При использовании материалов статьи необходимо использовать данную ссылку:
Баранов Д.А., Головчинский В.О., Астанков А.М., Демидова Н.С., Шестаков А.В. Прогнозирование технического состояния технологического оборудования космических ракетных комплексов на основе риск-ориентированного подхода к обработке информации о модели объекта // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 2 (60). С. 157-161

УДК 629.7.018.4+620.179

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА К ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ О МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

Баранов Д.А., Головчинский В.О., Астанков А.М., Демидова Н.С., Шестаков А.В.

В статье предлагается решение задачи адаптации типовых методик обследования технического состояния технологического оборудования стартовых комплексов с учетом обработки информации о модели объекта при выборе оптимальных вариантов функционирования. Рассмотрена ситуация, когда структуры моделей фиксированы и модели отличаются друг от друга составом параметров, точные и вероятностные значения, нечеткие распределения которых неизвестны. Задача состоит в выборе из множества моделей наиболее предпочтительной модели, по обобщенному показателю эффективности, значения которого зависят от выбранных управляющих воздействий и значений параметров модели.

Ключевые слова: модель, техническое состояние, эксплуатация, система, технологическое оборудование

При решении задач выведения полезных нагрузок в космическое пространство объектам наземной космической инфраструктуры ракетно-космических комплексов отводится важнейшая роль, что определяет высокие требования к устойчивости и согласованности процессов функционирования всех их систем и агрегатов. В частности, качество решения этих задач в значительной степени зависит от достоверности оценивания и прогнозирования технического состояния (ТС) технологического оборудования (ТОб) стартовых комплексов (СК) [6, 7]. Обеспечение требуемых значений показателей ТС невозможно без внедрения в эксплуатацию космических средств эффективных технологий многокритериального оценивания качества и обоснованного применения моделей и полимодельных комплексов, лежащих в основе типовых методик обследования и прогнозирования остаточного ресурса и срока службы ТОб СК.

В настоящее время при создании и применении новых информационных технологий в системе эксплуатации ракетно-космических комплексов (РКК) для уровня машинной модели

Баранов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, генеральный директор АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»
Самара
Головчинский Владимир Орестович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского»
Санкт-Петербург
Астанков Алексей Михайлович, начальник лаборатории, ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского»
Санкт-Петербург
Демидова Наталья Сергеевна, младший научный сотрудник, ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского»
Санкт-Петербург
Шестаков Алексей Вячеславович, аспирант, Научно-исследовательский центр информации при МИД России
Москва

(программы) используют методические средства, позволяющие оценивать ее качество [1]. При этом жизненный цикл модели объекта, как и программного средства, носит итеративный характер, а модель, являясь системным многоместным отображением объекта оригинала, зачастую требует определенной коррекции на этапах внедрения, адаптации и сопровождения, оставаясь инструментом для обеспечения требуемого уровня достоверности оценивания и прогнозирования ТС объекта исследования.

Особую проблему при решении задач определения ТС представляет недопустимость отчуждения модели исследуемого объекта и соответствующей методики на этапе жизненного цикла от реально эксплуатируемого объекта [5]. Это обусловлено также и тем, что существующая система управления средствами РКК относится к классу больших организационно-технических систем, основными свойствами которых являются:

- большое количество эксплуатируемых единиц;
- сжатый фактор времени;
- сложность принятия решения по вопросам, связанным с поддержанием системы в заданном режиме;
- возросшие требования к правильности принимаемых в системе решений и достоверности получаемой информации;
- недостаточность информации для оперативного квалифицированного принятия решения.

Модель ТС элементов СК имеет целью дать такое описание свойств эксплуатируемого ТС и в такой форме, которое позволит надежно отличать одно состояние элемента от другого его состояния. Принятие решения о ТС определяет возможность или невозможность продолжения функционирования элемента в настоящем и будущем и позволяет выработать комплекс мер для обеспечения заданного уровня вероятности безотказной работы в процессе дальнейшей эксплуатации.

Количественная оценка адекватности моделей, описывающих данные системы с использованием метрик Евклида, затруднена, так как непосредственное определение характеристик вида $\vec{y}^{(0)}$ путем проведения экспериментов требует очень больших затрат ресурсов (финансовых, временных, материальных). В этом случае целесообразно говорить о полезности, пригодности модели объекта для решения конкретного класса задач.

Пусть для описания некоторой системы предложено к моделей: $M_1(\Gamma_{<p1>})$, $M_2(\Gamma_{<p2>})$, … , $M_k(\Gamma_{<pk>})$, каждая из которых характеризуется своей структурой и набором параметров $\Gamma_{j<pj>}$, j=1,…,k. Рассмотрим ситуацию, когда структуры моделей фиксированы и модели отличаются друг от друга составом параметров, точные и вероятностные значения, нечеткие распределения которых неизвестны. Необходимо в данном случае из множества моделей $\{M_j(\Gamma_{<pj>})\}$ выбрать наиболее предпочтительную модель, предполагая, что перечисленные модели используются для решения задач прогнозирования и выбора оптимальных вариантов функционирования системы с точки зрения заданного обобщенного показателя эффективности J [1, 2]. Значения данного показателя зависят от выбранных управляющих воздействий и значений параметров модели, с помощью которых указанный выбор состоялся:

$$J_{jj}=J_{jj}(u_j,M_j(\Gamma_{<P_j>})). \quad (1)$$

Как правило, заранее неизвестно, какие фактические значения примут параметры реальной системы. Для снятия данной неопределенности вводится дополнительная информация (гипотезы).

