УДК 519.816 **DOI** 10.15622/ia.23.1.6

Д.С. Соловьев

МЕТОД РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ КОМПЕТЕНТНОСТИ УЧАСТНИКОВ ГРУППОВОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА НАИЛУЧШЕЙ АЛЬТЕРНАТИВЫ ПРИ МУЛЬТИВАРИАНТНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА

Соловьев Д.С. **Метод расчета коэффициентов компетентности участников группового принятия решений для выбора наилучшей альтернативы при мультивариантности результата.**

Аннотация. В работе рассматривается проблема получения наилучшей альтернативы с помощью методов принятия решений, основанных на опыте специалиста и математических расчетов. Для решения данной проблемы подходит групповое принятие решений, однако оно может привести к выбору нескольких наилучших альтернатив (мультивариантности результата). Учет компетентности позволит отдать приоритет решению более компетентных участников и устранить возникновение нескольких наилучших альтернатив в процессе группового принятия решений. Сформулирована задача определения коэффициентов компетентности для участников группового принятия решений, которые обеспечивают выбор наилучшей альтернативы при мультивариантности результата. Разработан метод решения поставленной задачи, который включает в себя дискретизацию диапазона изменения входных переменных и уточнение в нем значений коэффициентов компетентности участников группового принятия решений. Уточнение выполняется с использованием либо мажоритарного принципа, либо с помощью лица, принимающего решение. Последующее вычисление коэффициентов компетентности для участников группового принятия решений осуществляется при помощи локальной линейной интерполяции уточненного коэффициента компетентности в окружающих точках из дискретизированного диапазона. Использование предложенного метода решения поставленной задачи рассмотрено на примере группового принятия решений по основным разновидностям мажоритарного принципа для выбора варианта технологического процесса нанесения гальванического покрытия. В результатах показано, что предложенный метод расчета коэффициентов компетентности участников группового принятия решений через локальную линейную интерполяцию является наиболее эффективным для выбора наилучшей альтернативы при мультивариантности результата по мажоритарному принципу относительного большинства.

Ключевые слова: коэффициенты компетентности, групповое принятие решений, выбор лучшей альтернативы, мультивариантность результата.

1. Введение. Основной целью принятия решений является выбор наилучшей альтернативы, среди отличающихся вариантов [1, 2]. Для ее достижения необходимо сравнить различные альтернативы и выбрать ту, которая наилучшим образом соответствует поставленной цели. Мерами оценки соответствия рассматриваемых альтернатив поставленной цели являются показатели, по значениям которых оцениваются альтернативы и выбирается лучший вариант. Однако, как правило, у каждой альтернативы есть свои преимущества и недостатки, и выбор лучшего решения может быть сложным процессом. Существуют различные методы принятия решений (МПР), разделенные на два класса. Методы в первом классе основываются на опыте и интуиции лица, принимающего решение (ЛПР) [3, 4]. В таком случае не гарантируется получение неправильной или единственной альтернативы из-за субъективности ЛПР. Методы во втором классе используют математические подходы [5, 6]. Поскольку алгоритмы расчета в данных МПР отличаются, то результат выбора наилучшей альтернативы также может отличаться. Сравнение эффективности выбора наилучшей альтернативы для группового голосования с помощью математических МПР рассматривается, например, в исследованиях [7 – 9]. Выбор в качестве участников группового принятия решений математических методов обуславливается скоростью (экономия времени), прозрачностью (известен алгоритм расчета) и простотой («физическое» отсутствие участников) реализации процедуры определения наилучшей альтернативы. Подразумевается, что наилучшие альтернативы, которые выбраны по мажоритарному принципу (большинством МПР), в большей степени учитывают предпочтения всех участников голосования и являются объективными и единственно «справедливыми» для группы в целом, нежели те альтернативы, которые выбраны меньшинством МПР [10]. Однако исследованиям в данном направлении присущ общий недостаток – отсутствие обоснований по выбору единственного решения в случае мультивариантности результата (нескольких наилучших альтернатив). Одной из причин возникновения нескольких наилучших альтернатив является недостаточная оценка компетентности участников группы, определяющей их способность вносить значимый вклад в процесс принятия решений [11]. В случае использования в качестве участников голосования математических МПР под их компетентностью понимается степень правильности интерпретации и использования информации методом для выбора наилучшей альтернативы. Учет компетентности позволит отдать приоритет решению более компетентных участников и устранить возникновение нескольких наилучших альтернатив в процессе группового принятия решений. Таким образом, разработка метода расчета коэффициентов компетентности позволит определить вклад каждого участника в принятые решения и произвести выбор наилучшей альтернативы при мультивариантности результата с учетом компетентности членов группы, усиливающий уровень уверенности в его правильности.

Целью работы является создание метода расчета коэффициентов компетентности участников группового принятия решений для выбора наилучшей альтернативы при мультивариантности результата.

2. Постановка задачи. Пусть задано множество возможных вариантов (альтернатив), используемых в задаче принятия решений:

$$\mathbf{A}=\left\{A_1,...,A_m,...,A_M\right\}, \tag{1}$$

для оценки которых применяется множество характеристик (показателей):

$$\mathbf{K}=\left\{K_1,...,K_n,...,K_N\right\}, \tag{2}$$

где **A**, **K** – множества альтернатив и показателей; A_m – m-я альтернатива; K_n – n-й показатель; M, N – количество альтернатив и показателей.

Для кортежа заданных значений входных переменных:

$$\mathbf{X}^{set}=\left(\left\langle X_1{:}Val_1^{set}\right\rangle,...,\left\langle X_i{:}Val_i^{set}\right\rangle,...,\left\langle X_I{:}Val_I^{set}\right\rangle\right), \tag{3}$$

определена таблица (матрица решений) со значениями альтернатив (1) по показателям (2):

$$\mathbf{S}^{set}=\begin{pmatrix} S_{1,1}^{set} & S_{1,2}^{set} & \dots & S_{1,N}^{set} \\ S_{2,1}^{set} & S_{2,2}^{set} & \dots & S_{2,N}^{set} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{M,1}^{set} & S_{M,2}^{set} & \dots & S_{M,N}^{set} \end{pmatrix}, \tag{4}$$

с относительной важностью каждого показателя (весовыми коэффициентами значимости показателей):

$$\mathbf{W}^{set}=\left(W_1^{set},...,W_n^{set},...,W_N^{set}\right), \tag{5}$$

для достижения цели (выбор наилучшей альтернативы) посредством группового принятия решений при помощи кортежа методов:

$$\mathbf{F}=\left(\left\langle nF_1{:}F_1\left(\mathbf{S},\mathbf{W}\right)\right\rangle,...,\left\langle nF_l{:}F_l\left(\mathbf{S},\mathbf{W}\right)\right\rangle,...,\left\langle nF_L{:}F_L\left(\mathbf{S},\mathbf{W}\right)\right\rangle\right), \tag{6}$$

где $\mathbf{X}^{set}$ – кортеж заданных значений входных переменных; X_i – наименование i-й переменной; Val_i^{set} – значение i-й переменной; I – количество переменных; $\mathbf{S}^{set}$ – матрица решений; $S_{m,n}^{set}$ – значение m-й альтернативы по n-му показателю; $\mathbf{W}^{set}$ – вектор весовых коэффициентов; W_n – весовой коэффициент значимости n-го показателя; $\mathbf{F}$ – кортеж МПР; nF_l – наименование l-го МПР; F_l – функция, реализующая l-й МПР; L – количество МПР.

Требуется для заданных значений входных переменных (3) по матрице решений (4) и весовым коэффициентам (5) показателей (2) определить для участников группового принятии решений (6) способность правильно понимать и использовать информацию для достижения цели (коэффициенты компетентности):

$$\mathbf{r}^{set} = \left(r_1^{set}, \ldots, r_l^{set}, \ldots, r_L^{set} \right), \tag{7}$$

которые с использованием мажоритарного принципа обеспечивают выбор наилучшей альтернативы из (1) при мультивариантности результата, то есть:

$$\dim \tilde{\mathbf{A}}^{set} = 1, \tag{8}$$

где $\mathbf{r}^{set}$ – вектор коэффициентов компетентности МПР; r_l^{set} – коэффициент компетентности l-го МПР; $\tilde{\mathbf{A}}^{set}$ – множество наилучших альтернатив; dim – размерность множества наилучших альтернатив.

