6. Наличие средств, позволяющих проверять согласованность экспертных оценок.

7. Возможность включать в исследование количественные оценки объектов.

На основе качественного описания методов и аналитических оценочных выражений в них можно прийти к следующей бинарной таблице сравнений методов (табл.2). Из табл. 2 следует, что метод, основанный на последовательных попарных сравнениях, является предпочтительным по большему набору критериев, имеющих значением «+».

Таблица 2

Сравнительные характеристики методов

Сравниваемые методы	Критерии оценки						
	1	2	3	4	5	6	7
Метод главного критерия		+		+			+
Метод линейной свертки		+					+
Метод максиминной свертки		+					+
Метод отношения предпочтений ЛПР	+			+	+		+
Метод анализа иерархий	+		+	+	+	+	+
Модифицированный метод анализа иерархий	+	+	+		+		+

### Выводы

1. Основной проблемой многокритериального выбора является представление информации о взаимоотношениях между критериями и способы вычисления интегральных оценок. Каждый подход имеет свои ограничения и особенности, и пользователь должен получить о них представление, прежде чем приме-

нять тот или иной метод принятия решений. Наиболее широкие возможности для представления информации дает эвристический подход.

2. Анализ методов принятия решений позволяет сформулировать требования к дальнейшим разработкам в этой области. Это развитие теоретических подходов к описанию сложных взаимоотношений

между критериями, более широкое применение интеллектуальных методов, а также развитие комбинированных методов принятия решений.

3. Сравнение в 7-мерном признаковом пространстве показало, что наиболее предпочтительным для анализа неструктурированных многокритериальных проблем многокритериального выбора СМС оказывается метод анализа иерархий, позволяющий устанавливать связи между уровнями критериев, так и предпочтения экспертов по каждой альтернативе. Применение собственной шкалы оценок позволяет вести обработку трудноизмеримых данных.

#### Список литературы

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.

2. Бомас В.В., Судаков В.А., Афонин К.А. Поддержка принятия многокритериальных решений по предпочтениям пользователя. СППР DSB/UTES / под ред. В.В. Бомаса. – М.: Изд-во МАИ, 2006. – 172 с.

3. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений. Метод достижимых целей. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

4. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Системный анализ стратегических

решений в инноватике. Математические, эвристические и интеллектуальные методы системного анализа и синтеза инноваций. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 304 с.

5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 2003. – 320 с.

6. Миронова, Н. А. Интеграция модификаций метода анализа иерархии для систем поддержки принятия групповых решений // Радиоэлектроника, информация, управление. – 2011. – №2. – С.47-54.

7. Гривачев А.В., Емельянов С.Г., Бородин М.В. Структурно-функциональная схема распознавания и оценки риска в системе управления роботизированными многофункциональными машинами // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2015. – Т.13, №6. – С. 4 - 9.

8. Курочкин А.Г., Емельянов С.Г., Титенко Е.А. Анализ алгоритмов поиска по образцу для управления группой роботов // Научные технологии. – 2014. – Т.15, N 12. - С. 4-8.

9. Сторублев М.Л. Многокритериальный выбор управляющих параметров процессов систем менеджмента с учетом значимости критериев их оценки // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. – №4 (61). – С. 54- 59.

*Получено 29.08.16*

**A.V. Grivachov**, Postgraduate, Southwest State University (Kursk)  
(e-mail: garpun-22@mail.ru)

**S.Y. Sazonov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: serg\_saz@mail.ru)

#### COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES AND METHODS OF MULTI-CRITERIA SELECTION FOR SOPHISTICATED MOBILE SYSTEMS

*The paper deals with a group of tasks for decision support relating to the comparative analysis of several alternatives and selecting one of them in the class of sophisticated mobile systems on the basis of multi-criteria evaluation. Vehicles, tracked platforms, mobile terrestrial robotic systems, etc. characterized by a large set of parameters and different performance characteristics are considered as sophisticated mobile systems. In this case, due to some objective reasons, the parameters and characteristics of the compared alternatives are not always comparable and*



one-dimensional, i.e. admitting their direct comparison. This feature greatly complicates the task of decision-making for a decision-maker, or a group of persons who make such decisions. As a result, there is an objective necessity for the development and/or comparison of mathematical models and decision support methods of computer decision-making systems using multi-criteria evaluation methods.

The comparison in 7-dimensional feature space has shown that the most advantageous method for the analysis of complex mobile systems is the analytic hierarchy process which allows establishing relations both between the levels of criteria and the preferences of the experts for each alternative. Application of the developed rating scale allows processing of difficult-to-measure data.

**Key words:** multi-criteria selection, alternative, decision-making

\*\*\*

## Reference

1. Trahtengerc Je.A. Komp'yuternaja podderzhka prinjatija reshenij. M.: SINTEG, 1998. – 376 s.

2. Bomas V.V., Sudakov V.A., Afonin K.A. Podderzhka prinjatija mnogokriterial'nyh reshenij po predpochtenijam pol'zovatelja. SPPR DSB/UTES / pod red. V.V. Bomasa. – M.: Izd-vo MAI, 2006. – 172 s.

3. Lotov A.V., Pospelova I.I. Mnogokriterial'nye zadachi prinjatija reshenij. Metod dostizhimyh celej. – M.: MAKS Press, 2008. – 197 s.

4. Andrejchikov A.V., Andrejchikova O.N. Sistemnyj analiz strategicheskikh reshenij v innovatike. Matematicheskie, jevrsticheskie i intellektual'nye metody sistemnogo analiza i sinteza innovacij. – M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2013. – 304 s.

5. Saati T. Prinjatie reshenij. Metod analiza ierarhij. – M.: Radio i svjaz', 2003. – 320 s.

6. Mironova, N. A. Integracija modifikacij metoda analiza ierarhii dlja sistem podderzhki prinjatija gruppovyh reshenij // Radioelektronika, informacija, upravlenie. – 2011. – №2. – S.47-54.

7. Grivachev A.V., Emel'janov S.G., Borodin M.V. Strukturno-funkcional'naja shema raspoznavanija i ocenki riska v sisteme upravlenija robotizirovannymi mnogofunkcional'nyh mashinami // Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy. – 2015. – T.13, №6. – S. 4 - 9.

8. Kurochkin A.G., Emel'janov S.G., Titenko E.A. Analiz algoritmov poiska po obrazcu dlja upravlenija gruppoj robotov // Naukoemkie tehnologii. – 2014. – T.15, N 12. – S. 4-8.

9. Storubev M.L. Mnogokriterial'nyj vybor upravljajushhij parametrov processov sistem menedzhmenta s uchetom znachimosti kriteriev ih ocenki // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – №4 (61). – S. 54- 59.

УДК 004.896:621.865

**А.Г. Курочкин**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: dk.kursk@gmail.ru)

**Е.А. Титенко**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: johntit@mail.ru)

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ СГЛАЖИВАНИЯ ТОЧЕК МАРШРУТА

В работе рассматривается вопрос линеаризации ломанной, состоящей из точек маршрута. Показаны ограничения классического алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера. Эти ограничения важны для робота при расходе ресурсов и удержания скорости на местности. Они состоят в использовании таких опорных точек ломанной, которые имеют наибольшими значения отклонений координат между первой и последней точками. В этом случае траектория движения робота сглаживается, но углы поворота остаются большими. Тогда робот должен останавливаться в опорных точках и поворачиваться по курсу.