

**МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ
СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКО-ВОЗМОЖНОСТНОГО ПОДХОДА**

А. В. Столбов¹, А. В. Спесивцев^{2*}, В. В. Лисицкий¹, В. А. Спесивцев²

¹ Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН,

Санкт-Петербург, Россия

*sav2050@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты исследования по созданию методики оценивания системы эксплуатации сложных объектов на основе нечетко-возможностного подхода с использованием явных и неявных профессиональных экспертных знаний. Факторное пространство содержит семь нечетких лингвистических переменных для построения нечетко-возможностной математической модели оценивания состояния объектов наземной космической инфраструктуры, в качестве которых рассмотрена система космического слежения и наблюдения как сложный объект, а также исследована ее зависимость от качества функционирования соответствующей системы эксплуатации. Эффективность применения созданной методики оценивалась на основе расчетов с использованием построенной нечетко-возможностной модели.

Ключевые слова: система эксплуатации, сложный объект, явные и неявные экспертные знания, нечетко-возможностная модель

Благодарности: работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

Ссылка для цитирования: Столбов А. В., Спесивцев А. В., Лисицкий В. В., Спесивцев В. А. Методика оценивания системы эксплуатации сложных объектов на основе нечетко-возможностного подхода // Изв. вузов. Приборостроение. 2023. Т. 66, № 11. С. 917—925. DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-11-917-925.

**METHODOLOGY FOR ASSESSING THE OPERATION SYSTEM
OF COMPLEX OBJECTS
BASED ON THE FUZZY-POSSIBILITY APPROACH**

A. V. Stolbov¹, A. V. Spesivtsev^{2*}, V. V. Lisitskiy¹, V. A. Spesivtsev²

¹ A. F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg, Russia

*sav2050@gmail.com

Abstract. Results of a study on creation of a methodology for assessing the operation system of complex object based on a fuzzy-possibility approach using explicit and implicit professional expert knowledge are presented. The factor space contains seven fuzzy linguistic variables for constructing a fuzzy-possibility mathematical model for assessing the state of objects of ground-based space infrastructure, in which the space tracking and surveillance system is considered as a complex object, and its dependence on the quality of functioning of the corresponding system is also studied. The effectiveness of the created methodology was assessed based on calculations using the constructed fuzzy-possibility model.

Keywords: operating system, complex technical system, explicit and implicit expert knowledge, fuzzy-possibility model

Acknowledgments: the work was carried out with partial financial support within the framework of the budget theme FFZF-2022-0004.

For citation: Stolbov A. V., Spesivtsev A. V., Lisitskiy V. V., Spesivtsev V. A. Methodology for assessing the operation system of complex objects based on the fuzzy-possibility approach. *Journal of Instrument Engineering*. 2023. Vol. 66, N 11. P. 917—925 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-11-917-925.

Введение. Тенденции развития современного высокотехнологического общества привели к появлению и развитию разнообразных сложных объектов (СЛО), эффективность и работоспособность которых зависит от качества и надежности множества взаимосвязанных элементов, входящих в их состав. Взаимодействие элементов СЛО обеспечивается системой эксплуатации (СЭ) в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 0101-001-2007. Традиционно СЭ, как правило, создаются под уже готовые СЛО и их применение базируется на использовании известных методов статистического анализа. Однако достоверные данные о вероятностно-статистических характеристиках СЭ возможно получить только по репрезентативным выборкам в течение достаточно длительной эксплуатации, что связано с определенными трудностями, вызванными различием в целевом назначении СЛО [1—5].

Качество функционирования СЭ СЛО зависит от множества факторов, связанных с эксплуатацией, проектированием, влиянием внешней среды, обученностью обслуживающего персонала и его готовностью к выполнению задач эксплуатации системы. Так, применительно к системам наблюдения, используемым в космонавтике, независимо от назначения соответствующих СЛО их СЭ характеризуется показателями, основные из которых приведены в табл. 1. Следует отметить, что значения данных показателей могут варьироваться в достаточно широком диапазоне.

