

Типаев В.В. и др. К вопросу оценивания остаточного ресурса...

5. *Kopylov A.V.* O slabykh storonakh amerikanskoj kontseptsii "setetsentricheskikh vojn (operatsij)" // Voennaya mysl'. 2011. № 7. S. 53–62.
6. *Makarenko S.I.* Audit bezopasnosti kriticheskoj infrastruktury spetsial'nymi informatsionnymi vozdeystviyami: monografiya. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2018. 122 s.
7. *Makarenko S.I.* Modeli sistemy svyazi v usloviyakh prednamerennykh destabiliziruyushchikh vozdeystvij i vedeniya razvedki: monografiya. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2020. 337 s.
8. *Makarenko S.I., Ivanov M.S.* Setetsentricheskaya vojna – printsipy, tekhnologii, primery i perspektivy: monografiya. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2018. 898 s.
9. *Makarenko S.I., Olejnikov A.Ya., Chernitskaya T.E.* Modeli interoperabel'nosti informatsionnykh sistem // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. 2019. № 4. S. 215–245. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408.
10. *Masloboev A.V.* Problemy i tekhnologii obespecheniya interoperabel'nosti informatsionnykh sistem regional'nykh situatsionnykh tsentrov // Informatsionno-tekhnologicheskij vestnik. 2020. № 2 (24). S. 107–119.
11. *Masloboev A.V.* Sredstva podderzhki interoperabel'nosti setetsentricheskikh sistem upravleniya regional'noj bezopasnost'yu // Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem. 2020. № 1 (29). S. 91–105. DOI: 10.21685/2307-4205-2020-1-11.
12. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and Software Engineering: Vocabulary. [S. l.]: ISO, 2017. 522 p.
13. Systems, Capabilities, Operations, Programs and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0. [S. l.]: NCOIC, 2008. 154 p.

DOI: 10.25586/RNUV9187.20.03.P.145

УДК 62-932.2

В.В. Типаев, Т.В. Калинин, В.В. Лисицкий, Н.В. Головчинская

К ВОПРОСУ ОЦЕНИВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ
КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КОСМОДРОМОВ

Проведенные исследования, посвященные анализу и повышению эффективности управления эксплуатацией объектов наземной космической инфраструктуры, выявили ряд недостатков и замечаний к средствам и методам управления, касающихся управления эксплуатацией наземных комплексов и средств. Необходимо объективное оценивание информации о текущем техническом состоянии объектов наземной космической инфраструктуры как для оценивания остаточного ресурса узлов, агрегатов и систем, так и для принятия решений по вопросам управления техническим состоянием за счет комплексного оценивания каждого решения с точки зрения технических и экономических факторов.

Ключевые слова: объект наземной космической инфраструктуры, остаточный ресурс, техническое состояние, нечетко-возможностный подход, логико-лингвистическая модель.

V.V. Tupaev, T.V. Kalinin, V.V. Lisitskiy, N.V. Golovchinskaya

TO THE QUESTION OF RESIDUAL RESOURCE ESTIMATION
OF THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF GROUND-BASED SPACE
INFRASTRUCTURE OBJECTS OF SPACEPORTS

The conducted researches devoted to the analysis and more efficient operation management of ground-based space infrastructure objects revealed a number of shortcomings and comments on the means and methods of the operation of ground-based complexes and facilities. An objective evaluation of information on the current technical state of ground-based space infrastructure objects is needed both for estimating the residual resource of nodes, units and systems and for making decisions on technical state management through the integrated assessment of each decision in terms of both technical and economic factors.

Keywords: ground-based space infrastructure object, residual resource, technical state, fuzzy-opportunity approach, logical-linguistic model.

