

Управление в организационных системах

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 519: 51

doi: 10.30987/2658-4026-2023-3-199-211

Агрегирование взаимосвязанных нечетко определенных диагностических параметров сложно структурируемых объектов

Сергей Алексеевич Багрецов^{1✉}, Михаил Александрович Голубев², Максим Сергеевич Коновальчик³
^{1,2,3.} Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

¹ vka@mil.ru

Аннотация.

Рассматривается задача выполнения условий последовательного агрегирования иерархически взаимосвязанных нечетких показателей состояния объекта исследования. Определяются необходимые условия соотношения нечетко определенных агрегируемых показателей эффективности вышележащего и нижележащего уровней иерархии сложно структурируемого объекта (ССО). Показано, что сформулированные в статье условия согласования агрегируемых параметров вышележащего и нижележащих уровней являются обобщением ранее полученных авторами результатов с учетом четких оценок параметров на случай их нечеткого измерения. На основе применения принципа обобщения Л. Заде разработаны методики агрегирования параметров и оценки степени четкости согласования их отношений предпочтения в интегральном показателе состояния объекта исследования. Приведен пример агрегирования иерархически взаимосвязанных нечетких показателей эффективности ССО, подтверждающий справедливость сделанных в статье выводов.

Ключевые слова: агрегирование, иерархия, образ и прообраз объекта, размытые множества, принцип обобщения, взаимное доминирование, отношения предпочтения, согласование отношений предпочтения

Для цитирования: Багрецов С.А., Голубев М.А., Коновальчик М.С. Агрегирование взаимосвязанных нечетко определенных диагностических параметров сложно структурируемых объектов // Эргодизайн. №3 (21). С. 199-211. <http://dx.doi.org/10.30987/2658-4026-2023-3-199-211>.

Original article

Open access article

Aggregating Related Fuzzy Defined Diagnostic Parameters of Complexly Structured Objects

Sergey A. Bagretsov^{1✉}, Mikhail A. Golubev², Maksim S. Konovalchik³
^{1,2,3.} A.F. Mozhaysky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russia

¹ vka@mil.ru

Abstract.

The paper considers the task of fulfilling the conditions for consecutive aggregation of hierarchically related fuzzy parameters of the research object state. The necessary conditions for correlating fuzzy aggregated performance indicators of overlying and lower hierarchical levels of a complexly structured object (CSO) are determined. The paper shows that the conditions for matching the aggregated parameters of overlying and lower levels formulated in the article are synthesis of authors' previously obtained results, taking into account clear estimates of the parameters in the case of their fuzzy measurement. Based on applying the generalization principle of L. Zade, methods have been developed for aggregating parameters and assessing the clarity degree of matching their preference relations in the integral indicator of the object state. An example of

Key words: aggregation, hierarchy, object image and prototype, fuzzy sets, generalization principle, mutual dominance, preference relations, agreement of preference relations

For citation: Bagretsov S.A., Golubev M.A., Konovalchik M.S. Aggregating Related Fuzzy Defined Diagnostic Parameters of Complexly Structured Objects // Ergodizayn [Ergodesign], 2023, No. 3 (21). Pp. 199-211. Doi: 10.30987/2658-4026-2023-3-199-211.

Введение

Описание характеристик эффективности функционирования сложно структурируемых объектов, например, объектов эксплуатации, свидетельствующих о состоянии его работоспособности, даже в их усеченном представлении, нередко содержит очень большое количество иерархически взаимосвязанных частных показателей [1, 2]. Во многом, их количество и структура определяются сложностью самих объектов эксплуатации (ОЭ), а также особыми требованиями, предъявляемыми к ним с точки зрения решения целевых задач применения объекта в текущей обстановке. Чаще всего такие требования могут быть связаны с сокращением времени подготовки объекта к функционированию, изменением условий эксплуатации и т.п.

Иерархический характер взаимосвязи параметров объекта эксплуатации предполагает решение задач их последовательного агрегирования в соответствии со структурой их иерархической взаимосвязи. Агрегирование параметров ОЭ позволяет на каждом шаге такого последовательного анализа со всё большей четкостью давать оценку его состояния, основываясь на значениях показателей нижележащего уровня иерархии. Важной особенностью последовательного агрегирования иерархически связанных показателей любого ОЭ является необходимость согласования отношений предпочтения оценок параметров состояния ОЭ на всех уровнях иерархии. В этом отношении показатели вышележащего уровня иерархии не должны противоречить оценкам на нижележащем уровне иерархии. Это условие вытекает из самой логики организации подобного анализа иерархически связанных между собой данных, а именно: переход на новый, более высокий уровень анализа должен позволять повысить достоверность и точность оценок состояния

объекта, уменьшить размерность пространства учитываемых признаков и снизить неопределённость принимаемых решений на основе последовательной конкретизации состояния объекта исследования. Появляющееся в этом процессе противоречие между стремлением к снижению неопределённости принимаемых решений на вышележащем уровне анализа и естественной неопределённостью данных на нижележащем уровне, как раз, и решается посредством такого выбора методов агрегирования и отбора состава агрегируемых данных, при которых взаимные отношения агрегированных оценок вышележащего уровня не будут противоречить отношениям между исходными данными нижележащего уровня иерархии, т.е. согласованы с ними. Применительно к оценкам технических систем, параметры которых оцениваются четко, такие подходы известны [3, 4, 5, 6]. Однако их применение существенно ограничено в отношении оценок характеристик объектов, параметры которых измеряются нечетко и нечеткой является сама процедура агрегирования в силу иерархического характера их взаимных связей.