Таблица 1

Показатель	Описание
Вероятность восстановления СЛО в установленное время	Показатель надежности СЛО, характеризующий ремонтпригодность как вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного
Коэффициент технического использования СЛО	Комплексный показатель надежности, рассчитываемый как отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии в течение некоторого периода эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и в простоях, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период
Коэффициент готовности СЛО	Комплексный показатель надежности, рассчитываемый как вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов времени, в течение которых применение по назначению не предусмотрено
Вероятность безотказной работы СЛО	Комплексный показатель надежности, рассчитываемый как вероятность того, что объект будет сохранять параметры в заданных пределах в течение определенного времени и при определенных условиях эксплуатации
Коэффициент обеспеченности СЛО	Комплексный показатель экономической эффективности функционирования СЛО, характеризующий уровень обеспечения материально-техническими средствами, финансирования работ и оплаты деятельности обслуживающего персонала. Отражает отношение всех видов существующих запасов к их требуемому уровню, позволяет определить, способен ли СЛО функционировать с заданными характеристиками при существующем уровне обеспечения и потребления

Продолжение табл. 1

Коэффициент готовности оператора к выполнению операций	Комплексный показатель качества подготовки обслуживающего СлО персонала, характеризующий способность к выполнению необходимых операций по поддержанию техники в работоспособном состоянии. Включает вероятности: своевременного выполнения работ, безошибочной работы, исправления допущенной ошибки
Коэффициент влияния внешней среды на СлО	Комплексный показатель, характеризующий влияние внешних факторов (климатических, техногенных, человеческих и др.) на безопасность и безаварийность функционирования СлО. Определяется как отношение времени простоев (нештатного функционирования) из-за внешних факторов к общему времени функционирования СлО в заданных параметрах

С учетом вышеизложенного для оценивания состояния функциональной пригодности конкретного варианта СЭ СлО необходимо создать математическую модель в виде следующей формулы [6]:

$$Y = Y(x_1, x_2, x_3, \dots, x_l), \quad (1)$$

где Y — обобщенный показатель качества функционирования оцениваемой СЭ СлО; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_l$ — переменные (частные показатели качества), в наибольшей степени влияющие на эффективность функционирования СЭ.

Следует отметить, что количественные значения перечисленных показателей определяются соответствующей эксплуатационной и/или другой регламентирующей документацией, а установленные нормативы, определяющие границы изменения данных частных показателей (параметров), носят рекомендательный характер и относятся ко всему множеству оцениваемых элементов без учета их конкретного состояния. При этом значения некоторых показателей определяются, как правило, экспертными комиссиями, что приводит к необходимости использования математического аппарата теории нечетких множеств и отношений. Следует отметить, что применение детерминированных математических методов обработки нечеткой многофакторной информации может в итоге привести на практике к существенной неточности и некорректности в принятии управленческих решений [6, 7].

С математической точки зрения подобные задачи оценивания состояния СЭ СлО относятся к классу слабоструктурированных и трудноформализуемых, что требует для их решения применения специфических моделей и методов, например нечетко-возможностного подхода с привлечением явных и неявных экспертных знаний, когда эксперт выступает как агент (субъект) с присущей ему „интеллектуальной информационно-диагностической системой“ (ИИДС) [6—9].

Цель настоящей статьи — разработка методики построения и использования математической модели, описывающей такое свойство СЭ, как способность обеспечить качественное функционирование СлО с заданными характеристиками на основе нечетко-возможностного подхода.

Методика оценивания состояния системы эксплуатации сложных объектов. Предлагаемый нечетко-возможностный подход основан на методах формализации неявно заданных причинно-следственных связей с использованием явных и неявных экспертных знаний. Обработка такой информации заключается в последовательном выполнении этапов извлечения экспертных знаний и формализации их в виде аналитического выражения.

Методика построения нечетко-возможностной модели оценивания состояния СЭ СлО на основе явных и неявных экспертных знаний состоит из следующих шагов [9].

Шаг 1. Формулировка задачи, выбор и обоснование факторного пространства, в рамках которого будет приниматься решение о состоянии СЭ СлО, и построение вербально-числовых шкал для всех переменных, используемых в рамках выбранного факторного пространства.

Шаг 2. Представление выбранных переменных (характеристик) в виде лингвистических переменных с соответствующими шкалами измерений. Построение множества нечетких продукционных правил импликативного типа „если..., то...“ как формы представления экспертных знаний.