Введение

Применение космических систем и комплексов различного назначения для выполнения широкого круга оборонных, народнохозяйственных, научно-исследовательских и коммерческих задач невозможно без объектов наземной космической инфраструктуры (ОНКИ). Для решения вопросов управления качеством, надежностью и безопасностью ОНКИ в процессе их жизненного цикла создана и функционирует система эксплуатации (СЭ) ОНКИ. Среди множества задач эксплуатации выделяют задачу организации работ по обоснованию возможности сокращения эксплуатационных затрат и продлению сроков службы ОНКИ. В свою очередь, задача продления срока службы связана с задачей объективного оценивания текущего технического состояния (ТС) ОНКИ. Информация о ТС ОНКИ позволяет проводить оперативный анализ ТС, своевременно оценивать остаточный ресурс технологического оборудования ОНКИ и принимать обоснованные решения по продлению срока службы, модернизации или утилизации.

Однако существует ряд факторов, которые оказывают существенное негативное влияние на получение точной информации о ТС ОНКИ, снижая как достоверность, так и оперативность оценивания остаточного ресурса технологического оборудования ОНКИ:

- учет и контроль ТС ОНКИ зачастую проводится несистематизированно;
- в качестве исходных данных используются только доступные для контроля параметры или данные эксплуатирующего персонала, что приводит, как правило, к существенному огрублению данных;
- ограничение в финансировании на проведение оценивания ТС ОНКИ.

Парированию вышеперечисленных факторов посвящено достаточно большое количество работ.

Так, в статье [4] оценивание остаточного ресурса инженерных систем предлагается проводить вычислением возможности попадания контролируемого параметра $y(t)$ в границы поля допуска y_n и y_b на заданном интервале времени. В основу этой работы положе-

Типаев В.В. и др. К вопросу оценивания остаточного ресурса...

но знание регрессионной модели контролируемого параметра $y(t)$ вида (1) и вычисление границ поля допуска y_n и y_b путем обработки нечеткой информации:

$$y_{np}(t) = d_0 + d_1 t + \varepsilon. \quad (1)$$

В выражении (1) коэффициенты уравнения регрессии d_0, d_1 и величина погрешности прогнозирования ε для заданного интервала времени находятся достаточно просто, если по контролируемому параметру имеются ретроспективные результаты контроля.

При этом практика оценивания остаточного ресурса показывает, что расчеты проводятся в условиях не только отсутствия значений полей допусков, но и недостаточности контроля необходимых параметров. Однако нахождению полей допусков на заданном интервале времени в данном случае препятствует недостаточность неявно заданной информации.

Перечисленные выше аспекты, с технической стороны характеризующие условия управления эксплуатацией ОНКИ, позволяют сформулировать задачу, которая является актуальной как при создании новых, так и при совершенствовании существующих систем управления эксплуатацией объектов НКИ: необходимость объективной информации о текущем ТС ОНКИ как для оценивания остаточного ресурса узлов, агрегатов и систем, так и для принятия решений по вопросам управления техническим состоянием за счет комплексного оценивания каждого решения с точки зрения технических и экономических факторов.

Цель исследования

Цель исследования – разработка составной части научно-методического аппарата оценивания остаточного ресурса ОНКИ в части технологического оборудования наземных комплексов и средств для обеспечения полноты решения текущих и перспективных задач СЭ ОНКИ космодронов на основе построения логико-лингвистической модели для оценивания остаточного ресурса технологического оборудования ОНКИ с помощью характеристики его текущего технического состояния.

Используемые методы

Решение задачи оценивания информации о текущем техническом состоянии объектов наземной космической инфраструктуры как для оценивания остаточного ресурса узлов, агрегатов и систем, так и для принятия решений по вопросам управления техническим состоянием основано на использовании синтеза элементов теории нечетких множеств и теории планирования эксперимента для построения логико-лингвистической модели для оценивания остаточного ресурса технологического оборудования объектов наземной космической инфраструктуры.

Новизна

С учетом разработанной модели использован подход, основанный на методах агрегирования экспертной информации, заключающийся в формализации неявно заданных причинно-следственных связей с использованием явных и неявных экспертных знаний, который позволяет использовать опыт и знания экспертов применительно к конкретным условиям эксплуатации технологического оборудования объектов наземной космической инфраструктуры.