1. Агрегирование частных оценок состояния ОЭ в обобщенный показатель

Будем полагать, что модель оценки текущего состояния ОЭ имеет иерархическую структуру, а показатели её иерархически связаны между собой и образуют критериальное пространство [1,2]. Рассмотрим процесс агрегирования показателей ОЭ первого уровня. Обозначим через $x(1) \in X_1$ показатели первого уровня, а соответствующие им частные показатели нижележащего уровня, через $x(0) \in X_0$. Тогда:

$$X_1 = \{x(1) = f_1(x(0)) \mid x(0) \in X_0\}; X_1 \subset E^{n_1},$$

где n_1 – число параметров оценки состояния ОЭ, относящихся к первому

уровню; $X_0 \subset E^{n_0}$; n_0 – число параметров, относящихся к нижележащему нулевому

уровню; f_1 – функциональные преобразования агрегирования, являющихся отображением параметров нижележащего уровня; $n_1 < n_0$.

$$x(0) \in X_0 \subset E^{n_0}, \mu(x(0)) \in E^{N_0}$$

$$x(1) = f_1(x(0)) \in X_1 = E^{n_1}, n_1 < n_0, \mu(x(1)) \in E^{N_1};$$

...

$$x(k+1) = f_{k+1}(x(k)) \in X_{k+1} = E^{n_{k+1}}, n_{k+1} < n_k, \mu(x(k+1)) \in E^{N_{k+1}};$$

...

$$x(m) = f_m(x(m-1)) \in X_m \subset E^{n_m}, n_m < n_{m-1}, \mu(x(m)) \in E^{N_m}.$$

$$\text{где } x(k+1) = f_{k+1}[x(k)] \in X_{k+1} \in E^{n_{k+1}}, n_{k+1} < n_k, \mu[x(k+1)] \in E^{N_{k+1}};$$

$$\mu(x(k+1)) = \sup_{(x_{(k+1)k} \dots x_{nk})} \min \left\{ \mu_{(k+1)k}(x_{1k}) \dots \mu_{(k+1)k}(x_{nk}) \right\} \mu_{\Phi}^{x_{k+1}}((x_{1k} \dots (x_{nk}))) \quad (2)$$

$\mu_{\Phi}^{x_{k+1}}((x_{1k} \dots (x_{nk})))$ – функция принадлежности

предпочтения частного показателя $x(k)$ при исходных характеристиках, описываемых вектором $X_k = ((x_{1k} \dots (x_{nk})))$; (n_k) – число показателей ОЭ на k -м уровне иерархии; $X_{k+1} = \{f_{k+1}X(k)\}$ – нечеткий образ X_{k+1} агрегируемых параметров k -го уровня ОЭ; n – число показателей на данном уровне их иерархической взаимосвязи; $X_1 = \{x(1) = f_1(x(0)) \mid x(0) \in X_0\}$ – нечеткий образ X_0 в агрегируемых параметрах первого уровня ОЭ.

Отображение $f_{k+1}X(k)$ определяет структуру преобразований исходных данных о параметрах ОЭ, нижележащего k -го уровня иерархии показателей ОЭ.

При этом увеличение числа m уровней агрегирования интегрального показателя требует последовательной конкретизации отображений состояний ОЭ на каждом этапе агрегирования его показателей. Это требует учета более тонкой структуры модели состояния ОЭ. В этих условиях мы сталкиваемся не только с усложнением самой модели, но и с ростом ошибок из-за нечеткости исходных данных. Определение условий компромисса в этой ситуации лежит в плоскости определения условий согласования нечетких отношений предпочтения во множестве полученных значений частных оценок состояния объекта эксплуатации на нижнем и вышестоящем уровнях агрегирования оценок состояния ОЭ.

В общем виде процесс агрегирования иерархически связанных показателей ОЭ с учетом нечеткости их оценок может быть представлен следующей цепочкой преобразований:

2. Согласование агрегируемых оценок состояния объекта эксплуатации с учетом их нечеткого представления

Рассмотрим множество X_{k-1} показателей ($k-1$) – го уровня оценок состояния ОЭ и агрегируемые показатели k -го уровня: $F_k(x(k-1)) = (f_k^1(x(k-1)) \dots f_k^{n_k}(x(k-1)))$.

Преобразование $F_k(x(k-1))$ обеспечивает формирование образа показателей нижележащего уровня иерархии x в агрегируемых показателях x вышележащего уровня. Он позволяет ввести определённую метрику отношений исходных и агрегируемых параметров характеристик состояния объекта, обеспечивая согласованность их оценок. В частности с помощью F_k на X_{k-1} можно определить отношение R_{k-1} , таким образом: для $\forall x, y \in X_{k-1}$ будет справедливо $x R_{k-1} y$ тогда и только тогда, когда $f_k^i(x) \geq f_k^i(y)$, $\forall i = \overline{1, n_k}$ и найдется i_0 , для которого $f_k^{i_0}(x) > f_k^{i_0}(y)$ [7, 8]. Определение этих отношений позволяет оценить возможность целевого предназначения объекта и принять наиболее оптимальное решение по его дальнейшему использованию. Очевидно, что для $f_k(x)$ и $f_k(y)$ отношение R_{k+1} должно выполняться с четкостью превышающую заданную

величину, т.е. $\alpha_{k+1} \geq \alpha^0$. Определим порядок выполнения данного требования в условиях наличия нечеткой информации, как об исходных данных, так и о способах её агрегирования.

Если полагать \bar{x} и \bar{y} нечеткими, то их отображения \bar{x} и \bar{y} следует рассматривать как нечеткие подмножества $\bar{x} \in X_k$ и $\bar{y} \in Y_k$. В этом случае, отношение R_k , следует описывать функцией принадлежности, значение которой будет определять степень

$$\mu_B(\bar{y}) = \sup_{x \in X} \min \{ \mu(x), \mu_\varphi(x, \bar{y}) \}, X = f^{-1}(\bar{x}), \quad (3)$$

где $\mu(x)$ – функция принадлежности агрегируемых нечетко определяемых показателей;

$\mu(x) = \min \{ \mu(x) : x \in X_0 \}$; $\mu_\varphi(x, \bar{y})$ – функция принадлежности нечеткого отображения x в \bar{y} ; \bar{y} нечеткий образ отображения показателя x в вышележащем $(k+1)$ -м уровне

$$\mu_B(\bar{x}) = \sup_{y \in f^{-1}(\bar{y})} \min \{ \mu(y), \mu_\varphi(y, \bar{x}) \}$$

На практике на вышестоящем уровне иерархии агрегированию может подлежать несколько параметров, т.е. $\mu_\varphi : X \times Y \rightarrow [0,1]$, где $X = X_1 \times \dots \times X_n$ – декартово произведение

$$\mu_B(\bar{y}) = \sup_{(x_1, \dots, x_n) \in X} \min \{ \mu_1(x_1), \dots, \mu_n(x_n), y(x_1, \dots, x_n), \mu_\varphi(x_1, \dots, x_n, \bar{y}) \}, X = f_k^{-1}(\bar{x}), \quad (5)$$

где $y(x_1, \dots, x_n)$ – функция принадлежности, определяющая возможность появления группировок параметров $X_y = (x_1, \dots, x_n)$ в процедурах агрегирования параметров исследуемого объекта $y(x_1, \dots, x_n) \rightarrow [0,1]$.