3. Метод решения поставленной задачи. Для кортежа (3) с помощью декартова произведения из дискретных значений внутри допустимого диапазона изменения входных переменных формируется совокупность из $\prod_{i=1}^{I} J_i$ кортежей:

$$\mathbf{X}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} = \left(\left\langle X_1 : Val_{1,j_1} \right\rangle, \ldots, \left\langle X_i : Val_{i,j_i} \right\rangle, \ldots, \left\langle X_I : Val_{I,j_I} \right\rangle \right), \left(j_i = 1,2,\ldots,J_i \right), \tag{9}$$

где J_i – количество дискретных значений i-й переменной.

Каждому кортежу (9) определяется матрица решений:

$$\mathbf{S}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}=\begin{pmatrix} S_{1,1}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} & S_{1,2}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} & \ldots & S_{1,N}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} \\ S_{2,1}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} & S_{2,2}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} & \ldots & S_{2,N}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ S_{M,1}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} & S_{M,2}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} & \ldots & S_{M,N}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} \end{pmatrix}, \qquad (10)$$

с весовыми коэффициентами значимости показателей:

$$\mathbf{W}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}=\left(W_1^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I},\ldots,W_n^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I},\ldots,W_N^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}\right), \qquad (11)$$

и коэффициентами компетентности МПР:

$$\mathbf{r}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}=\left(r_1^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I},\ldots,r_l^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I},\ldots,r_L^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}\right), \qquad (12)$$

первоначальные значения которых совпадают между собой и вычисляются как обратная величина количества МПР:

$$r_l^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}=\frac{1}{L}, \qquad (13)$$

где $r_l^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}$ – коэффициент компетентности l-го МПР для кортежа $\mathbf{X}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}$.

По матрице решений (10) и весовым коэффициентам (11) с использованием коэффициентов компетентности МПР (12) формируется мультимножество выбранных альтернатив:

$$\widehat{\mathbf{A}}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}=\left\{a_1^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}\cdot A_1,\ldots,a_m^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}\cdot A_m,\ldots,a_M^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}\cdot A_M\right\}, \qquad (14)$$

где $\widehat{\mathbf{A}}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}$ – мультимножество выбранных альтернатив; $a_m^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}$ – кратность m-й альтернативы, которая определяется как сумма первоначальных компетентностей (13) тех МПР, которые выбрали ее наилучшей:

$$a_m^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}=\sum_{l=1}^{L}\begin{cases} r_l^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}, \text{ если } F_l\left(\mathbf{S}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I},\mathbf{W}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}\right)=A_m\in\widehat{\mathbf{A}}^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I} \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}. \qquad (15)$$

Следует отметить, что мультимножество (14) не соответствует своему строгому математическому определению, поскольку кратности вхождения элементов (15) представляют собой целые числа, а его мощность при использовании первоначальных компетентностей (13) равна единице.

Из элементов мультимножества (14) по мажоритарному принципу строится множество наилучших альтернатив, элементы которого имеют максимальное значение кратности вхождения:

$$\tilde{\mathbf{A}}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I} = \underset{a_m^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I}}{\operatorname{argmax}} \widehat{\mathbf{A}}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I} = \left\{ A_m \middle| a_m^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I} = \max_m \left\{ a_m^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I} > (\geq) z \right\} \right\}, \quad (16)$$

где z – заданная суммарная компетентность участников группового голосования.

Если множество наилучших альтернатив (16) имеет единичную размерность:

$$\dim \tilde{\mathbf{A}}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I} = 1, \quad (17)$$

то для каждого МПР, выбравшего A_m, уточняется значение его первоначального коэффициента компетентности (13) следующим образом:

$$r_l^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I} = \begin{cases} \dfrac{1}{L}, \text{ если } F_l\left(\mathbf{S}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I}, \mathbf{W}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I}\right) = A_m \in \tilde{\mathbf{A}}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I} \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}, \quad (18)$$

иначе для устранения мультивариантности результата привлекается ЛПР и первоначальное значение коэффициента компетентности (13) уточняется согласно:

$$r_l^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I} = \begin{cases} \dfrac{1}{L}, \text{ если } F_l\left(\mathbf{S}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I}, \mathbf{W}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I}\right) = f_{\text{ЛПР}}\left(\tilde{\mathbf{A}}^{j_1,\dots,j_i,\dots,j_I}\right) \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}, \quad (19)$$

где $f_{\text{ЛПР}}$ – функция выбора альтернативы из множества (16), реализуемая ЛПР.

Из формул (18), (19) следует, что при нескольких наилучших альтернативах, выбранных отличающимися МПР, при прочих равных условиях, кратность вхождения в мультимножестве (14) будет меньше у той, которая была выбрана МПР с уточненным значением коэффициента компетентности равным нулю.

Таким образом, по всей совокупности (9) кортежей входных переменных задаются первоначальные коэффициенты компетентности (13) и уточняются по (18), (19) для выполнения (17), определяя собой значения J_i-х узлов I-мерных L-сеток для МПР из (6).

Далее по матрице решений (4) и весовым коэффициентам (5) для кортежа входных переменных (3) формируется мультимножество выбранных альтернатив:

$$\widehat{\mathbf{A}}^{set}=\left\{a_1^{set}\cdot A_1,...,a_m^{set}\cdot A_m,...,a_M^{set}\cdot A_M\right\}, \tag{20}$$

где a_m^{set} – кратность m-й альтернативы, которая определяется как сумма коэффициентов компетентности тех МПР, которые выбрали ее наилучшей:

$$a_m^{set}=\sum_{l=1}^{L}\begin{cases} r_l^{set}, \text{если } F_l\left(\mathbf{S}^{set},\mathbf{W}^{set}\right)=A_m\in\widehat{\mathbf{A}}^{set} \\ 0, \text{иначе}\end{cases}. \tag{21}$$

Расчет значения коэффициента компетентности для l-го МПР из (7), входящего в (21), производится по I-мерной локальной линейной интерполяции вида:

$$\begin{aligned} r_l^{set} &= r_l^{j_1,...,j_i,...,j_I}\cdot N_{00...0}+r_l^{j_1,...,j_i,...,j_I+1}\cdot N_{00...1}+\dots \\ &+r_l^{j_1+1,...,j_i+1,...,j_I+1}\cdot N_{11...1}\end{aligned}, \tag{22}$$

где $N_{00\ldots0}$, $N_{00\ldots1}$, …, $N_{11\ldots1}$ – значения полиномов для всевозможного количества способов упорядочивания заданных значений переменных и их границ, определяемые следующим образом:

$$\begin{cases} N_{00\ldots0} = \dfrac{\left(Val_{1,j_1+1} - Val_1^{set}\right)\cdot\left(Val_{2,j_2+1} - Val_2^{set}\right)\cdot\ldots\cdot\left(Val_{I,j_I+1} - Val_I^{set}\right)}{\left(Val_{1,j_1+1} - Val_{1,j_1}\right)\cdot\left(Val_{2,j_2+1} - Val_{2,j_2}\right)\cdot\ldots\cdot\left(Val_{I,j_I+1} - Val_{I,j_I}\right)} \\ N_{00\ldots1} = \dfrac{\left(Val_{1,j_1+1} - Val_1^{set}\right)\cdot\left(Val_{2,j_2+1} - Val_2^{set}\right)\cdot\ldots\cdot\left(Val_I^{set} - Val_{I,j_I}\right)}{\left(Val_{1,j_1+1} - Val_{1,j_1}\right)\cdot\left(Val_{2,j_2+1} - Val_{2,j_2}\right)\cdot\ldots\cdot\left(Val_{I,j_I+1} - Val_{I,j_I}\right)} \\ \cdots \\ N_{11\ldots1} = \dfrac{\left(Val_1^{set} - Val_{1,j_1}\right)\cdot\left(Val_2^{set} - Val_{2,j_2}\right)\cdot\ldots\cdot\left(Val_I^{set} - Val_{I,j_I}\right)}{\left(Val_{1,j_1+1} - Val_{1,j_1}\right)\cdot\left(Val_{2,j_2+1} - Val_{2,j_2}\right)\cdot\ldots\cdot\left(Val_{I,j_I+1} - Val_{I,j_I}\right)} \end{cases}, \quad (23)$$