Практическая значимость

Рассмотренный подход к оцениванию остаточного ресурса объектов инженерных систем объектов наземной космической инфраструктуры является комплексным, что позволяет более точно и полно учесть фактические возможности целевого применения объектов

инженерных систем, имеющих высокую техническую сложность, большие сроки эксплуатации и высокую степень неопределенности состояния, а также расширить информационную базу системы управления эксплуатацией для обоснованного принятия решения на ремонт, модернизацию и техническое обслуживание каждого конкретного объекта.

Исходные предположения и допущения метода исследования

В настоящей работе недостаточность контроля необходимых параметров для оценивания остаточного ресурса технологического оборудования ОНКИ предлагается компенсировать с помощью применения данных, получаемых от экспертов – так называемой нечеткой информации. В этой информации фигурируют как количественные, так и качественные параметры. Поэтому для применения математического аппарата необходима их формализация.

Постановка задачи исследований

При заданных исходных данных – значениях требований к надежности, ремонтпригодности, безотказности, долговечности и сохраняемости технологического оборудования, элементов объектов и самих объектов ОНКИ – необходимо разработать научно-методическое обеспечение на основе синтеза элементов теории нечетких множеств и теории планирования эксперимента при помощи построения и применения логико-лингвистической модели для оценивания остаточного ресурса технологического оборудования ОНКИ с помощью оценивания его текущего технического состояния.

Описание решения задачи исследований

Обработка «нечеткой» информации связана с распространением приемов эвристического агрегирования данных. Эвристическое агрегирование данных, в свою очередь, связано с приведением нечетких данных к безразмерному виду. Далее безразмерные данные подвергаются аддитивной (связанной с субъективно определяемыми весовыми коэффициентами) или мультипликативной (связанной с показателями степеней, в которые они возводятся) сверткам. Вид свертки и значения коэффициентов определяются на основе инструкций или опыта, но в большинстве случаев – с учетом экспертных оценок. Таким образом, в результате применения аддитивной свертки получается линейная регрессия от входных переменных, а в результате применения мультипликативной – линейная регрессия от логарифмов входных переменных. Однако в этом случае в результате математических преобразований теряется физическая суть решения.

Выход из такой ситуации предложен в работах [2; 5], где излагается подход, основанный на методах агрегирования экспертной информации, заключающийся в формализации неявно заданных причинно-следственных связей с использованием явных и неявных экспертных знаний. Формализация этих данных связана с разработкой нечетко-возможностного подхода, суть которого состоит в извлечении и представлении экспертных знаний в виде набора нечетких продукционных правил с последующей формализацией их в виде аналитического выражения. Модели, построенные на основе нечетко-возможностного подхода, оказались эффективны при оценивании состояния и остаточного ресурса технологического оборудования ОНКИ [1; 3; 6].

В качестве примера рассмотрим применение формализации экспертных знаний при оценке работоспособности, ограниченной по ресурсу, для станции, являющейся структурным элементом наземной инфраструктуры космодрома.

Типаев В.В. и др. К вопросу оценивания остаточного ресурса...

Согласно предлагаемой методике формализации экспертных знаний сначала выбирается факторное пространство, в котором решается поставленная задача [2]. Так, для оценивания способности выполнения поставленных задач действующими с известными характеристиками станциями, основным элементов которых является технологическое оборудование, факторное пространство составлено из семи переменных, представленных в лингвистическом виде в таблице 1.

Таблица 1

Факторное пространство для построения модели

Фактор	Значение фактора
X_1 – состояние станции (по продолжительности лет эксплуатации), лет	
X_2 – степень подготовки обслуживающего персонала, ед.	
X_3 – средний поток отказов, ед.	
X_4 – компоновка станции, ед.	
X_5 – ресурс для восстановления, ед.	
X_6 – климатические условия эксплуатации, ед.	
X_7 – степень взаимодействия с надсистемой, ед.	
Y – способность станции выполнить задачу с заданными характеристиками	

По выбранному факторному пространству создается опросная матрица (табл. 2), которая заполняется вариантами ситуаций изменения текущего технического состояния станций, основным структурным элементом которых является технологическое оборудование, которые предлагается оценить эксперту. Каждая из строк матрицы представлена производственным правилом имплицитивного типа «если..., то...».