Шаг 3. Подготовка на основе методов теории планирования экспериментов опросной матрицы для выбранного факторного пространства и заполнение ее экспертом. Строки матрицы при этом формируются на основе нечетких продукционных правил импликативного типа „ситуация — оценка“. На основе известных методик теории планирования экспериментов построение полиномиальной модели, описывающей такое свойство СЭ, как способность обеспечить качественное функционирование СЛО.

Шаг 4. Оценивание уровня корректности построенной модели и соответствующих модельных расчетов с использованием, во-первых, такого параметра, как степень близости обобщенного показателя вида (1) к его экспертными оценкам, и, во-вторых, показателя согласованности результатов нечетко-возможностного моделирования состояния СЭ СЛО с результатами оценивания фактического состояния СЭ СЛО на основе статистических данных или результатов специальных экспериментов.

Шаг 5. Проведение экспертом профессионального анализа построенной модели, извлечение методами математического анализа новой информации о специфике функционирования конкретной СЭ СЛО. Внесение предложений по использованию модели на практике применительно к функционированию объектов наземной космической инфраструктуры (ОНКИ) как базы знаний при создании соответствующей автоматизированной системы управления.

Проиллюстрируем конструктивность предложенной методики на конкретном примере.

Пусть на шагах 1 и 2 экспертом выбрано пространство из семи факторов (переменных, частных показателей), представленных в виде лингвистических переменных (табл. 2).

Таблица 2

Фактор	Лингвистические шкалы
$X_1 — P_B(t)$ — вероятность восстановления СЛО в установленное время	
$X_2 — K_{т.и}$ — коэффициент технического использования СЛО	
$X_3 — K_T$ — коэффициент готовности СЛО	
$X_4 — P(t)$ — вероятность безотказной работы СЛО	

Продолжение табл. 2

<p>X_5 — $K_{об}$ — коэффициент обеспеченности материально-техническими средствами</p>	
<p>X_6 — $K_{оп}$ — коэффициент готовности оператора</p>	
<p>X_7 — $K_{вн}$ — коэффициент влияния внешней среды</p>	
<p>Y — $K_э$ — способность СЭ обеспечить функционирование СЛО с заданными характеристиками</p>	

Каждый из факторов (частных показателей), представленных лингвистической переменной, например X_1 , содержит три шкалы перевода вербальных оценок эксперта в числовые значения: по оси абсцисс — верхняя вербальная (Н — низкая оценка, НС — ниже средней, С — среднее, ВС — выше средней, В — высокая) и две нижние — натуральные значения (интервал 0,85—0,99) и стандартизованные значения в интервале $[-1, +1]$ для использования методик теории планирования экспериментов. По оси ординат — функция принадлежности в интервале $[0,1]$, причем значения „1“ соответствуют модам лингвистических признаков.

Как следует из определения обобщенного показателя Y , оценивание каждого из возможных вариантов состояния СЭ переносится в область вербальных экспертных оценок ($Y_{эсп}$ эффективности (качества) выполнения возлагаемых на СЭ функций на любом интервале жизненного цикла СЛО.

На шаге 3 по выбранному факторному пространству создана специальная опросная матрица (табл. 3), строки которой представлены нечеткими продукционными правилами импlicative типа „если..., то...“ и являются вариантами запланированных ситуаций изменения значений лингвистических переменных. Все переменные в табл. 3, согласно методам теории планирования экспериментов, приведены в стандартизованном масштабе с интервалом изменения $[-1,+1]$. Стандартизация (кодирование) переменных осуществляется по формулам

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}, \quad \bar{X}_i = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}, \quad \Delta X_i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2}.$$

Процедура арифметизации вербальных оценок $Y_{эсп}$ в табл. 3 по вербально-числовой шкале табл. 2 предоставляет возможность применения классических методов теории планирования экспериментов с построением полиномиальной модели [6, 7, 9].