где $r_l^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I}$, $r_l^{j_1,\ldots,j_i,\ldots,j_I+1}$,…, $r_l^{j_1+1,\ldots,j_i+1,\ldots,j_I+1}$ – уточненные значения коэффициента компетентности для l-го МПР в окружающих точках; Val_{1,j_1}, Val_{1,j_1+1}, Val_{2,j_2}, Val_{2,j_2+1},…, Val_{I,j_I}, Val_{I,j_I+1} – значения окружающих точек для 1-й, 2-й, …, I-й входных переменных соответственно, причем:

$$\begin{cases} Val_{1,j_1} \le Val_1^{set} \le Val_{1,j_1+1} \\ Val_{2,j_2} \le Val_2^{set} \le Val_{2,j_2+1} \\ \ldots \\ Val_{I,j_I} \le Val_I^{set} \le Val_{\mathrm{I},j_I+1} \end{cases}. \quad (24)$$

Вычисление интерполяционного коэффициента компетентности (22) для l-го МПР в случае I входных переменных (3) использует его уточненное значение в 2^I окружающих точках по (23) из (24).

Из элементов мультимножества (20) по мажоритарному принципу строится множество наилучших альтернатив, элементы которого имеют максимальное значение кратности вхождения:

$$\tilde{\mathbf{A}}^{set} = \underset{a_m^{set}}{\mathrm{argmax}}\, \widehat{\mathbf{A}}^{set} = \left\{ A_m \middle| a_m^{set} = \max_m \left\{ a_m^{set} > (\ge)\, z \right\} \right\}. \quad (25)$$

Таким образом, размерность множества (25) будет совпадать с единицей, тем самым выполняя требуемое равенство (8), поскольку рассчитанные значения коэффициентов компетентности для МПР оперируют значениями 2^I окружающих точек из J_i-х узлов I-мерных L-сеток, которые являются уточненными коэффициентами компетентности, или обеспечивающими большинство наилучшей альтернативе A_m из множества (25), или совпадающими с ее выбором для функции $f_{ЛПР}$.

4. Вычислительный эксперимент. При производстве металлических деталей гальваническое покрытие является важным этапом, обеспечивающим защиту поверхности от коррозии и улучшающим ее эстетические и механические свойства. Процесс гальванизации широко применяется в различных отраслях промышленности (автомобильной, электронной, медицинской и других). Он основан на использовании электролитического раствора, содержащего металлические ионы, которые взаимодействуют с поверхностью детали под действием электрического тока. При этом на поверхности обрабатываемой детали формируется тонкий слой металла. Использование предложенного метода решения поставленной задачи рассмотрено на примере группового принятия решений для выбора варианта технологического процесса нанесения гальванического покрытия. К основным переменным, влияющим на выбор технологии, относится площадь поверхности обрабатываемой детали. Совокупность кортежей входной переменной из дискретных значений внутри допустимого диапазона ее изменения имеет вид:

$$\mathbf{X}^{j1} = \left(\left\langle X_1 : Val_{1,j1} \right\rangle\right), \left(j_1 = 1,2,\ldots,J_1 = 11\right), \tag{26}$$

где X_1 – площадь поверхности обрабатываемой детали; $Val_{1,j1}$ – величина площади поверхности обрабатываемой детали, имеющая диапазон изменения от 10 дм^2 до 100 дм^2 с шагом дискретных значений 9 дм^2.

Альтернативы (1) определяют следующие $M = 7$ вариантов:

$$\mathbf{A} = \left\{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7\right\}, \tag{27}$$

для технологического процесса нанесения гальванического покрытия в ванне с: A_1 – анодами, работающими различное время [12]; A_2 – анодами, работающими в циклическом режиме [13]; A_3 – с отключаемыми при реверсировании тока анодами [14]; A_4 – с защитными катодами [15]; A_5 – с токонепроводящими экранами [16]; A_6 – с биполярными электродами [17]; A_7 – с фигурными анодами [18].

Наличие в гальванической ванне нескольких анодов позволяет отключать их от источника питания в различное время (альтернатива A_1), изменять путь протекания постоянного тока при их циклическом переключении (альтернатива A_2), а также «прямом» и «обратном» режиме электролиза (альтернатива A_3). Расположение в гальванической ванне защитных катодов (альтернатива A_4) дает возможность отвлечь на себя часть наносимого покрытия от обрабатываемой детали (на участках, наиболее близких к аноду). Для защиты выступающих участков детали от протекания через них тока в электролите используются токонепроводящие экраны (альтернатива A_5). Применение биполярных электродов (альтернатива A_6) позволяет направить ток в углубления и «глухие» полости детали. Уменьшение расстояния между анодом и деталью-катодом достигается использованием фигурного анода (альтернатива A_7), имеющего форму, которая повторяет контуры обрабатываемой детали.

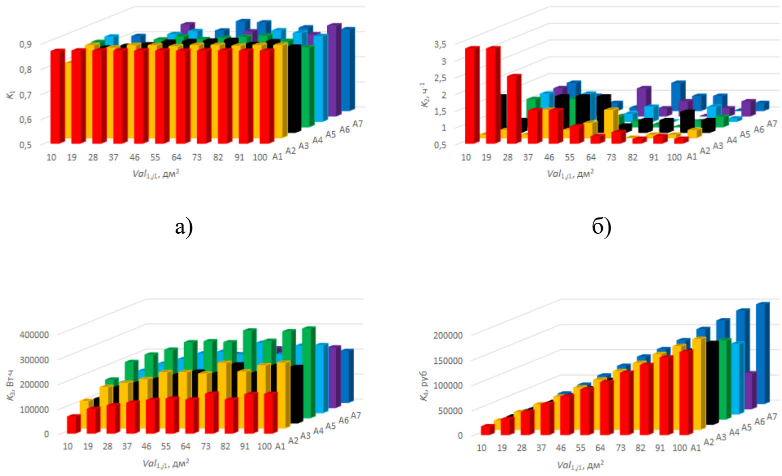
Альтернативы (27) оцениваются по следующим $N = 4$ показателям (2):

$$\mathbf{K}=\left\{K_1,K_2,K_3,K_4\right\}, \tag{28}$$

где K_1 – равномерность распределения толщины гальванического покрытия на поверхности детали; K_2 – производительность гальванической ванны, ч$^{-1}$; K_3 – электроэнергия, затрачиваемая на нанесение гальванического покрытия, Вт·ч; K_4 – стоимость реализации гальванического процесса, руб. Показатели K_1 и K_2 стремятся к максимуму, а показатели K_3 и K_4 – к минимуму.

Объективный выбор технологического процесса из (27) позволит обеспечить высокое качество покрытия (показатель K_1), интенсифицировать процесс (показатель K_2) и существенно снизить затраты на гальваническое производство (показатели K_3, K_4).

Значения альтернатив (27) по показателям (28) (а)–(г) из матриц решений (10) для (26) приводятся на рисунке 1.