Аналогично может быть представлена и функция принадлежности $\mu_B(\bar{x})$ нечеткого образа показателя \bar{x} . Как видно, выражения (3)-(5) носят достаточно общий характер, поэтому далее будем рассматривать выражения (3)-(4), как основу дальнейшего анализа.

Нетрудно проверить, что в случае, когда $\mu_\varphi(x, y)$ обычное отображение [5,9] $x \rightarrow \bar{y}$, то

доминирования образа показателя \bar{y} над образом \bar{x} . Здесь \bar{x} и \bar{y} есть образы нечетких множеств x и y в X_k и Y_k (т.е. $x \in f_k^{-1}(\bar{x}), y \in f_k^{-1}(\bar{y})$) при нечетких отображениях $\mu_\varphi(x, \bar{y})$ и $\mu_\varphi(y, \bar{x})$. Применяя принцип обобщения [5], определим образ $\mu_B(\bar{y})$ нечеткого множества X в Y_k при нечетком отображении $\mu_\varphi : [X \times Y_k] \rightarrow [0,1]$ функцией принадлежности вида:

агрегируемого показателя; $f^{-1}(\bar{x})$ – множество всех показателей нижележащего уровня $x \in X_{k-1}$, являющихся прообразами показателей вышестоящего уровня $x \in X_k$. Аналогично для $\mu_B(\bar{x})$ получим:

соответствующих множеств параметров агрегирования оценок состояний ОЭ. Тогда, в соответствии с принципом обобщения, образ $\mu_B(\bar{y})$ μ_φ может быть определен выражением вида:

$$\mu_B(\bar{y}) = \sup_{y \in f^{-1}(\bar{y})} \mu(y); \mu_B(\bar{x}) = \sup_{x \in f^{-1}(\bar{x})} \mu(x)$$

Если $\bar{y} = f_k \{ x : x \in X_{k-1} \}$, то $\mu_\varphi(\bar{x}, \bar{y}) = 1$, а также $\mu_\varphi(x, y) = 0, \forall x, y \in X_0$.

Рассмотрим множество агрегируемых параметров X_k оценки состояния объекта эксплуатации, заданных векторным критерием $W_k(x(k)) = (W_k^1(x(k)), \dots, W_k^{nk}(x(k)))$, определяющих состояние работоспособности объекта и являющихся результатом субъективного анализа значений агрегируемых параметров на k -м уровне агрегирования в количественных или качественных шкалах.

С помощью W_k на X_k введем отношение $R_k^{\alpha_k}$, выполняемое с четкостью $\alpha_k \geq \alpha^0$, формулируемое следующим образом: для любых x и $y \in X_k$ полагаем $xR_k^{\alpha_k}y$ тогда и только тогда, когда $W_k(x) \geq W_k(y), \forall i = \overline{1, n}$, и при этом найдется такое множество $\{x, y\} \in X_{k-1}$, что для каждого $W_k^{10}(x) > W_k^{10}(y)$.

Здесь, как и ранее, α^0 – требуемое значение степени выполнения отношений R в агрегируемом интегральном показателе объекта анализа. В этом случае справедливо следующее определение:

определение 1. Отношение $R = (R_0, R_1, \dots, R_m)$ и агрегирование $f = (f_1, \dots, f_m)$ интегрального показателя нечетких исходных данных объекта эксплуатации называется согласованным, если $\forall \bar{x}, \bar{y} \in X_{k+1}, \bar{x}R_{k+1}^{\alpha_{k+1}}\bar{y}$ со степенью четкости α_{k+1} для $\forall x \in f_{k+1}^{-1}(\bar{x})$ найдется показатель нижележащего k -го уровня $y \in f_{k+1}^{-1}(\bar{y})$, доминирующий показатель x со степенью $\alpha_k \leq \alpha_{k+1} \geq \alpha^0$, т.е. отвечающий условию $yR_k^{\alpha_k}x$.

Таким образом, данное определение позволяет учесть иерархический характер

$$\alpha_k = \min \{ \alpha_{kq} : q \in Q_k \}, \quad (6)$$

$$\text{где } \alpha_{kq} = \max_{\bar{x}, \bar{y}} \{ \mu_{Bqk}^*(\bar{y}, \bar{x}), \mu_{Bqk}^*(\bar{x}, \bar{y}) \}; \quad (7)$$

$$\mu_{Bqk}^*(\bar{y}, \bar{x}) = \begin{cases} \mu_{nqk}(\bar{y}, \bar{x}), & \text{если } \mu_{nqk}(\bar{y}, \bar{x}) > \{ \mu_{Bqk}(\bar{y}), \mu_{Bqk}(\bar{x}) \}; \\ \min \{ \mu_{Bqk}(\bar{y}), \mu_{Bqk}(\bar{x}), \mu_{nqk}(\bar{y}, \bar{x}) \}, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (8)$$

$\mu_{nqk}(\bar{x}, \bar{y})$ – функция, определяющая субъективную меру оценки превосходства агрегированного параметра \bar{y} над параметром \bar{x} на данном (k -м) уровне иерархии; $\bar{x} \in f_k(x); \bar{y} = f_k(y)$.

Данное выражение уточняет результаты исследований автора, полученных ранее в работе [3].

Здесь $\mu_n(\bar{x}, \bar{y})$ отражает мнение эксперта по отношению предпочтительности значения

взаимосвязи исходных параметров и нечеткость их оценок в интегральном показателе объекта анализа. С этой точки зрения данное определение отражает указанную выше сущность процессов агрегирования параметров для объектов любой физической природы. Примем во внимание множественный характер промежуточных классификаций на (k -м) уровне иерархии. Каждый такой класс агрегируемых параметров является отражением отдельной, относительно самостоятельной характеристики исследуемого объекта анализа. В этом случае, следует выделять локальный и глобальный уровни согласования отношений предпочтения на (k -м) уровне иерархии агрегируемых параметров. В первом случае согласование отношений предпочтения производится в отношении одного класса классификации характеристик объекта, а во втором – в отношении всех классов k -го уровня со степенью четкости α_k . Обозначим через $\mu_{Bqk}(\bar{x}, \bar{y})$ степень доминирования нечеткого образа \bar{x} над образом \bar{y} q -го класса классификации на k -м уровне агрегирования показателей исследуемого объекта. В данном случае $q \in Q_k, k = 1, K$. Тогда, учитывая выражения (3) – (5), получим:

интегрального параметра \bar{y} перед значением параметра \bar{x} с точки зрения их отражения целевого назначения объекта. Степень четкости α_{kq} измеряется для каждого класса агрегируемых показателей. Далее функции принадлежности $(x, y)\mu_{Bqk}(y)$ и $\mu_{Bqk}(x)$ q -го класса k -го уровня сами рассматриваются как исходные данные для оценки параметров интегрального показателя вышестоящего ($k+1$ -го) уровня агрегирования.