Таблица 3

№ п/п	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	Экспертная оценка		Расчетное по модели значение Y
								$Y_{\text{эксп}}$		
								вербальная	количественная	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	Н	0,85	0,84
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	НС	0,89	0,88
3	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	Н-НС	0,87	0,86
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	С	0,92	0,91
...
61	-1	-1	1	1	1	1	1	С	0,92	0,92
62	1	-1	1	1	1	1	-1	ВС	0,99	0,97
63	-1	1	1	1	1	1	-1	С-ВС	0,94	0,95
64	1	1	1	1	1	1	1	В	0,99	0,99

Например, строка 3 матрицы читается так: **если** коэффициент вероятности восстановления (x_1) „низкий“, и коэффициент технического использования (x_2) „высокий“, и коэффициент готовности (x_3) „низкий“, и вероятность безотказной работы (x_4) „низкая“, и коэффициент обеспеченности (x_5) „низкий“, и коэффициент готовности оператора (x_6) „низкий“, и коэффициент влияния внешней среды (x_7) „низкий“, **то**, по мнению эксперта, способность СЭ обеспечить функционирование СЛО с заданными характеристиками находится между значениями „низкая“ и „ниже средней“ (Н-НС). В числовом выражении мода этой оценки по шкале табл. 2 составляет 0,87.

В результате обработки численных данных табл. 3 получено полиномиальное выражение (требуемая математическая модель), связывающее такой обобщенный показатель СЭ, как Y , с семью базовыми характеристиками (частными показателями), представленными переменными в соответствующем факторном пространстве:

$$Y = 0,91051 + 0,02168x_1 + 0,01348x_2 + 0,02098x_3 + 0,01074x_4 + 0,00965x_5 + 0,00512x_6 + 0,00254x_7 + 0,00254x_2x_7 + 0,00293x_3x_5 + 0,00582x_4x_5 - 0,00309x_1x_2x_6 - 0,00254x_1x_3x_7 + 0,00238x_2x_3x_7 - 0,00527x_3x_4x_5. \quad (2)$$

В выражении (2) присутствуют члены разложения только со значимыми (отличными от нуля) коэффициентами при соответствующих независимых переменных, представленных в стандартизованном масштабе.

Мерой точности вычислений по модели, как правило, выбирают остаточную дисперсию или квадратный корень из нее $s_{\text{ост}}$ — остаточное квадратическое отклонение, вычисленное по модели и характеризующее меру рассеяния точек вокруг линии тенденции, определяемой моделью Y . Применительно к данному примеру рассчитанное значение $s_{\text{ост}}$ равно 0,01. Обычно $s_{\text{ост}}$ сравнивается с мерой нечеткости экспертной информации $s_{\text{эксп}}$, которая в данном случае определяется как

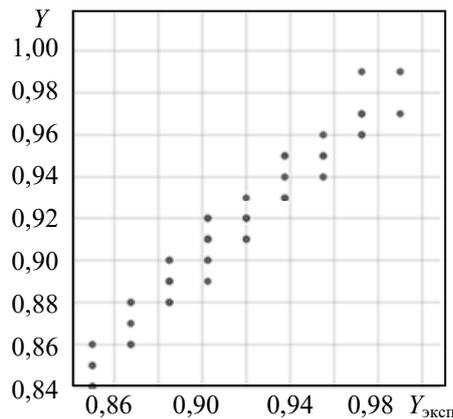
$$s_{\text{эксп}} = \frac{\Delta Y}{2} = \frac{0,99 - 0,85}{4} = 0,035.$$

Выполнение неравенства

$$s_{\text{ост}} = 0,01 < s_{\text{эксп}} = 0,035 \quad (3)$$

свидетельствует о достаточной точности вычислений по построенной модели.

Оценка корректности вычислений по модели (2) проводится в два этапа: сначала на основе мнений экспертов, а затем на основе реальных данных, полученных в результате измерений компонент вектора состояния конкретных СЭ СЛО. Так, на первом этапе обработанные мнения экспертов ($Y_{\text{эксп}}$) о способности СЭ обеспечить функционирование СЛО с заданными характеристиками иллюстрируются рисунком, где представлен график корреляции экспертных оценок и расчетных значений, полученных с использованием модели. Рассматриваемая связь оценивается коэффициентом корреляции $R=0,97$.



На втором этапе, вследствие отсутствия статистических данных по изучаемому явлению, степень адекватности расчетных значений модели (2) фактической способности СЭ обеспечить функционирование СЛО с заданными характеристиками проверялась ситуационно на трех действующих СЛО в ходе специального исследования, суть которого состояла в следующем. Для каждого СЛО назначались группы экспертов, которые на основе ознакомления с нечетко-возможностным подходом производили вербальное оценивание СЭ по всему факторному пространству, включая и Y_{ϕ} — способность СЭ обеспечить функционирование СЛО с заданными характеристиками.