а) б)

в) г)

Рис. 1. Значения альтернатив A_1-A_7 по показателям K_1-K_4 а)–г) из матриц решений для дискретных значений внутри допустимого диапазона изменения входной переменной

В составе участников группового принятия решений (6) используются следующие $L = 10$ методов:

$$\mathbf{F}=\left(\left\langle nF_1 : F_1\left(\mathbf{S},\mathbf{W}\right)\right\rangle,\ldots,\left\langle nF_{10} : F_{10}\left(\mathbf{S},\mathbf{W}\right)\right\rangle\right), \qquad (29)$$

где nF_1 – оценки аддитивного коэффициента (ARAS) [19]; nF_2 – комбинативной оценки расстояния (CODAS) [20]; nF_3 – комплексной пропорциональной оценки (COPRAS) [21]; nF_4 – оценки расстояния от среднего решения (EDAS) [22]; nF_5 – серого реляционного анализа (GRA) [23]; nF_6 – многокритериальной оптимизации анализа отношений (MOORA) [24]; nF_7 – многокритериальной оптимизации простого анализа отношений (MOOSRA) [25]; nF_8 – простого аддитивного взвешивания (SAW) [26]; nF_9 – предпочтения порядка посредством подобия идеальному решению (TOPSIS) [27]; nF_{10} – оценки взвешенного агрегированного суммарного произведения (WASPAS) [28].

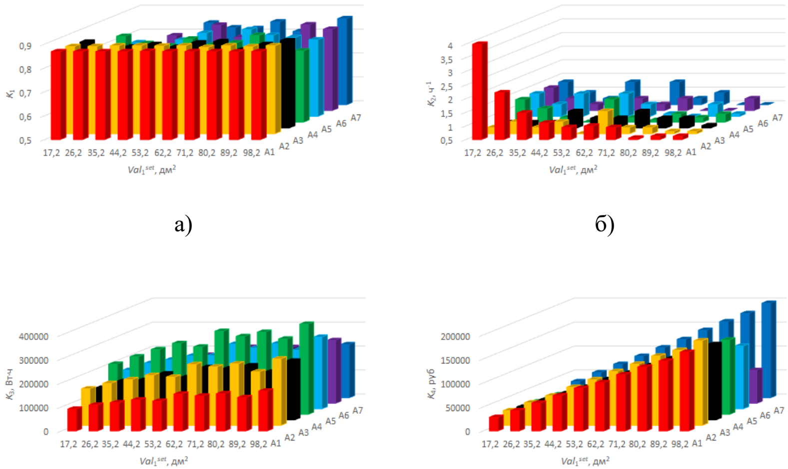
Функция $f_{ЛПР}$ выбирает альтернативу с наименьшим индексом.

Совокупность кортежей заданных значений входной переменной (3) имеет вид:

$$\mathbf{X}^{set} = \left(\left\langle X_1 : Val_1^{set} \right\rangle \right), \tag{30}$$

где Val_1^{set} – величина площади поверхности обрабатываемой детали, принимающая следующие значения, дм^2: 17,2; 26,2; 35,2; 44,2; 53,2; 62,2; 71,2; 80,2; 89,2; 98,2.

Кортежам заданных значений входной переменной (30) соответствуют значения альтернатив (27) по показателям (28) (а)–(г) из матриц решений (4), представленные на рисунке 2.



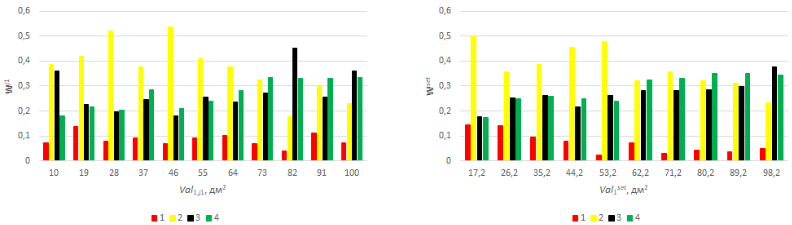
а) б)

в) г)

Рис. 2. Значения альтернатив A_1-A_7 по показателям K_1-K_4 а)–г) из матриц решений для заданных значений входной переменной

Определение весовых коэффициентов значимости показателей производится по методу из [29]. Метод предполагает формирование матрицы весовых коэффициентов (с использованием количественных подходов), которой сопоставляется матрица рангов (качественный подход). Среди методов количественного подхода используются: равнозначный; энтропийный; стандартного отклонения; основанный на эффектах удаления; корреляции; потери влияния; комплексный; угловой; основанный на коэффициенте Джини; статистической дисперсии. Для получения заданного значения коэффициента согласованности с помощью матрицы рангов решается задача бинарной оптимизации. Согласованность результатов (найденных ранговых значений весовых коэффициентов) оценивается с помощью коэффициента конкордации Кендалла при заданном уровне значимости. Весовые коэффициенты значимости показателей по матрицам решений (10) для (26) и (4) для (30), найденные для коэффициента согласованности 0,8 при уровне значимости 0,05, показаны на рисунке 3(а) и 3(б) соответственно.

Выбор наилучшей альтернативы при мультивариантности результата осуществляется в (16) и (25) для заданной суммарной компетентности участников группового голосования: 0, 1/2, 2/3 и 3/4, что соответствует относительному, абсолютному, квалифицированному и подавляющему мажоритарному большинству.



а) б)

Рис. 3. Значения весовых коэффициентов значимости показателей K_1-K_4 по матрицам решений для совокупности дискретных значений: а) внутри допустимого диапазона изменения входной переменной; б) и заданных значений

В случае получения мультивариантности результата производится дополнительная проверка единственности найденного решения по методу Борда, согласно которому каждый МПР упорядочивает альтернативы, присваивая им баллы от M до 1 (за первое место присуждается M баллов), с последующим взвешенным суммированием баллов у каждого решения с учетом компетентности МПР и выбором наилучшей альтернативы, имеющей наибольшую взвешенную сумму баллов [30]. Компетентность МПР рассчитывается итерационно по степени согласованности его оценок с групповой оценкой альтернатив по достижению точности 0,001.

Сравнение альтернатив по показателям производится в разработанном программном обеспечении на языке Python 3 [31], использующем в своем составе функции из библиотеки pyDecision для реализации многокритериального принятия решений по выбору наилучшей альтернативы согласно МПР из группы (29).

5. Анализ полученных результатов. В таблице 1 приводятся результаты принятия решений для дискретных значений внутри допустимого диапазона изменения входной переменной при равнозначности коэффициентов компетентности МПР.

Таблица 1. Результаты принятия решений для дискретных значений внутри допустимого диапазона изменения входной переменной при равнозначности коэффициентов компетентности МПР

$Val_{1,j1}$, дм^2		10	19	28	37	46	55	64	73	82	91	100
Кратности вхождения альтернатив в $\tilde{\mathbf{A}}^{j1}$	a_1	1	1	1	0,9	0,5	0	0	0	0,3	0	0
	a_2	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0
	a_3	0	0	0	0,1	0,5	0,2	0	0	0	0,2	0
	a_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	a_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	a_6	0	0	0	0	0	0,8	0,2	1	0,6	0,8	1
	a_7	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,1	0	0
$\tilde{\mathbf{A}}^{j1}$	z=0	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1,A_3	A_6	A_7	A_6	A_6	A_6	A_6
	z=1/2	A_1	A_1	A_1	A_1	Ø	A_6	Ø	A_6	A_6	A_6	A_6
	z=2/3	A_1	A_1	A_1	A_1	Ø	A_6	Ø	A_6	Ø	A_6	A_6
	z=3/4	A_1	A_1	A_1	A_1	Ø	A_6	Ø	A_6	Ø	A_6	A_6
$\dim \tilde{\mathbf{A}}^{j1}$	z=0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
	z=1/2	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
	z=2/3	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
	z=3/4	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
$f_{\text{ЛПР}}$	z=0	–	–	–	–	A_1	–	–	–	–	–	–
	z=1/2	–	–	–	–	$\nexists$	–	$\nexists$	–	–	–	–
	z=2/3	–	–	–	–	$\nexists$	–	$\nexists$	–	$\nexists$	–	–
	z=3/4	–	–	–	–	$\nexists$	–	$\nexists$	–	$\nexists$	–	–

Наиболее популярной выбранной альтернативой является A_1 (на первой половине) и A_6 (на второй половине) для дискретных значений внутри допустимого диапазона изменения входной переменной. Ситуация мультивариантности результата встречается 9,09% от количества дискретных значений входных переменных – при $z = 0$ у $Val_{1,j1} = 46$ дм^2 множество наилучших альтернатив (16) имеет размерность $\dim \tilde{\mathbf{A}}^{j1} = 2$, что требует привлечения $f_{\text{ЛПР}}$. Ситуация отсутствия наилучшей альтернативы в множестве (16) и, как следствие, невозможности принятия решений встречается 18,18%

($Val_{1,j1}$ = 46 дм^2 и $Val_{1,j1}$ = 64 дм^2) и 27,27% ($Val_{1,j1}$ = 46 дм^2, $Val_{1,j1}$ = 64 дм^2 и $Val_{1,j1}$ = 82 дм^2) при $z = 1/2$, а также $z = 2/3$ и $z = 3/4$ от количества дискретных значений входной переменной соответственно.