Определение 1 утверждает, что на каждом последующем уровне агрегирования ИП знание об определенном свойстве объекта должно быть более конкретным (четким). Определение значений функций $(\mu_B(\bar{y}, \bar{x}), \mu_B(\bar{x}, \bar{y}))$ агрегированных

параметров \bar{x} и \bar{y} составляет предмет деятельности специалиста оцениваемого состояние ОЭ. Это становится особенно важным при необходимости учёта новых показателей состояния ОЭ, полученных, например, в результате наблюдения за состоянием объекта эксплуатации. Выявленные при этом нарушения условий согласования отношений предпочтения агрегируемых параметров свидетельствуют о необходимости изменения планов оценки состояния объекта, необходимости учета влияния других неучтенных факторов и т.п.

Из определения 1 следует два полярно противоположных вывода, а именно:

а) при $\mu_n(\bar{x}, \bar{y}) = \mu_n(\bar{y}, \bar{x}) = 0$ (т.е., например, переменные \bar{x}, \bar{y} несравнимы между собой или оценены в различных шкалах) четкость степени реализации отношения R равна $\alpha_k = 1$.

б) при $\mu(x) = \mu(y) = 1$; (все параметры измеряются четко) и $\{x\} \cap \{y\} = \emptyset, (x = f^{-1}(\bar{x}); y = f^{-1}(\bar{y}))$, то $\alpha_k = 1$. Это условие будет соответствовать аналогичному определению, данному в работе [4].

Таким образом, чем ниже требования к значению степени α^0 , тем будет шире будет область исходных параметров, при которых агрегированные интегральные показатели модели будут согласованы с отношениями предпочтения частных показателей, а нечеткое отношение агрегируемых

$$\alpha_k(x, y) \geq \alpha_{k-1}(x, y); x, y \in X_k;$$

$$x, y \in X_{k-1}, \forall x, y: x = f_k^{-1}(\bar{x}); y = f_k^{-1}(\bar{y}).$$

При этом согласованность агрегирования и отношений предпочтения вычисляется для всех пар значений агрегируемого показателя. Очевидно, что, как и в предыдущем случае, при четком измерении параметров объекта исследования и четких отношениях предпочтения, т.е. $\alpha_{k+1} \equiv 1, \forall x, y \in X_{k+1}$. Это условие эквивалентно аналогичному

параметров моделей на $(k+1)$ -м уровне при условии их согласования должно включать в себя отношение R_k на k -м уровне агрегирования, т.е. $\alpha_k < \alpha_{k+1}$. Это подтверждает выдвинутое раннее утверждение о том, что с увеличением уровня агрегирования параметров исследуемого объекта четкость согласования их отношений предпочтения должна увеличиваться, обеспечивая, тем самым, более четкое восприятие взаимосвязи изучаемых явлений или параметров ОЭ и степени их влияния на итоговый результат оценки целевого соответствия изучаемого объекта анализа. Согласование отношений предпочтения предусматривает определённую структурированность процессов анализа и свёртки иерархически связанных параметров изучаемых объектов эксплуатации в интересах оценки возможности их дальнейшего целевого применения.

Это условие необходимое, но недостаточное для принятия окончательного решения о возможности применения рассмотренной выше методики последовательного агрегирования иерархически связанных параметров сложно структурируемых объектов. Необходимо, чтобы отношения R в процедурах агрегирования f были бы не только согласованы (в соответствии с выше обозначенным определением), но и для любых k отображение $f_{k+1}(\cdot)$ было бы изотонным, т.е. для любых $x, y \in X_k$ из отношений предпочтения агрегируемых параметров k -го уровня x и y , равных $f_{k+1}(y)R_{k+1}f_{k+1}(x)$ со степенью не меньше α_{k+1} следует yR_kx со степенью не меньше $\alpha_{k-1} \leq \alpha_k$ т.е.:

(9)

определению, данному в работах [4, 5], что позволяет в рассматриваемой предметной области осуществлять обоснованный выбор средств диагностики параметров ОЭ, ориентируясь при этом на определённую степень их взаимного соответствия.

Рассмотрим пример согласования агрегирования и отношений предпочтения условных параметров на примере оценки

профессионального соответствия кандидатов. На основании априорных данных о взаимосвязи функционально важных для предполагаемой профессиональной деятельности качеств кандидата и анализа средств их оценки исследователем был определён план последовательного анализа ПС кандидата, исходя из возможных исходов диагностики его качеств и дальнейшего их последовательного агрегирования. Структура функциональных связей параметров ПС кандидата с учетом этого анализа представлена на рис. 1.

В разработанном плане диагностики ПС кандидата исследователь на нечетко предполагаемые данные об его исходных характеристиках и результатов их последовательного агрегирования, исходя из собственного опыта и знаний. Необходимо оценить степень согласованности отношений предпочтения выявляемых параметров в разработанном плане их оценки и на основании этого анализа выработать предложения по его утверждению или коррекции на основе новых обобщающих данных.

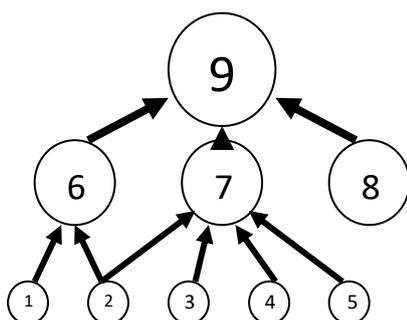


Рис.1. Структурная схема иерархической взаимосвязи параметров исследуемого объекта
Fig.1. Hierarchical relationship's structural diagram of the object under study's parameters

Будем полагать известными нечеткие значения параметров $(x_1 - x_5)x_6, x_7, x_8, x_9$. В качестве методов получения данных о значениях параметров и далее частных показателей рассматриваются применяемые в настоящее время методы диагностики, тестирования, экспериментальные и экспертные методы оценки, методы оценки качества деятельности в эргономических патентах [10, 11, 12]. Параметры $(x_1 - x_5)$ образуют нулевой уровень анализа, а параметры $(x_6 - x_8)$ – первый. Параметры $\{x_1 - x_3\}$ определяют значения частного