Результаты исследований приведены в табл. 4, где вербальные экспертные оценки по всем переменным (верхние буквенные в каждой клетке) оценивались по описательным характеристикам табл. 2. Последующей арифметизацией вербальных оценок в численный вид (нижние значения в каждой клетке) и вычислением по модели (2) получены значения Y , которые по табл. 2 переводились в вербальные для сравнения с независимыми экспертными оценками Y_{ϕ} .

Таблица 4

Объект	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Y_{ϕ}	Y
1	НС -0,5	С 0	ВС 0,75	Н -1	С 0	С-ВС 0,25	С 0	С 0,93	НС-С 0,916
2	С 0	ВС 0,5	ВС 0,75	С-ВС 0,25	С 0	С-ВС 0,25	НС-С -0,25	С-ВС 0,93	С-ВС 0,934
3	ВС-В 0,75	ВС-В 0,75	ВС 0,75	С-ВС 0,25	С-ВС 0,25	В 1	НС-С -0,25	ВС-В 0,97	ВС 0,953

Анализ табл. 4 показывает, что различие между вербальными оценками Y_{ϕ} и рассчитанными Y по модели (2) не превышает полшага исходной экспертной нечеткости по шкале табл. 2 и позволяет считать полученную модель адекватной фактическому состоянию СЭ.

Таким образом, оба предложенные в статье показателя — высокая степень корреляции между экспертными оценками и расчетными значениями по модели ($R=0,97$) и фактическое состояние СЭ СЛО по оценкам независимых экспертов — позволяют использовать полученную модель как ИИДС взамен обращения к экспертам по изучаемому явлению.

Анализируя результаты исследований, можно сделать вывод о более существенном влиянии надежностных показателей ($X_1—X_4$) на способность СЭ обеспечить функционирование СЛО с заданными характеристиками, в отличие от показателей готовности персонала, влияния окружающей среды и обеспеченности СЛО материальными техническими средствами, что соответствует аналитическим выводам, представленным в [10].

Заключение. В результате исследования создана и подтверждена на практике методика построения математической модели оценивания способности СЭ обеспечить функционирование СЛО с заданными характеристиками. Принципиальным отличием методики является

использование явных и неявных экспертных знаний, причем сам эксперт выступает в роли „интеллектуальной информационно-диагностической системы“.

На основе созданной методики в семифакторном пространстве построена нечетко-возможностная модель оценивания и прогнозирования способности СЭ обеспечить функционирование СЛО с заданными характеристиками, позволяющая получать результаты в количественном виде.

Построенная модель наиболее востребована на стадии формирования СЭ ОНКИ. Вместе с тем применение модели возможно при построении СЭ большинства других СЛО, для которых характерны приведенные выше показатели качества их функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронов А. Н., Лисицкий В. В., Столбов А. В. Математические основы решения многокритериальных оптимизационных задач синтеза сложных иерархических организационно-технических систем // *Нелинейный мир*. 2020. Т. 18, № 3. С. 5—17.
2. Анкудинов Г. И. Синтез структуры сложных объектов: Логико-комбинаторный подход. Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. 260 с.
3. Павлов А. Н., Соколов Б. В. Формирование и совершенствование организационных структур управления. СПб: СПб ГУАП, 2005. 42 с.
4. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов М.: Наука, 2006. 410 с.
5. Ромеро И. Б. Измерение и анализ результативности и эффективности процессов // *Все о качестве*. 2000. № 22. С. 19—23.
6. Спесивцев А. В., Домиенко Н. Г. Эксперт как „интеллектуальная измерительно-диагностическая система“ // XIII Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям SCM: Сб. докл., 23—25 июля 2010, Санкт-Петербург. 2010. Т. 2. С. 28—34.
7. Спесивцев А. В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации / Под ред. проф. В. С. Артамонова. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 238 с.
8. Губанова Е. О. Неявное знание: сущность и виды // *Знание. Понимание. Умение*. 2010. № 4. С. 253—256.
9. Игнатъев М. Б., Марлей В. Е., Михайлов В. В., Спесивцев А. В. Моделирование слабо формализованных систем на основе явных и неявных экспертных знаний. СПб: Политех-Экспресс, 2018. 430 с.
10. Лисицкий В. В., Миронов А. Н. Метод решения многокритериальной оптимизационной задачи синтеза СЭ СТС в условиях нечеткой информации // *Науч.-метод. сб. тр. науч.-техн. конф. „Перспективы развития и применения стратегических оборонительных систем“*. 2019. Ч. 1. С. 127—138.