Уточненные коэффициенты компетентности МПР для совокупности кортежей входной переменной из дискретных значений внутри допустимого диапазона ее изменения продемонстрированы на рисунке 4.

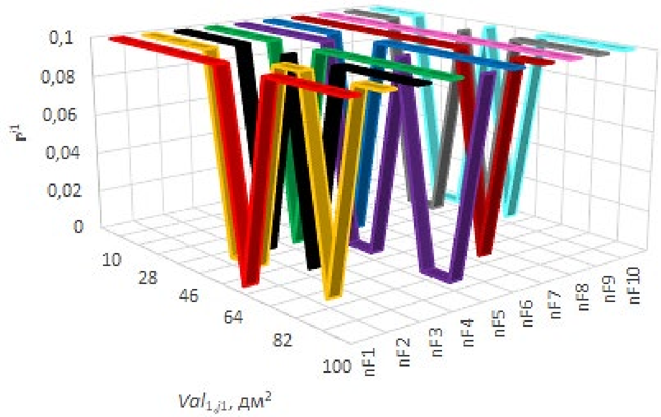


Рис. 4. Уточненные коэффициенты компетентности МПР для совокупности кортежей входной переменной из дискретных значений внутри допустимого диапазона ее изменения

Максимальное среднее значение коэффициента компетентности среди дискретных значений внутри допустимого диапазона изменения входной переменной имеет метод nF_8, а наименьшее – nF_5. Коэффициенты компетентности в узловых точках у методов nF_4 и nF_6, а также nF_9 и nF_{10} совпадают.

В таблице 2 приводятся результаты принятия решений для заданных значений входной переменной при равнозначности (верхняя строка) и расчете (нижняя строка) коэффициентов компетентности МПР. Наиболее популярной выбранной альтернативой также остается A_1 (на первой половине) и A_6 (на второй половине) для заданных значений входной переменной.

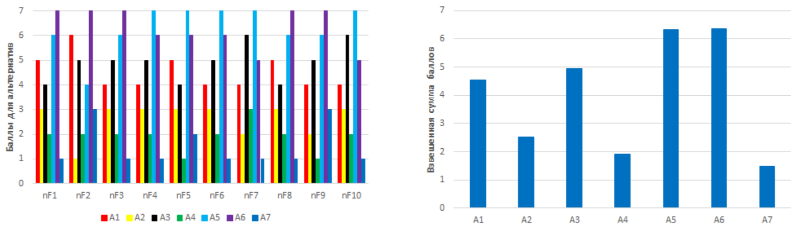
Таблица 2. Результаты принятия решений для заданных значений входной переменной при равнозначности (верхняя строка) и расчете (нижняя строка) коэффициентов компетентности МПР

Val_1^{set}, дм^2		17,2	26,2	35,2	44,2	53,2	62,2	71,2	80,2	89,2	98,2
Кратности вхождения альтернатив в $\tilde{\mathbf{A}}^{set}$	a_1	1	1	1	0,2	0	0,1	0	0	0	0
		1	1	0,92	0,2	0	0,02	0	0	0	0
	a_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	a_3	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0,14	0	0
	a_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	a_5	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0,5	0
		0	0	0	0	0,64	0	0	0	0,28	0
	a_6	0	0	0	0	0,1	0,7	1	0,6	0,5	1
		0	0	0	0	0,1	0,44	0,9	0,52	0,48	0,96
	a_7	0	0	0	0,8	0	0,2	0	0,1	0	0
		0	0	0	0,38	0	0,1	0	0,02	0	0
$\tilde{\mathbf{A}}^{set}$	z=0	A_1	A_1	A_1	A_7	A_5	A_6	A_6	A_6	A_5,A_6	A_6
		A_1	A_1	A_1	A_7	A_5	A_6	A_6	A_6	A_6	A_6
	z=1/2	A_1	A_1	A_1	A_7	A_5	A_6	A_6	A_6	Ø	A_6
		A_1	A_1	A_1	Ø	A_5	Ø	A_6	A_6	Ø	A_6
	z=2/3	A_1	A_1	A_1	A_7	A_5	A_6	A_6	Ø	Ø	A_6
		A_1	A_1	A_1	Ø	Ø	Ø	A_6	Ø	Ø	A_6
	z=3/4	A_1	A_1	A_1	A_7	A_5	Ø	A_6	Ø	Ø	A_6
		A_1	A_1	A_1	Ø	Ø	Ø	A_6	Ø	Ø	A_6
$\dim \tilde{\mathbf{A}}^{set}$	z=0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	z=1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
		1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
	z=2/3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
		1	1	1	0	0	0	1	0	0	1
	z=3/4	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
		1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
$f_{ЛПР}$	z=0	–	–	–	–	–	–	–	–	A_5	–
		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	z=1/2	–	–	–	–	–	–	–	–	$\nexists$	–
		–	–	–	$\nexists$	–	$\nexists$	–	–	$\nexists$	–
	z=2/3	–	–	–	–	–	–	–	$\nexists$	$\nexists$	–
		–	–	–	$\nexists$	$\nexists$	$\nexists$	–	$\nexists$	$\nexists$	–
	z=3/4	–	–	–	–	–	$\nexists$	–	$\nexists$	$\nexists$	–
		–	–	–	$\nexists$	$\nexists$	$\nexists$	–	$\nexists$	$\nexists$	–

Произведем сравнительный анализ данных альтернатив. Преобладание альтернативы A_1 для нанесения гальванического покрытия на детали меньших размеров объясняется лучшими значениями по показателям K_1-K_3, поскольку предоставляет: а) возможность динамического изменения распределения тока в электролите и, как следствие, улучшение равномерности осаждаемого покрытия на поверхности катода (среднее значение W_1^{set} = 0,128); б) увеличение силы тока гальванической ванны за счет большей площади анодов и, как следствие, повышение ее производительности (среднее значение W_2^{set} = 0,414); в) снижение затрат на электроэнергию (среднее значение W_3^{set} = 0,231) поскольку в ванне не присутствует посторонних электродов, ее потребляющих. Однако по показателю K_4 альтернатива A_1 уступает A_6, что объясняется ее более высокой стоимостью реализации (среднее значение W_4^{set} = 0,228), так как необходимо наличие источника питания с несколькими управляющими и силовыми модулями. Преобладание альтернативы A_6 для нанесения гальванического покрытия на детали бóльших размеров объясняется снижением стоимости реализации (среднее значение W_4^{set} = 0,341), поскольку биполярные электроды изготавливаются из недорогих материалов, таких как углерод или нержавеющая сталь, имеют простую конструкцию и не требуют сложного производства, а также могут использоваться на протяжении длительного времени без необходимости замены. Однако по показателям K_1-K_3 альтернатива A_6 уступает A_1, что связано с: а) возможностью улучшения плотности тока только в труднодоступных полостях на катоде и, как следствие, равномерности осаждаемого покрытия не на всей его поверхности (среднее значение W_1^{set} = 0,047); б) меньшей производительностью гальванической ванны (среднее значение W_2^{set} = 0,309) за счет увеличения ее электрического сопротивления и, как следствие, повышению длительности обработки детали; в) увеличением затрат на электроэнергию (среднее значение W_3^{set} = 0,304) из-за создания большей плотности тока на поверхности электродов, что влечет за собой интенсификацию электрохимической реакции, требующей большего количества энергии для ее поддержания.