Таблица 2

**Фрагмент опросной матрицы с экспертными оценками
и расчетными значениями по модели**

Порядковый номер	X_1 – продолжительность эксплуатации, годы	X_2 – степень подготовки обслуживающего персонала, б/р	X_3 – средний поток отказов, б/р	X_4 – компоновка станций, б/р	X_5 – ресурс для восстановления	X_6 – климатические условия эксплуатации, б/р	X_7 – степень взаимодействия с надсистемой, б/р	Способность выполнения задачи с заданными характеристиками	
								Экспертные оценки	Расчетные по модели
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	$Y_э$	Y
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0,5	0,47
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0,55	0,54
3	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	0,51
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,6	0,54
...
60	1	1	-1	1	1	1	-1	0,8	0,80
61	-1	-1	1	1	1	1	1	0,85	0,82
62	1	-1	1	1	1	1	-1	0,85	0,82
63	-1	1	1	1	1	1	-1	0,85	0,85
64	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,94

Например, строка 3 матрицы читается так: «Если состояние станции (X_1) «низкое», и степень подготовки обслуживающего персонала (X_2) «высокая», и средний поток отказов (X_3) «низкий», и компоновка станций (X_4) «аналоговая», и ресурс для восстановления (X_5) «низкий», и климатические условия эксплуатации (X_6) «север», и степень взаимодействия с надсистемой (X_7) «низкая», то способность станции выполнить задачу с заданными характеристиками (Y) низкая».

Перевод вербальных оценок Y по шкале таблицы 1 дает возможность применения классических методов теории планирования экспериментов с построением полиномиальной модели.

В результате обработки данных таблицы 2 получается полиномиальное выражение (2), в котором присутствуют только существенно значимые коэффициенты при соответствующих независимых переменных, представленных в стандартизованном масштабе:

$$Y = 0,686 + 0,025x_1 + 0,0375x_2 + 0,0484x_3 + 0,041x_4 + 0,055x_5 + 0,0266x_6 + 0,019x_7 + 0,013x_2x_6 + 0,01563x_5x_7 - 0,013x_2x_3x_5 - 0,013x_3x_5x_7. \quad (2)$$

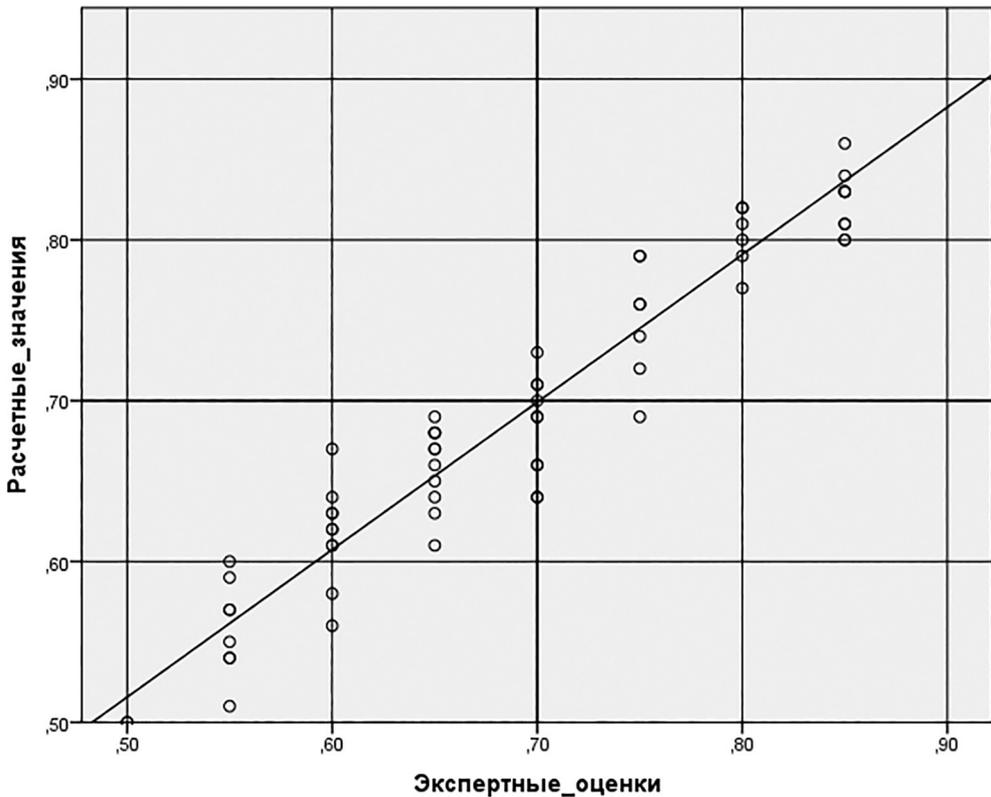
Типаев В.В. и др. К вопросу оценивания остаточного ресурса...