Сведения об авторах

- Александр Васильевич Столбов** — адъюнкт; ВКА им. А. Ф. Можайского, 105 кафедра; преподаватель; E-mail: vka@mil.ru
- Александр Васильевич Спесивцев** — д-р техн. наук; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; ведущий научный сотрудник; E-mail: sav2050@gmail.com
- Владимир Вадимович Лисицкий** — канд. техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, 81 кафедра; начальник кафедры; E-mail: vka@mil.ru
- Василий Александрович Спесивцев** — СПбФИЦ РАН, Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения; младший научный сотрудник; E-mail: ryukuro@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.06.2023; одобрена после рецензирования 07.07.2023; принята к публикации 27.09.2023.

REFERENCES

1. Mironov A.N., Lisitskiy V.V., Stolbov A.V. *Nonlinear World*, 2020, no. 3(18), pp. 5–17. (in Russ.)
2. Ankudinov G.I. *Sintez struktury slozhnykh ob"yektov: Logiko-kombinatornyy podkhod* (Synthesis of the Structure of Complex Objects: Logical-Combinatorial Approach), Leningrad, 1986, 260 p. (in Russ.)

3. Pavlov A.N., Sokolov B.V. *Formirovaniye i sovershenstvovaniye organizatsionnykh struktur upravleniya* (Formation and Improvement of Organizational Management Structures), St. Petersburg, 2005, 42 p. (in Russ.)
4. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nyye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh ob'yektov* (Intelligent Technologies for Monitoring and Controlling the Structural Dynamics of Complex Objects), Moscow, 2006, 410 p. (in Russ.)
5. Romero I.B. *Vse o kachestve*, 2000, no. 22, pp. 19–23. (in Russ.)
6. Spesivtsev A.V., Domshenko N.G. *XIII Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam SCM* (XIII International Conference on Soft Computing and SCM Measurements), Collection of Papers, July 23–25, 2010, St. Petersburg, 2010, vol. 2, pp. 28–34. (in Russ.)
7. Spesivtsev A.V. *Upravleniye riskami chrezvychaynykh situatsiy na osnove formalizatsii ekspertnoy informatsii* (Emergency Risk Management Based on Formalization of Expert Information), St. Petersburg, 2004, 238 p. (in Russ.)
8. Gubanova E.O. *Knowledge. Understanding. Skill*, 2010, no. 4, pp. 253–256. (in Russ.)
9. Ignatiev M.B., Marley V.E., Mikhailov V.V., Spesivtsev A.V. *Modelirovaniye slaboformalizovannykh sistem na osnove yavnykh i neyavnykh ekspertnykh znaniy* (Modeling Weakly Formalized Systems Based on Explicit and Implicit Expert Knowledge), St. Petersburg, 2018, 430 p. (in Russ.)
10. Lisitsky V.V., Mironov A.N. *Perspektivy razvitiya i primeneniya strategicheskikh oboronitel'nykh sistem* (Prospects for the Development and Application of Strategic Defensive Systems), *Collection of Proceedings of the Scientific and Technical Conference*, 2019, Part 1, pp. 127–138. (in Russ.)

Data on authors

- Aleksander V. Stolbov** — Post-Graduate Student; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department 105; Lecturer; E-mail: vka@mil.ru
- Aleksander V. Spesivtsev** — Dr. Sci.; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Leading Researcher; E-mail: sav2050@gmail.com
- Vladimir V. Lisitskiy** — PhD; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department 81; Head of the Department; E-mail: vka@mil.ru
- Vasilii A. Spesivtsev** — St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, North-West Center of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance; Junior Researcher; E-mail: ryukuro@yandex.ru

Received 28.06.2023; approved after reviewing 07.07.2023; accepted for publication 27.09.2023