Ситуация мультивариантности результата не встречается ни разу при расчете коэффициентов компетентности МПР и при их равнозначности встречается в 10% от количества дискретных значений – при z = 0 у $Val_{1,j1}$ = 89,2 дм^2 множество наилучших альтернатив (25) имеет размерность $\dim \tilde{\mathbf{A}}^{set} = 2$, что требует привлечения $f_{\text{ЛПР}}$. Ситуация отсутствия наилучшей альтернативы в множестве (25) и, как следствие, невозможности принятия решений при равнозначности коэффициентов компетентности МПР встречается 10% (Val_1^{set} = 89,2 дм^2), 20% (Val_1^{set} = 80,2 дм^2 и Val_1^{set} = 89,2 дм^2) и 30% (Val_1^{set} = 62,2 дм^2, Val_1^{set} = 80,2 дм^2 и Val_1^{set} = 89,2 дм^2) при z = 1/2, z = 2/3 и z = 3/4 от количества заданных значений входных переменных соответственно. Ситуация отсутствия наилучшей альтернативы в множестве (25) и, как следствие, невозможности принятия решений при расчете коэффициентов компетентности МПР встречается 30% (Val_1^{set} = 44,2 дм^2, Val_1^{set} = 62,2 дм^2 и Val_1^{set} = 89,2 дм^2) и 50% (Val_1^{set} = 44,2 дм^2, Val_1^{set} = 53,2 дм^2, Val_1^{set} = 62,2 дм^2, Val_1^{set} = 80,2 дм^2 и Val_1^{set} = 89,2 дм^2) при $z = 1/2$, а также $z = 2/3$ и $z = 3/4$ от количества заданных значений входных переменных соответственно.

Результаты проверки единственности найденного решения A_6 при мультивариантности результата для Val_1^{set} = 89,2 дм^2 по методу Борда показаны на рисунке 5. Баллы для альтернатив A_1-A_7, полученные в результате их упорядочивания с применением МПР nF_1-nF_{10}, приводятся на рисунке 5(а). Взвешенные суммарные баллы для альтернатив A_1-A_7, рассчитанные с учетом компетентности МПР, демонстрируются на рисунке 5(б).



а) б)

Рис. 5. Баллы для альтернатив A_1-A_7, полученные в результате их: а) упорядочивания с применением МПР nF_1-nF_{10}; б) их взвешенные суммарные баллы по методу Борда

Значения коэффициентов компетентности для МПР по предлагаемому и итерационному методам расчета показаны на рисунке 6.

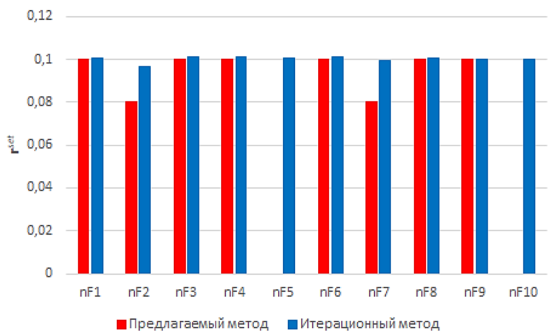


Рис. 6. Значения коэффициентов компетентности для МПР по предлагаемому и итерационному методам расчета

В результате дополнительного расчета наилучшей альтернативой также является A_6, незначительно превосходя A_5 (6,36 и 6,32 балла соответственно). Однако полученные баллы определяют только порядок расположения альтернатив по показателям сравнения и не дают возможность сделать вывод о том, на сколько или во сколько раз предпочтительнее A_6 по сравнению с A_5. Предпочтение наилучшей A_6 по набранным баллам может не оправдывать дополнительных затрат или рисков, связанных с выбором этой альтернативы, и привести к необходимости пересмотра данного решения в будущем, так как по сути она располагается на том же месте в ранжировке, что и $A_{5.}$ Данное обстоятельство обусловлено незначительным среднеквадратическим отклонением (совпадает с точностью их расчета) значений коэффициентов компетентности МПР, найденных итерационно для метода Борда. Это связано с тем, что используемые МПР основаны на определенных математических принципах и алгоритмах, которые имеют общие черты в своей логике и подходе, и расчет их компетентности, основанный на минимизации расхождения степени согласованности частных оценок с групповой оценкой альтернатив, сходится к решению всего за 2 итерации при равнозначности начальных значений коэффициентов.

В предлагаемом методе альтернатива A_6 превосходит A_5 значительнее (0,48 и 0,28 соответственно), что обуславливается бóльшим среднеквадратическим отклонением (0,041) значений коэффициентов компетентности МПР, означающим их бóльшую вариативность, позволяющей лучше оценить степень правильности интерпретации и использования данных из матрицы решений МПР для выбора наилучшей альтернативы.

Таким образом, можно заключить следующее:

1. Мультивариантность результата встречается только по мажоритарному принципу относительного большинства при формировании множестванаи лучших альтернатив.

2. Разрешение ситуации мультивариантности результата без уточнения коэффициентов компетентности участников голосования (при их равнозначности) возможно только с привлечением функции выбора альтернативы, реализуемой ЛПР.

3. Расчет коэффициентов компетентности участников голосования через локальную линейную интерполяцию по их уточненным значениям в окружающих точках позволяет в 100% случаев осуществлять выбор наилучшей альтернативы при мультивариантности результата.

4. Найденные коэффициенты компетентности обладают лучшей вариативностью, обеспечивающей бóльшую значимость выбранной альтернативе.

5. Мажоритарный принцип абсолютного, квалифицированного и подавляющего большинства в 10-50% случаев вызывает ситуацию отсутствия решения в сформированном множестве наилучших альтернатив, которую не способно преодолеть ни равнозначность коэффициентов компетентности участников голосования с привлечением функции выбора альтернативы, реализуемой ЛПР, ни расчет коэффициентов компетентности МПР через локальную линейную интерполяцию по их уточненным значениям в окружающих точках.

6. Заключение. Применение коэффициентов компетентности участников группового принятия решений представляет собой важный инструмент для выбора наилучшей альтернативы в условиях мультивариантности результата и способствует повышению доверия к процессу принятия решений, поскольку позволяет отдать предпочтение альтернативам, выбранным участниками с более высокими значениями соответствующих коэффициентов. В результатах исследования показано, что предложенный метод расчета коэффициентов компетентности участников группового принятия решений через локальную линейную интерполяцию является наиболее эффективным для выбора наилучшей альтернативы при мультивариантности результата по мажоритарному принципу относительного большинства. Программная реализация данного метода позволяет автоматизировать расчет коэффициентов компетентности, упрощающий и ускоряющий получение результата, а также сохранять и анализировать данные о принятии решений, что может быть полезно для последующих исследований и улучшения процессов группового голосования.

Литература

1. Смирнов А.В., Молл Е.Г., Тесля Н.Н. Использование нечетких коалиционных игр при принятии социально ориентированных решений при госпитализации в условиях пандемии // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20. № 5. С. 1090–1114.
2. Шилов Н.Г., Пономарев А.В., Смирнов А.В. Анализ методов онтолого-ориентированного нейро-символического интеллекта при коллаборативной поддержке принятия решений // Информатика и автоматизация. 2023. Т. 22. № 3. С. 576–615.
3. Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения // М.: Наука. 1987. 143 с.
4. Гущин Ю.Г., Парфенова М.Я., Парфенов И.И. Многокритериальная задача принятия решений с объективными и субъективными моделями // Вестник

Ижевского государственного технического университета. 2007. № 3(35). С. 148–150.