показателя x_6 . Другой частный показатель x_7 определяют параметры $\{x_2 - x_5\}$ (см. рис.1). Далее значения параметров x_6, x_7 совместно с параметром x_8 используются для определения интегрального показателя x_9 . В данном случае параметр x_1 измеряется четко, а параметры x_2 и x_3 нечётко и представлены в виде интервалов их возможных значений с определением функций принадлежности, а именно:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 0,8; \\
 x_2 &= \{0,9(\mu(x_2) = 0,7); 0,6(\mu(x_2) = 0,6); 0,5(\mu(x_2) = 0,7)\}; \\
 x_3 &= \{0,6(\mu(x_3) = 0,5); 0,8(\mu(x_3) = 0,8)\}; \\
 x_4 &= \{0,8(\mu(x_4) = 0,9); 0,6(\mu(x_4) = 0,8)\}; \\
 x_5 &= \{0,7(\mu(x_5) = 0,7)\}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Функции $\mu(x_2); \mu(x_3)$, в данном случае, отражают степень уверенности в том, что значения параметров определяют их истинные значения. В рассматриваемом примере они принимают по два дискретных значения с различными величинами функций принадлежности (таблица 1).

Примечание: $\gamma(x_1 x_2 x_3)$ – функция принадлежности, определяющая возможность появления группировок параметров $X_\gamma = (x_1, \dots, x_n)$ в процедурах агрегирования параметров исследуемого объекта.

Функции предпочтения параметров x_6 и x_7 представлены в таблицах 2, 3. Отношения предпочтения, определяемые функцией $\mu_{\Pi}(\bar{x}, \bar{y})$, определяются исследователем на основании анализа значений частных показателей x_6 и x_7 , а также состава определяющих их параметров

$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ и степени соответствия их численных значений целям агрегирования. Будем считать, что отношение предпочтения при агрегировании интегральных показателей должно выполняться со степенью четкости $\alpha_0 = 0,6$.

Таблица 1.

Таблица значений агрегируемых параметров x_6 и x_7 , функции принадлежности $\mu_{\varphi}(\bar{x}, \bar{y})$ нечеткого отношения предпочтения отображения x над образом \bar{y}

Table 1.

Table of variable parameters x_6 and x_7 values, membership functions $\mu_{\varphi}(\bar{x}, \bar{y})$ of the preference's fuzzy relation of the mapping x over the image \bar{y}

Численные значения параметров x_1 x_2 x_3	0,8; 0,9; 0,6 $\gamma(x_1$ x_2 $x_3)=0,8$	0,8; 0,9; 0,8 $\gamma(x_1$ x_2 $x_3)=0,8$	0,8; 0,6; 0,6 $\gamma(x_1$ x_2 $x_3)=0,9$	0,8; 0,5; 0,8 $\gamma(x_1$ x_2 $x_3)=0,7$
x_6	0,5	0,7	0,5; 0,7	0,5; 0,55
$\mu_{\varphi}(\bar{x}, \bar{y})$	0,8	0,9	0,8; 0,5	0,8; 0,75
x_2 x_3 x_4 x_5	0,9; 0,6 0,8; 0,8 $\gamma(x_2, x_3,$ $x_4,$ $x_5)=0,75$	0,9; 0,8 0,8; 0,8 $\gamma(x_2,$ $x_3,$ $x_4, x_5)=0,7$	0,6; 0,8 0,6; 0,8 $\gamma(x_2,$ $x_3,$ $x_4,$ $x_5)=0,6$	0,6; 0,8 0,8; 0,8 $\gamma(x_2,$ $x_3,$ $x_4,$ $x_5)=0,8$
x_7	0,5	0,8	0,5; 0,4	0,6
$\mu_{\varphi}(\bar{x}, \bar{y})$	1	1	0,6; 0,5	1

Таблица 2.

Таблица нечетких степеней $\mu_{\Pi}(\bar{x}, \bar{y})$ доминирования значений агрегированного параметра x_6 .

Table 2.

Fuzzy degrees' $\mu_{\Pi}(\bar{x}, \bar{y})$ table of dominance's values of the aggregated parameter x_6 .

Численные значения параметра x_6	$x_6=0,5$	$x_6=0,55$	$x_6=0,7$
$x_6=0,5$	-	0,1	0
$x_6=0,55$	0,6	-	0
$x_6=0,7$	0,8	0,7	-

Таблица 3.

Таблица нечетких степеней доминирования значений агрегированного параметра x_7 .

Table 3.

Fuzzy degrees' table of dominance's values of the aggregated parameter x_7 .

Численные значения параметра x_7		0,4	0,5	0,6	0,8
0,4		-	0,1	0	0
0,5		0,4	-	0,2	0
0,6		0,55	0,5	-	0,1
0,8		0,8	0,65	0,7	-

Пользуясь выражениями (3)-(5) и данными таблицы 1, определим образы нечетких множеств предполагаемых значений агрегированных параметров (\bar{x}_6, \bar{x}_7) первого

уровня. Интегральный показатель на уровне $x_6 = 0,5$ может иметь место при следующих комбинациях параметров $\{x_1, x_2, x_3\}$, а именно

$$\bar{x}_6 = 0,5 \rightarrow X_{1,2,3}^{0,5} = \{(0,8;0,9;0,6);(0,8;0,6;0,6);(0,8;0,6;0,8)\}$$

Аналогично для $\bar{x}_6 = 0,7$,
 $\bar{x}_6 = 0,7 \rightarrow X_{1,2,3}^{0,7} = \{(0,8;0,6;0,6);(0,8;0,9;0,8)\}$

Используя данные (9) и принимая во внимание данные таблицы 1 об исходных значениях и функциях принадлежности

$$\mu_B(\bar{x}_6 = 0,5) = \sup_{(x_1, \dots, x_n) \in X} \min \{(0,9;0,85;0,7;0,8;0,8);(0,9;0,9;0,7;0,9;0,8);(0,9;0,8;0,9;0,7;0,8)\} = 0,7$$

Далее аналогично получим:
 $\mu_B(\bar{x}_6 = 0,7) = 0,8$; $\mu_B(\bar{x}_6 = 0,55) = 0,7$.