Рассмотрим ситуацию, при которой объект зависит только от одного параметра p, который принимает конечное множество значений: $p \in \{p_1, p_2, ..., p_b\}$. При этом от такого же параметра, принимающего те же значения, зависит результат функционирования реальной системы, однако заранее неизвестно, какое фактическое значение примет параметр <<p>> в реальной системе. Любое отклонение значения параметра модели $M(p)$ от значения этого же параметра на реальном объекте приводит к ущербу (потерям в эффективности), который будем оценивать с помощью показателя J. В таблице 1 представлены значения показателя эффективности вида $J_{v\mu}=J_{v\mu}(u_v,p_\mu)$,

где $J_{v\mu}$ - значение показателя при u_v

варианте функционирования объекта, рассчитанном на модели $M(p_v)$ при фактическом значении параметра p_μ. В таблице 2 приведены значения рисков, вычисляемых как

$$\Delta J_{\nu\mu} = \left| J_{\nu\nu} - J_{\nu\mu} \right|. \quad (2)$$

Таблица 1

Значения показателя эффективности вида $J_{\nu\mu} = J_{\nu\mu}(u_\nu, p_\mu)$

P_n \ P_m	P_1	P_2	...	P_b
P_1	J_{11}	J_{12}	...	J_{1b}
P_2	J_{21}	J_{22}	...	J_{2b}
...	...	...	...	...
P_b	J_{b1}	J_{b2}	...	J_{bb}

Таблица 2

Значения рисков вида $\Delta J_{\nu\mu} = \left| J_{\nu\nu} - J_{\nu\mu} \right|$

P_n \ P_m	P_1	P_2	...	P_b
P_1	0	ΔJ_{12}	...	ΔJ_{1b}
P_2	ΔJ_{21}	0	...	ΔJ_{2b}
...	...	...	...	...
P_b	ΔJ_{b1}	ΔJ_{b2}	...	0

В этом случае задача о выборе наиболее пригодной модели сводится к задаче выбора наиболее предпочтительной стратегии (значения параметра *p*). В качестве критерия оптимизации выберем критерий минимального риска:

$$J' = \min_{\nu} \max_{\mu} \Delta J_{\nu\mu} \quad (3)$$

Если заданы вероятности $q_1, q_2, \ldots, q_b$ появления значений параметра *p*: $p_1, p_2, \ldots, p_b$, то оптимальной будет стратегия, минимизирующая средний риск:

$$J''' = \min_{\nu} \sum_{\mu=1}^{b} \Delta\Delta_{\nu\mu} q_m . \quad (4)$$

При выборе многопараметрической модели из заданного множества моделей $\{M_j(\Gamma_{<pj>})\}$ для каждой фиксированной модели находим наиболее подходящие сочетания значений параметров согласно приведенным выше критериям, т.е. $M_j^* = M_j(\Gamma_{<pj>})$. В результате получаем *k* моделей M_1^*, M_2^*, ..., M_k^* с фиксированными параметрами. Используя аналогичную процедуру, выбираем модель.

Согласно теории управления данная задача относится к классу задач адаптации параметров и структур объектов. При этом основным критерием, определяющим необходимость начала (окончания) проведения процесса параметрической и структурной адаптации моделей объектов, выбирается условие адекватности моделей. Под адекватностью следует понимать не отражение всех деталей в модели объекта, а соответствие результатов моделирования изменениям и отношениям между реальным объектом и средой [2, 3, 4].

Таким образом, модель ТС элемента СК является основной компонентой системы оценивания и прогнозирования ТС элементов СК, а математическое моделирование и аналитико-имитационный подход представляются основными и единственными инструментами для решения задачи.

Выводы

В статье исследованы пути решения задачи адаптации типовых методик обследования технического состояния технологического оборудования стартовых комплексов с учетом имеющейся информации об адекватности положенных в основу методик моделей объекта.