5. Gomes M.I., Martins N.C. Mathematical Models for Decision Making with Multiple Perspectives: An Introduction // Boca Raton: CRC Press. 2022. 300 p.
6. Набатова Д.С. Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений // М.: Издательство Юрайт. 2023. 292 с.
7. Biswas S. Measuring performance of healthcare supply chains in India: A comparative analysis of multi-criteria decision making methods // Decision Making Applications in Management and Engineering. 2020. vol. 3. no. 2. pp. 162–189.
8. Hezer S., Gelmez E., Ozceylan E. Comparative analysis of TOPSIS, VIKOR and COPRAS methods for the COVID-19 regional safety assessment // Journal of Infection and Public Health. 2021. vol. 14. no. 6. pp. 775–786.
9. Pramanik P.K.D., Biswas S., Pal S., Marinkovic D., Choudhury P.A. A Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methods for Resource Selection in Mobile Crowd Computing // Symmetry. 2021. vol. 13. no. 9. pp. 1–51. DOI: 10.3390/sym13091713.
10. Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю. Метод поддержки принятия решений в малых группах // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2012. № 1. С. 26–34.
11. Колпакова Т.А. Определение компетентности экспертов при принятии групповых решений // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2011. № 1(24). С. 40–43.
12. Dutov A.V., Litovka Y.V., Nesterov V.A., Solovjev D.S., Solovjeva I.A., Sypalo K.I. Search for the optimal control over current regimes in electroplating processes with multi anodes at a diversified assortment of treated articles // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2019. vol. 58. pp. 75–85.
13. Solovjev D.S., Solovjeva I.A., Konkina V.V., Litovka Y.V. Improving the uniformity of the coating thickness distribution during electroplating treatment of products using multi anode baths // Materials Today: Proceedings. 2019. vol. 19. no. 5. pp. 1895–1898.
14. Solovjev D.S., Potlov A.Y., Litovka Y.V. Reduction of nonuniformity in the thickness of a galvanic coating using disableable anode sections under current reversal conditions // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2019. vol. 53. no. 1. pp. 97–106.
15. Solovjev D.S., Solovjeva I.A., Konkina V.V. Software Development for the Optimal Parts Location in the Bath Space with the Purpose to Reduce the Non-uniformity of the Coating Thickness // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). 2021. pp. 85–93.
16. Пчелинцева И.Ю., Литовка Ю.В. Система автоматизированного управления процессом нанесения гальванического покрытия в ванне с токонепроводящим экраном // Мехатроника, автоматизация, управление. 2022. Т. 23. № 4. С. 188–196.
17. Karimian N., Hashemi P., Afkhami A., Bagheri H. The principles of bipolar electrochemistry and its electroanalysis applications // Current Opinion in Electrochemistry. 2019. vol. 17. pp. 30–37.
18. Yang G., Deng D., Zhang Y., Zhu Q., Cai J. Numerical Optimization of Electrodeposition Thickness Uniformity with Respect to the Layout of Anode and Cathode // Electrocatalysis. 2021. vol. 12. no. 5. pp. 478–488.
19. Liu N., Xu Z. An overview of ARAS method: Theory development, application extension, and future challenge // International Journal of Intelligent Systems. 2021. vol. 36. no. 7. pp. 3524–3565.

20. Goswami S.S., Jena S., Behera D.K. Implementation of CODAS MCDM Method for the Selection of Suitable Cutting Fluid // 2021 International Conference on Simulation, Automation & Smart Manufacturing (SASM), Mathura, India. 2021. pp. 1–6.
21. Krishankumar R., Garg H., Arun K., Saha A., Ravichandran K.S., Kar S. An integrated decision-making COPRAS approach to probabilistic hesitant fuzzy set information // Complex & Intelligent Systems. 2021. vol. 7. pp. 2281–2298.
22. Yazdani M., Torkayesh A.E., Santibanez-Gonzalez E.D., Otaghsara S.K. Evaluation of renewable energy resources using integrated Shannon Entropy–EDAS model // Sustainable Operations and Computers. 2020. vol. 1. pp. 35–42.
23. Shil B., Sinha P., Das S., Tripathy B.C., Poojary P. Grey Relational Analysis–Based MADM Strategy Under Possibility Environment and Its Application in the Identification of Most Important Parameter Affecting Climate Change and the Impact of Urbanization on Hydropower Plants // Process Integration and Optimization for Sustainability. 2023. vol. 7. no. 3. pp. 599–608.
24. Ic Y.T. A multi-objective credit evaluation model using MOORA method and goal programming // Arabian Journal for Science and Engineering. 2020. vol. 45. no. 3. pp. 2035–2048.
25. Altin H. A Comparison of Performance Results Of Aras And Moosra Methods: American Continent Countries // Journal of Economics, Finance and Accounting. 2020. vol. 7. no. 2. pp. 173–186.
26. Warnars H.L.H.S., Fahrudin A., Utomo W.H. Student performance prediction using simple additive weighting (SAW) method // International Journal of Artificial Intelligence. 2020. vol. 9. no. 1. DOI: 10.11591/ijai.v9.i4.
27. Chakraborty S. TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis // Decision Analytics Journal. 2022. vol. 2. no. 100021. pp. 1–7.
28. Pamucar D., Sremac S., Stevic Z., Cirovic G., Tomic D. New multi-criteria LNN WASPAS model for evaluating the work of advisors in the transport of hazardous goods // Neural Computing and Applications. 2019. vol. 31. pp. 5045–5068.
29. Соловьев Д.С. Метод объективизации значений весовых коэффициентов для принятия решений в многокритериальных задачах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23. № 1. С. 161–168.
30. Saari D.G. Selecting a voting method: the case for the Borda count // Constitutional Political Economy. 2023. vol. 34. no. 3. pp. 357–366.
31. Соловьев Д.С. Выбор единственной альтернативы с использованием совокупности методов принятия решений при мультивариантности результата в многокритериальных задачах // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612846 от 08.02.2023. Заявка № 2023611961 от 08.02.2023.

Соловьев Денис Сергеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры, кафедра математического моделирования и информационных технологий, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина. Область научных интересов: системный анализ, математическое и компьютерное моделирование, автоматизация и интеллектуализация, поддержка принятия решений и управление сложными системами. Число научных публикаций — 125. solovjevdenis@mail.ru; улица Интернациональная, 33, 392036, Тамбов, Россия; р.т.: +7(4752)723-434 доб. 2021.

Поддержка исследований. Работа выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования научным оборудованием ТГУ имени Г.Р. Державина.

DOI 10.15622/ia.23.1.6

D. SOLOVJEV

COMPETENCE COEFFICIENTS CALCULATION METHOD OF PARTICIPANTS IN GROUP DECISION-MAKING FOR SELECTING THE BEST ALTERNATIVE WITH THE MULTIVARIATE OF THE RESULT

Solovjev D. **Competence Coefficients Calculation Method of Participants in Group Decision-Making for Selecting the Best Alternative with the Multivariate of the Result.**

Abstract. The problem of obtaining the best alternative using decision-making methods based on the experience of specialists and mathematical calculations is considered in the article. Group decision-making is appropriate for solving this problem. However, it can lead to the selection of several best alternatives (multivariate of the result). Accounting for competence will prioritize the decision of more competent participants and eliminate the emergence of several best alternatives in the process of group decision-making. The problem of determining the competence coefficients for participants in group decision-making has been formulated. The selection of the best alternative with the multivariate of the result is provided in the problem. A method for solving the problem has been developed. It involves discretizing the range of input variables and refining the competence coefficients values of group decision-making participants in it to select the best alternative, either by the majority principle or with the decision-maker's involvement. Further calculation of the competence coefficients for participants in group decision-making is carried out using local linear interpolation of the refined competence coefficient at surrounding points from the discretized range. The use of the proposed method for solving the problem is considered using the example of group decision-making according to the main types of the majoritarian principle for selecting an electrodeposition variant. The results show that the proposed method for calculating the competence coefficients of participants in group decision-making through local linear interpolation is the most effective for selecting the best alternative with a multivariate result based on the relative majority.

Keywords: competence coefficients, group decision-making, selection of the best alternative, multivariate of the result.