Пользуясь формулами (7),(8) и данными таблицы 2 определим степени взаимного доминирования нечетких образов результатов агрегирования параметра \bar{x}_6 :

$$\mu_{B\bar{x}_6}^*(0,5;0,7) = 0,7$$
; $\mu_{B\bar{x}_6}^*(0,7;0,5) = 0,8$

Аналогично получим:

$$\mu_{B\bar{x}_6}^*(0,55;0,5) = 0,7$$
; $\mu_{B\bar{x}_6}^*(0,55;0,7) = 0$

$$\mu_B(\bar{x}_7 = 0,5) = \sup_{(x_1, \dots, x_n) \in X} \min \{(0,85;0,7;0,9;0,7;0,75;1);(0,9;0,9;0,8;0,7;0,6;0,6)\} = 0,7$$

аналогично $\mu_B(\bar{x}_7 = 0,8) = 0,7$;
 $\mu_B(\bar{x}_7 = 0,4) = 0,5$; $\mu_B(\bar{x}_7 = 0,6) = 0,7$.

Степени взаимного доминирования нечетких образов параметра \bar{x}_7 будут равны:

$$\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,5;0,8) = 0,7$$
; $\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,8;0,5) = 0,7$

$$\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,5;0,4) = 0,5$$
; $\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,4;0,5) = 0,5$

$$\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,5;0,6) = 0,7$$
; $\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,6;0,5) = 0,7$

$$\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,8;0,4) = 0,8$$
; $\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,4;0,8) = 0,5$

$$\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,4;0,6) = 0,5$$
; $\mu_{B\bar{x}_7}^*(0,6;0,4) = 0,55$

Тогда $\alpha_{k=1}(\bar{x}_7) = 0,7$. Так как $\alpha_{k=1}(\bar{x}_6) > \alpha_0$ и

$\alpha_{k=1}(\bar{x}_7) > \alpha_0$, требования к четкости определения отношений предпочтения агрегируемых параметров на первом уровне агрегирования выполнены. Принимая во внимание данные таблиц 2, 3, нетрудно определить, что частные показатели \bar{x}_6 и \bar{x}_7 вполне согласованы с отношениями предпочтения параметров нулевого уровня. Это необходимое, но недостаточное условие для полного согласования отношений предпочтения.

Далее аналогичным образом осуществляется проверка согласования агрегирования и отношений предпочтения на

$$\mu_B(y_9^{\text{1}}(X_1, X_3)) = \sup_{(x_1, \dots, x_n) \in X_1 \cup X_3} \min \{(0,7;0,7;0,8;0,9;0,8);(0,7;0,7;0,6;0,9;0,5)\} = 0,7$$

параметров нулевого уровня $\{x_1, x_2, x_3\}$, по формуле (5) определим нечеткие образы множеств предполагаемых значений агрегированного параметра \bar{x}_6 :

$\mu_{B\bar{x}_6}^*(0,7;0,55) = 0,7$. По формуле (6) определяем значение четкости реализации отношений предпочтения на $(k=1)$ -м уровне агрегирования параметров, т.е. $\alpha_{k=1}(\bar{x}_6) = 0,7$.

Выполним аналогичный анализ для параметра \bar{x}_7 . Нечеткие образы предполагаемых значений параметра \bar{x}_7 в соответствии с формулой (5) и исходными данными таблицы 1 и (9) будут равны:

втором уровне, т.е. уровне итогового признака профессионального соответствия \bar{x}_9 специалиста. Значения нечетких образов параметров \bar{x}_6 и \bar{x}_7 , являющихся исходными для второго уровня агрегирования информации определены в ходе выше выполненного расчета. Будем считать, что итоговые значения анализа состояния объекта сводятся к выявлению трёх классов, а именно: «соответствует» (y_9^{1}), «относительно соответствует» (y_9^{2}) и «не соответствует» (y_9^{3}). Взаимосвязь нечетких параметров первого уровня и классификационных характеристик объекта второго уровня представлена в таблице 4.

Значения взаимных функций предпочтения $\mu_n(y_9^j(X_i))$ агрегированных параметров $\{(y_9^j(X_i), j=\{1,3\}; i=\{1,4\})\}$ представлены в таблице 5.

Результаты расчета нечетких образов предполагаемых значений параметра $\{(y_9^j(X_i), j=\{1,3\}; i=\{1,4\})\}$ в соответствии с формулой (5) и исходными данными таблиц 4, 5 и на основании рассмотренного выше алгоритма представлены ниже, а именно:

аналогично получим: $\mu_B(y_{9\textcircled{2}}(X_2, X_3)) = 0,6$; $\mu_B(y_{9\textcircled{3}}(X_2, X_4)) = 0,7$. Степени взаимного доминирования нечетких образов параметра профессионального соответствия y_9 будут равны: $\mu_{B_{y_9}}(y_{9\textcircled{1}}(X_1)); y_{9\textcircled{1}}(X_3)) = 0,9$; $\mu_{B_{y_9}}(y_{9\textcircled{1}}(X_3)); y_{9\textcircled{1}}(X_1)) = 0,2$; $\mu_{B_{y_9}}(y_{9\textcircled{2}}(X_2)); y_{9\textcircled{2}}(X_3)) = 0,5$; $\mu_{B_{y_9}}(y_{9\textcircled{2}}(X_3)); y_{9\textcircled{2}}(X_2)) = 0,5$; $\mu_{B_{y_9}}(y_{9\textcircled{3}}(X_2)); y_{9\textcircled{3}}(X_4)) = 0,8$; $\mu_{B_{y_9}}(y_{9\textcircled{3}}(X_4)); y_{9\textcircled{3}}(X_2)) = 0,4$.

Полученные данные позволяют оценить чёткость оценок классификаций в данном случае профессиональных соответствий кандидатов: $\alpha_{k=2}(y_{9\textcircled{1}}) = 0,9$; $\alpha_{k=2}(y_{9\textcircled{2}}) = 0,5$; $\alpha_{k=2}(y_{9\textcircled{3}}) = 0,8$. Как видно, для первого и третьего уровней ПС уровни чёткости оценок соответствуют требуемым значениям $\alpha_0 = 0,6$. Кроме этого, они согласованы $\{\alpha_{k=2}(y_{9\textcircled{1}}), \alpha_{k=2}(y_{9\textcircled{3}})\} > \alpha_0$.

Таблица 4.

Таблица значений агрегируемых параметров \bar{x}_6 и \bar{x}_7 , функции принадлежности $\mu_\varphi(\bar{x}, \bar{y})$ нечеткого отношения предпочтения отображения x над образом y

Table 4.