Рассмотрена ситуация, когда структуры моделей фиксированы и модели отличаются друг от друга составом параметров, точные и вероятностные значения которых неизвестны, а имеются лишь нечеткие распределения оценок параметров моделей. Задача сформулирована как выполнение операции выбора из множества моделей наиболее предпочтительной модели по обобщенному показателю эффективности, значения которого зависят от выбранных управляющих воздействий и значений параметров модели. В этом случае задача выбора наиболее предпочтительной модели сведена к процедуре выбора наиболее предпочтительной стратегии выбора по критерию минимального риска. iea

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Crawford S.E.S., Ostrom E. A Grammar of Institutions // American Political Science Review. 1995. Vol. 89. № 3. P. 582-600.
2. Иванов А.А. Бизнес-агрегаторы и право // Закон. 2017. № 5
3. Szabo N. Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets // fon.hum.uva.nl [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/
4. Честный знак // честныйзнак.рф [Электронный ресурс] URL: https://честныйзнак.рф/
5. Центр развития перспективных технологий // crpt.ru [Электронный ресурс] URL:

https://crpt.ru/
6. Murphy, S. and Cooper C., Can Smart Contracts Be Legally Binding Contracts?, white paper, R3cev and Norton Rose Fulbright, 2016 // nortonrosefulbright.com [Электронный ресурс] URL: www.nortonrosefulbright.com/knowledge/
7. Федеральный закон от 29.12.2015 №382-ФЗ "Об арбитраже (третейском разбирательстве) в Российской Федерации" // СЗ РФ. – 2016. - №1 (часть I), ст. 2.
8. Положение об Арбитражном центре при РСПП // arbitration-rspp.ru [Электронный ресурс] URL: https://arbitration-rspp.ru/documents/
9. Евгеньев Р.А. Пути решения проблем внедрения искусственного интеллекта для аудита и бухучёта с помощью технологии блокчейн // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2019. № 2. (48) С. 1
10. Гарин А.В., Балванович А.В., Злыднев М.И., Ниязова Ю.М. Снижение информационной асимметрии функционирования продуктовых цифровых платформ за счет интеграции адаптированной информации о стандартах качества // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2019. № 6. (52). С. 84-89

FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF SPACE ROCKET SYSTEMS BASED ON A RISK-BASED APPROACH TO PROCESSING INFORMATION ABOUT THE OBJECT MODEL

Baranov Dmitry Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, General Director of JSC "Rocket and Space Center" Progress ", Samara
Golovchinsky Vladimir Orestovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky", St. Petersburg
Astankov Alexey Mikhaylovich, Head of Laboratory, A.F. Mozhaisky Military Space Academy St. Petersburg
Demidova Natalya Sergeevna, Junior Researcher, A.F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg
Shestakov Alexey Vyacheslavovich, Post-Graduate Student, Research Information Center at the Ministry of Foreign Affairs of Russia, Moscow

The article offers a solution to the problem of adapting standard methods of inspection of the technical condition of the technological equipment of launch complexes, taking into account the processing of information about the object model when choosing the optimal functioning options. The situation is considered when the model structures are fixed and the models differ from each other in the composition of the parameters, the exact and probabilistic values, the fuzzy distributions of which are unknown. The task consists in choosing the most preferred model from a set of models, according to a generalized efficiency indicator, the values of which depend on the selected control actions and the values of the model parameters.

Keywords: model, technical state, operation, system, support equipment.

REFERENCES:

1. Val'kman YU.R. O probleme «otchuzhdeniya» modeley issleduyemykh ob"yektov ot sozdateley v proyektirovanii slozhnykh izdeliy [*On the problem of "alienation" of the models of the studied objects from the creators in the design of complex products*] // Teoriya i sistemy upravleniya [*Theory and control systems*], 1996.– №3.– pp. 146-152.
2. Larichev O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy [*Theory and methods of decision making*]. – M.:Logos, 2000.–295 p.
3. Nemirovskiy A.S., Yudin D.B. Slozhnost' zadach i effektivnost' metodov optimizatsii [*Complexity of tasks and efficiency of optimization methods*]. –M.: Nauka, 1979. – 384 p.
4. Pospelova D.A. Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta [*Fuzzy sets in management and artificial intelligence models*]. – M.: Nauka, 1986. – 391 p.
5. Shestopalova O.L. Issledovaniye voprosov modelirovaniya granits oblasti rabotosposobnosti elementov bortovoy apparatury kosmicheskikh apparatov na stadiyakh sozdaniya i ekspluatatsii [*Investigation of the problems of modeling the boundaries of the area of operability of elements of onboard equipment of spacecraft*

at the stages of creation and operation] / A.N. Mironov, Ye.A. Mironov, O.L. Shestopalova, S.A. Platonov // Fundamental'nyye issledovaniya [*Fundamental Research*]. 2015. № 2-13. pp. 2815-2818.

6. Shestopalova O.L. Analiz putey resheniya problemy upravleniya zhiznennym tsiklom nazemnogo oborudovaniya raketno-kosmicheskikh kompleksov [*Analysis of ways to solve the problem of managing the life cycle of ground-based equipment of rocket-space complexes*] / Rust. R. Kazakov, Ye.V.Basotin, A.N.Mironov, Raf. R. Kazakov, Shestopalova O.L. // Fundamental'nyye issledovaniya [*Basic research*]. 2016. № 6-2. pp. 282-287. URL: http://elibrary.ru/download/71789529.pdf.

7. Shestopalova O.L. Obespecheniye nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem. Uchebnik [*Ensuring the reliability of complex technical systems. Textbook*] / Dorokhov A.N., Kernozhitskiy V.A., Mironov A.N., Shestopalova O.L. – Sankt-Peterburg, 2017. (3-ye, Stereotipnoye). -352 p.