References

1. Smirnov A., Moll E., Teslya N. [Use of Fuzzy Coalition Games in Socially Oriented Decision Making During Hospitalization in Pandemic]. Informatika i avtomatizaciya – Informatics and Automation. 2021. vol. 20. no. 5. pp. 1090–1114. (In Russ.).
2. Shilov N., Ponomarev A., Smirnov A. [The Analysis of Ontology-Based Neuro-Symbolic Intelligence Methods for Collaborative Decision Support]. Informatika i avtomatizaciya – Informatics and Automation. 2023. vol. 22. no. 3. pp. 576–615. (In Russ.).
3. Larichev O.I. Ob"ektivnye modeli i sub"ektivnye resheniya [Objective Models and Subjective Decisions]. M.: Nauka. 1987. 143 p. (In Russ.).
4. Gushchin Yu.G., Parfenova M.Ya., Parfenov I.I. [Multi-criteria decision-making problem with objective and subjective models]. Vestnik Iževskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta – Bulletin of Kalashnikov ISTU. 2007. no. 3(35). pp. 148–150. (In Russ.).
5. Gomes M.I., Martins N.C. Mathematical Models for Decision Making with Multiple Perspectives: An Introduction. Boca Raton: CRC Press. 2022. 300 p.

6. Nabatova D.S. Matematicheskie i instrumental'nye metody podderzhki prinyatiya reshenij [Mathematical and instrumental methods of decision support]. M.: Publishing URAIT. 2023. 292 p. (In Russ.).
7. Biswas S. Measuring performance of healthcare supply chains in India: A comparative analysis of multi-criteria decision making methods. Decision Making Applications in Management and Engineering. 2020. vol. 3. no. 2. pp. 162–189.
8. Hezer S., Gelmez E., Ozceylan E. Comparative analysis of TOPSIS, VIKOR and COPRAS methods for the COVID-19 regional safety assessment. Journal of Infection and Public Health. 2021. vol. 14. no. 6. pp. 775–786.
9. Pramanik P.K.D., Biswas S., Pal S., Marinkovic D., Choudhury P.A. A Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methods for Resource Selection in Mobile Crowd Computing. Symmetry. 2021. vol. 13. no. 9. pp. 1–51. DOI: 10.3390/sym13091713.
10. Maltugueva G.S., Yurin A.Y. [Method of decision-making in small groups]. Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika, informatika – BSU bulletin. Mathematics, Informatics. 2012. no. 1. pp. 26–34. (In Russ.).
11. Kolpakova T.A. [Determining the competence of experts in making group decisions]. Radioelektronika, informatika, upravlenie – Radio Electronics, Computer Science, Control. 2011. vol. 1(24). pp. 40–43. (In Russ.).
12. Dutov A.V., Litovka Y.V., Nesterov V.A., Solovjev D.S., Solovjeva I.A., Sypalo K.I. Search for the optimal control over current regimes in electroplating processes with multi anodes at a diversified assortment of treated articles. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2019. vol. 58. pp. 75–85.
13. Solovjev D.S., Solovjeva I.A., Konkina V.V., Litovka Y.V. Improving the uniformity of the coating thickness distribution during electroplating treatment of products using multi anode baths. Materials Today: Proceedings. 2019. vol. 19. no. 5. pp. 1895–1898.
14. Solovjev D.S., Potlov A.Y., Litovka Y.V. Reduction of nonuniformity in the thickness of a galvanic coating using disableable anode sections under current reversal conditions. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2019. vol. 53. no. 1. pp. 97–106.
15. Solovjev D.S., Solovjeva I.A., Konkina V.V. Software Development for the Optimal Parts Location in the Bath Space with the Purpose to Reduce the Non-uniformity of the Coating Thickness. Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). 2021. pp. 85–93.
16. Pchelintseva I.Yu., Litovka Yu.V. [Automated Control System for the Process of Electroplating in a Bath with a Non-Conductive of Electric Current Screen]. Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie – Mechatronics, automation, control. 2022. vol. 23. no. 4. pp. 188–196. (In Russ.).
17. Karimian N., Hashemi P., Afkhami A., Bagheri H. The principles of bipolar electrochemistry and its electroanalysis applications. Current Opinion in Electrochemistry. 2019. vol. 17. pp. 30–37.
18. Yang G., Deng D., Zhang Y., Zhu Q., Cai J. Numerical Optimization of Electrodeposition Thickness Uniformity with Respect to the Layout of Anode and Cathode. Electrocatalysis. 2021. vol. 12. no. 5. pp. 478–488.
19. Liu N., Xu Z. An overview of ARAS method: Theory development, application extension, and future challenge. International Journal of Intelligent Systems. 2021. vol. 36. no. 7. pp. 3524–3565.
20. Goswami S.S., Jena S., Behera D.K. Implementation of CODAS MCDM Method for the Selection of Suitable Cutting Fluid. 2021 International Conference on Simulation, Automation & Smart Manufacturing (SASM), Mathura, India. 2021. pp. 1–6.

21. Krishankumar R., Garg H., Arun K., Saha A., Ravichandran K.S., Kar S. An integrated decision-making COPRAS approach to probabilistic hesitant fuzzy set information. Complex & Intelligent Systems. 2021. vol. 7. pp. 2281–2298.
22. Yazdani M., Torkayesh A.E., Santibanez-Gonzalez E.D., Otaghsara S.K. Evaluation of renewable energy resources using integrated Shannon Entropy–EDAS model. Sustainable Operations and Computers. 2020. vol. 1. pp. 35–42.
23. Shil B., Sinha P., Das S., Tripathy B.C., Poojary P. Grey Relational Analysis–Based MADM Strategy Under Possibility Environment and Its Application in the Identification of Most Important Parameter Affecting Climate Change and the Impact of Urbanization on Hydropower Plants. Process Integration and Optimization for Sustainability. 2023. vol. 7. no. 3. pp. 599–608.
24. Ic Y.T. A multi-objective credit evaluation model using MOORA method and goal programming. Arabian Journal for Science and Engineering. 2020. vol. 45. no. 3. pp. 2035–2048.
25. Altin H. A Comparison of Performance Results Of Aras And Moosra Methods: American Continent Countries. Journal of Economics, Finance and Accounting. 2020. vol. 7. no. 2. pp. 173–186.
26. Warnars H.L.H.S., Fahrudin A., Utomo W.H. Student performance prediction using simple additive weighting (SAW) method. International Journal of Artificial Intelligence. 2020. vol. 9. no. 1. DOI: 10.11591/ijai.v9.i4.
27. Chakraborty S. TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. Decision Analytics Journal. 2022. vol. 2. no. 100021. pp. 1–7.
28. Pamucar D., Sremac S., Stevic Z., Cirovic G., Tomic D. New multi-criteria LNN WASPAS model for evaluating the work of advisors in the transport of hazardous goods. Neural Computing and Applications. 2019. vol. 31. pp. 5045–5068.
29. Solovjev D.S. [The objectification method of the weight coefficients for decision-making in multicriteria problems]. Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki – Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2023. vol. 23. no. 1. pp. 161–168. (In Russ.).
30. Saari D.G. Selecting a voting method: the case for the Borda count. Constitutional Political Economy. 2023. vol. 34. no. 3. pp. 357–366.
31. Solovjev D.S. The choice of a single alternative using a set of decision-making methods with multivariate results in multicriteria problems. Computer program registration certificate no. 2023612846 dated 08.02.2023. (In Russ.).

Solovjev Denis — Ph.D., Associate professor of the department, Department of mathematical modeling and information technologies, Derzhavin Tambov State University. Research interests: system analysis, mathematical and computer modeling, automation and intellectualization, decision support and control of complex systems. The number of publications — 125. solovjevdenis@mail.ru; 33, Internacional'naya St., 392036, Tambov, Russia; office phone: +7(4752)723-434 ext. 2021.

Acknowledgements. The research is carried out using the equipment of the Center for Collective Use of Scientific Equipment of TSU named after G.R. Derzhavin.