Table of variable parameters \bar{x}_6 and \bar{x}_7 values, membership functions $\mu_\varphi(\bar{x}, \bar{y})$ of the preference's fuzzy relation of the mapping x over the image y

Численные значения и функции принадлежности группировок параметров второго уровня: $X = \{(x_{6.1}, x_{6.2}, x_{6.3}); (x_{7.1}, x_{7.2}); (x_{8.1}, x_{8.2})\}$	$X_1 = \{(x_{6.1}, x_{7.2}, x_{8.1})\}$ $\mu_B(\bar{x}_{i=1}) = \{0,4; 0,4; 0,7\}$	$X_2 = \{(x_{6.2}, x_{7.1}, x_{8.1})\}$ $\mu_B(\bar{x}_{i=1}) = \{0,7; 0,6; 0,7\}$	$X_3 = \{(x_{6.3}, x_{7.4}, x_{8.2})\}$ $\mu_B(\bar{x}_{i=3}) = \{0,45; 0,4; 0,8\}$	$X_4 = \{(x_{7.3}, x_{8.2})\}$ $\mu_B(\bar{x}_{i=4}) = \{0,5; 0,8\}$
Функция принадлежности, определяющая возможность появления группировок параметров $X_\gamma = (x_1, \dots, x_n)$	$\gamma(x_{6.1}; x_{7.2}; x_{8.1}) = 0,9$	$\gamma(x_{6.2}; x_{7.1}; x_{8.1}) = 0,8$	$\gamma(x_{6.3}; x_{7.2}; x_{8.2}) = 0,9$	$\gamma(x_{7.1}; x_{8.2}) = 0,5$
Диагностируемые состояния объекта исследования y_9	$y_{9\textcircled{1}}(X_1)$	$y_{9\textcircled{2}}(X_2); y_{9\textcircled{3}}(X_2)$	$y_{9\textcircled{1}}(X_3); y_{9\textcircled{2}}(X_3)$	$y_{9\textcircled{3}}(X_4)$
Функции принадлежностей нечеткого отображения X в y_9 $\mu_\varphi(X, y_9)$	$\mu_\varphi(y_{9\textcircled{1}}) = 0,8$	$\mu_\varphi(y_{9\textcircled{2}}) = 0,5$ $\mu_\varphi(y_{9\textcircled{3}}) = 0,7$	$\mu_\varphi(y_{9\textcircled{1}}) = 0,5$ $\mu_\varphi(y_{9\textcircled{2}}) = 0,7$	$\mu_\varphi(y_{9\textcircled{3}}) = 0,9$

Этого нельзя сказать про второй, промежуточный уровень классификации. Они по чёткости, ни по согласованности отношений предпочтения не отвечает требованиям, что связано, в первую очередь, с неоднозначностью отношений предпочтений

экспертов (см. таблицы 5), а это, в свою очередь, связано с недостатком знаний и представлений экспертов о классификационных отличиях изучаемого объекта.

Заключение

Анализ и оценка эффективности современных сложных технических, социальных, психологических и иных объектов всегда предполагает необходимость учета иерархической взаимосвязи их параметров и нечёткости их оценок. Возникающие при этом задачи связаны

Таблица 5.

Значения взаимных функций предпочтения $\mu_n(y_9^j(X_i))$ агрегированных параметров $\{(y_9^j(X_i), j=\{1,3\}; i=\{1,4\})\}$

Table 5.

Values of mutual preference functions $\mu_n(y_9^j(X_i))$ of aggregated parameters $\{(y_9^j(X_i), j=\{1,3\}; i=\{1,4\})\}$

	$y_{9\textcircled{1}}$ (X_1)	$y_{9\textcircled{2}}$ (X_2)	$y_{9\textcircled{3}}$ (X_2)	$y_{9\textcircled{1}}$ (X_3)	$y_{9\textcircled{2}}$ (X_3)	$y_{9\textcircled{3}}$ (X_4)
$y_{9\textcircled{1}}$ (X_1)	-	0	0	0,9	0	0
$y_{9\textcircled{2}}$ (X_2)		-	0	0	0,6	0
$y_{9\textcircled{3}}$ (X_2)	0	0,8	-	0	0	0,8
$y_{9\textcircled{1}}$ (X_3)	0,2	0	0	-	0	0
$y_{9\textcircled{2}}$ (X_3)	0	0	0,5	0	-	0
$y_{9\textcircled{3}}$ (X_4)	0	0	0,4	0	0	-

Увеличение уровня агрегирования всегда связано с необходимостью дальнейшей конкретизации образов преобразования исходной информации на вышестоящих уровнях агрегирования интегральной оценки объекта анализа (в данном случае профессионального соответствия кандидата). В свою очередь, конкретизация образа состояния объекта предполагает более глубокий анализ взаимного влияния его параметров. От того насколько точно образ преобразований объекта будет отражать реальный характер их взаимовлияния, зависит степень чёткости оценки исследователя о его состоянии.

Углубление анализа приводит к усложнению структуры образа, который

с необходимостью согласования отношений предпочтений состояний объектов исследования на разных уровнях иерархии соотношения результатов их анализа и оценки с результатами последовательного агрегирования их параметров на основе применяемых методик.

отражает, с одной стороны, желание исследователя учесть более полно функциональные связи и характеристики частных показателей, а с другой стороны требует, простоты его реализации.