Оценка адекватности вычислений (2) по представлению эксперта проводится по остаточной дисперсии. Так, выполнение неравенства

$$s_{\text{ост}} = 0,028 < s_{\text{экс}} = 0,05, \quad (3)$$

где остаточное квадратическое отклонение меньше исходной нечеткости информации, свидетельствует, с одной стороны, о том, что (2) адекватно представляет знания и опыт эксперта, а с другой – о достаточной точности вычислений по построенной модели.

На рисунке представлено корреляционное поле точек экспертных оценок и расчетных значений по (2). Рассматриваемая связь оценивается коэффициентом корреляции $R = 0,96$.



Корреляция между экспертными оценками и расчетными значениями по модели $R = 0,96$

В таблице 3 приведены результаты сравнения параметров оценкитекущего технического состояния действующих станций по возможности выполнения ими заданий (целевых задач) в оценках экспертов и расчетах по модели (2). Здесь приведены данные расчетов и оценок для четырех действующих станций, работающих в разных условиях, перечисленных выше в качестве элементов факторного пространства. Станции для выполнения оценки выбирались по принципу территориального расположения для наглядности демонстрации работы модели (2).

Таблица 3

Результаты сравнения параметров оценки текущего технического состояния действующих станций по возможности выполнения ими заданий (целевых задач)

Фактор	Станция 1	Станция 2	Станция 3	Станция 4
X_1 – состояние станции (по продолжительности лет эксплуатации), лет	12	17	23	20
X_2 – степень подготовки обслуживающего персонала, ед.	0,68	0,8	0,9	0,7
X_3 – средний поток отказов, ед.	35	45	11	19
X_4 – компоновка станции, ед.	0,5	0,5	–1	–1
X_5 – ресурс для восстановления, ед.	1	0,7	0,8	1
X_6 – климатические условия эксплуатации, ед.	+1	–1	–1	+1
X_7 – степень взаимодействия с надсистемой, ед.	1	0,4	0,5	0,2
Расчетная способность станции выполнить задачу с заданными характеристиками по модели (2)	0,85 BC-B	0,71 C	0,67 C	0,7 C
Способность станции выполнить задачу с заданными характеристиками по независимым экспертным оценкам	B 0,9	BC 0,8	C-BC 0,75	HC-C 0,6

Выводы

В предлагаемой методике используется подход, основанный на синтезе элементов теории нечетких множеств и теории планирования эксперимента. Это позволяет построить и использовать логико-лингвистическую модель для оценивания остаточного ресурса технологического оборудования ОНКИ с помощью оценивания его текущего технического состояния. Сочетание результатов математического моделирования со знаниями экспертов приводит к комплексной объединенной оценке, обладающей свойством ретроспективности. Этот факт позволяет более точно и полно учесть фактические возможности целевого применения ОНКИ, так как при использовании предлагаемой модели появляется возможность решать задачи прогнозирования технического состояния технологического оборудования с учетом того, что существуют как непрерывные, так и скачкообразные изменения его технического состояния.