Разрешение двух этих противоречивых тенденций реально осуществляется в некоторой системе нечетких множеств, отражающих степень чёткости суждения исследователя о характере взаимодействия параметров. В этом смысле изложенная выше методика определения рационального уровня агрегирования обладает определенной общностью по отношению к процессам познания явлений разнообразной физической природы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Багрецов С.А., Львов В.М., Наумов В.В., Оганян К.М.** Диагностика социально психологических характеристик малых групп с внешним статусом. Серия «Учебники для Вузов. Специальная литература». СПб.: Издательство «Лань», Издательство Санкт-Петербургского университета МВД России, 1999. 640 с. ISBN 8-8114-0169-8.
2. **Багрецов С.А., Оганян К.М., Пророк В.Я.** Основы построения и организации адаптивных систем профессионального отбора. СПб.: Издательство «Лань», 2003. 329 с.
3. **Багрецов С.А., Горелов И.П.** Последовательная агрегация в оценке эффективности групповой деятельности операторов // Изв. Вузов. Приборостроение, 1995. Т.38. № 9-10. С. 56-58.
4. **Краснощечков П.С., Морозов В.В., Федоров В.В.** Декомпозиция в задачах проектирования // Изв. АН СССР. Техн. Кибернетика. 1979. №2. С. 7-18.
5. **Краснощечков П.С., Морозов В.В., Попов Н.М.** Оптимизация в автоматизированном проектировании. Изд.2-е, испр. М.: ЛЕНАНД, 2018. 328 с. ISBN 978-5-317-02318-8.
6. **Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Калиметрия моделей и полимодальных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с. ISBN 978-5-907036-32-1.
7. **Зайченко Ю.П.** Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Калининград: «Издательский Дом «Слово», 2008. 344 с.
8. **Орловский С.А.** Проблемы принятия решений при нечеткой информации. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981, 208 с.
9. **Заде Л.А.** Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных интеллектуальных систем // Новости искусственного интеллекта, 2001. №2-3. С.7-11. EDN LNAVBC.
10. **Липаев В.В.** Тестирование компонентов и комплексов программ: учебник. М.: « Синтег», 2010. 392 с. ISBN 978-5-89638-115-0.
11. **Шашлюк Ю.А., Багрецов С.А., Добрынин В.Н.** Управление безопасностью эксплуатации железнодорожных транспортных систем: монография. М.: ВНИИгеосистем, 2018. 390 с. ISBN 978-5-8481-0225-3.
12. **Spasennikov V., Androsov K., Golubeva G.** Ergonomic factors in patenting computer systems for personnel's selection and training // CEUR Workshop Proceedings : 30, Saint Petersburg, 22–25 сентября 2020 года. Saint Petersburg, 2020. P. 1. EDN MRWCZX.

Информация об авторах:

Багрецов Сергей Алексеевич - доктор технических наук, профессор Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского профессор кафедры E-mail: vka@mil.ru тел. 8(911)779-86-94 Санкт-Петербург (Россия) международные идентификационные номера автора: SPIN-код: 7463-8396, AuthorID: 514551

REFERENCES

1. **Bagretsov S.A., Lvov V.M., Naumov V.V., Oganyan K.M.** Diagnosis of Socio-Psychological Characteristics of Small Groups With an External Status. Saint Petersburg: Lan, Publishing House of St. Petersburg University of the Russian Interior Ministry; 1999. 640 p.
2. **Bagretsov S.A., Oganyan K.M., Prorok V.Ya.** Fundamentals of Construction and Organisation of Adaptive Systems of Professional Selection. Saint Petersburg: Lan; 2003. 329 p.
3. **Bagretsov S.A., Gorelov I.P.** Sequential Aggregation in Assessing the Effectiveness of Operators' Group Activities. Journal of Instrument Engineering. 1995;38(9-10):56-58.
4. **Krasnoshchekov P.S., Morozov V.V., Fedorov V.V.** Decomposition in Design Problems. Engineering Cybernetics. 1979;2:7-18.
5. **Krasnoshchekov P.S., Morozov V.V., Popov N.M.** Optimisation in Computer-Aided Design. Moscow: LENAND; 2018. 328 p.
6. **Mikoni S.V., Sokolov B.V., Yusupov R.M.** Qualimetry of Models and Polymodal Complexes. Moscow: RAS; 2018. 314 p.
7. **Zaichenko Yu.P.** Fuzzy Models and Methods in Intelligent Systems. Kaliningrad: Slovo; 2008. 344 p.
8. **Orlovsky S.A.** Problems of Decision-making With Fuzzy Information. Moscow: Nauka; 1981. 208 p.
9. **Zade L.A.** Roles of Soft Computing and Fuzzy Logic in the Conception, Design and Deployment of Information Intelligent Systems. Artificial Intelligence. 2001;2-3:7-11.
10. **Lipaev V.V.** Testing of Components and Software Complexes. Moscow: Sinteg; 2010. 329 p.
11. **Shashlyuk Yu.A., Bagretsov S.A., Dobrynin V.N.** Safety Management of Operation of Railway Transport Systems. Moscow: VNIIGeosistem; 2018. 390 p.
12. **Spasennikov V., Androsov K., Golubeva G.** Ergonomic Factors in Patenting Computer Systems for Personnel's Selection and Training. In: Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision: CEUR Workshop Proceedings: 30; 2020 Sep 22-25; Saint Petersburg: 2020. p. 1.

Information about the authors:

Bagretsov Sergey Alekseevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of A.F. Mozhaisky Military Space Academy Professor of the Department E-mail: vka@mil.ru ph. 8(911)779-86-94 Saint-Petersburg (Russia) the author's, international identification numbers: SPIN-код: 7463-8396, AuthorID: 514551

Голубев Михаил Александрович - кандидат военных наук, доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского доцент кафедры подготовки и повышения квалификации педагогических работников образовательных организаций МО РФ E-mail: yka@mil.ru тел.8(965)039-46-99 Санкт-Петербург (Россия) международные идентификационные номера автора: SPIN-код: 4511-4015, AuthorID: 1079388

Коновальчик Максим Сергеевич - начальник учебной лаборатории Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского Тел. 8(911)129-73-52 E-mail: yka@mil.ru Санкт-Петербург (Россия) международные идентификационные номера автора: SPIN-код: 6303-3150, AuthorID: 1169906

Golubev Mikhail Alexandrovich – Candidate of Military Sciences, Associate Professor of A.F. Mozhaisky Military Space Academy Associate Professor of the Department “Training and Advanced Training of Pedagogical Workers of Educational Organisations of the Defense Ministry of the Russian Federation” E-mail: yka@mil.ru ph.8(965)039-46-99 Saint-Petersburg, (Russia) the author’s, international identification numbers: SPIN-код: 4511-4015, AuthorID: 1079388

Konovalchik Maxim Sergeevich – Head of the Training Laboratory of A.F. Mozhaisky Military Space Academy ph. 8(911)129-73-52 E-mail: yka@mil.ru Saint-Petersburg (Russia) the author’s, international identification numbers: SPIN-код: 4511-4015, AuthorID: 1079388

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.06.2023; одобрена после рецензирования 13.06.2023; принята к публикации 14.06.2023. Рецензент – Киричек А.В., доктор технических наук., профессор Брянского государственного технического университета, член редакционного совета журнала «Эргодизайн»

The paper was submitted for publication on the 06th of June, 2023; approved after the peer review on the 13th of June, 2023; accepted for publication on the 14th of June, 2023. Reviewer – Kirichek A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Bryansk State Technical University, member of the editorial board of the journal “Ergodesign”.