Полученные в результате моделирования значения свидетельствуют о том, что экспертные оценки, приведенные в таблице 3, оказались более оптимистичными по сравнению с результатами расчетов, а для станции 2 данные по компоновке станции несколько занижены.

Литература

1. Гула Д.Н., Спасивцев А.В., Вагин А.В. Оценивание состояния металлооблицовки стартовых сооружений ракетно-космических комплексов на основе логико-лингвистических моделей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 1 (41). С. 26–34.
2. Игнатъев М.Б. и др. Моделирование слабо формализованных систем на основе явных и неявных экспертных знаний. СПб.: Политех-Пресс, 2018. 430 с.
3. Кунько А.Е., Спасивцев А.В. Оценивание технического состояния химических источников тока на основе неявных экспертных знаний // Информация и космос. 2010. № 4. С. 42–49.
4. Солдатенко Т.Н. Модель остаточного ресурса инженерных систем с высоким уровнем износа // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 6. С. 64–74.

5. *Спесивцев А.В., Домшненко Н.Г.* Эксперт как «интеллектуальная измерительно-диагностическая система» // Мягкие вычисления и измерения – SCM: сборник докладов XIII Международной конференции (Санкт-Петербург, 23–25 июля 2010 г.). СПб.: Изд-во ЛЭТИ, 2010. Т. 2. С. 28–34.

6. Способ количественного оценивания степени развития дефектов при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов: патент 267329 / В.В. Типаев, А.М. Астанков, А.В. Спесивцев, Н.С. Демидова; 28.10.2018.

Literatura

1. *Gula D.N., Spesivtsev A.V., Vagin A.V.* Otsenivanie sostoyaniya metallooblitsovki startovykh sooruzhenij raketno-kosmicheskikh kompleksov na osnove logiko-lingvisticheskikh modelej // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2017. № 1 (41). S. 26–34.

2. *Ignat'ev M.B. i dr.* Modelirovanie slabo formalizovannykh sistem na osnove yavnykh i neyavnykh ekspertnykh znaniy. SPb.: Politekh-Press, 2018. 430 s.

3. *Kun'ko A.E., Spesivtsev A.V.* Otsenivanie tekhnicheskogo sostoyaniya khimicheskikh istochnikov toka na osnove neyavnykh ekspertnykh znaniy // Informatsiya i kosmos. 2010. № 4. S. 42–49.

4. *Soldatenko T.N.* Model' ostatochnogo resursa inzhenernykh sistem s vysokim urovnem iznosa // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2012. № 6. S. 64–74.

5. *Spesivtsev A.V., Domshenko N.G.* Ekspert kak "intellektual'naya izmeritel'no-diagnosticheskaya sistema" // Myagkie vychisleniya i izmereniya – SCM: sbornik dokladov XIII Mezhdunarodnoj konferentsii (Sankt-Peterburg, 23–25 iyulya 2010 g.). SPb.: Izd-vo LETI, 2010. T. 2. S. 28–34.

6. Способ количественного оценивания степени развития дефектов при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов: патент 267329 / В.В. Типаев, А.М. Астанков, А.В. Спесивцев, Н.С. Демидова; 28.10.2018.

DOI: 10.25586/RNUV9187.20.03.P.153

УДК 004.415.532

Ниджрес Моатаз Талаал

МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ

Продолжительность теста является важным фактором в обновлении качества результатов. После обработки получен большой набор экспериментальных данных. Время отклика учащихся является случайной величиной, продолжительность теста определяется и зависит от его сложности. Для описания полученной зависимости и реализации результатов предлагается преобразование координат. Вводимая функция имеет смысл обратного времени и определяет время, оставшееся до конца тестирования. На основании статистического анализа было установлено, что данная случайная величина – время до конца тестирования – подчиняется экспоненциальному закону. Для практического использования результатов исследования приводится соотношение, позволяющее установить допустимое значение продолжительности тестирования, чтобы объективно оценить качество знаний студента из освоенной им предметной области.

Ключевые слова: точность результата тестирования, качество измерения, качество процедуры, продолжительность тестирования, сложность теста.