

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева Выпуск 2(54)

ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева (Вестник СибГАУ)

Выпуск 2(54)

Главный редактор

Ковалев Игорь Владимирович,

доктор технических наук, профессор

Заместители главного редактора

Логинов Юрий Юрьевич, доктор

физико-математических наук, профессор

Сенашов Сергей Иванович, доктор

физико-математических наук, профессор Мурыгин Александр Владимирович,

доктор технических наук, профессор

Ответственный секретарь

Зеленков Павел Викторович, кандидат

технических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Аплеснин С. С., доктор физико-математических наук, профессор

Головенкин Е. Н., доктор технических наук, профессор

Ерыгин Ю. В., доктор экономических наук, профессор

Лаптенок В. Д., доктор технических наук, профессор

Ловчиков А. Н., доктор технических наук, профессор

Медведев А. В., доктор технических наук, профессор

Михеев А. Е., доктор технических наук, профессор

Москвичев В. В., доктор технических наук, профессор

Сафонов К. В., доктор физико-математических наук, доцент

Смирнов Н. А., доктор технических наук, профессор

Сомов В. Г., доктор технических наук, доцент

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Васильев С. Н., академик РАН, доктор физикоматематических наук, профессор (Москва)

Дегерменджи А. Г., академик РАН,

доктор физико-математических наук, профессор (Красноярск)

Дегтерев А. С., доктор технических наук, профессор (Красноярск)

Калвода Л., кандидат наук, доцент (Прага, Чехия)

Колмыков В. А., кандидат технических наук, профессор (Красноярск)

Краточвилова И., доктор, доцент (Прага, Чехия)

Краус И., профессор (Прага, Чехия)

Лопатин А. В., доктор технических наук, профессор (Красноярск)

Лю Т., профессор (Пекин, Китай)

Минкер В., доктор, профессор (Ульм, Германия)

Миронов В. Л., член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук,

профессор (Красноярск)

Младенов Г., член-корреспондент Болгарской академии наук, доктор физических наук, профессор (София, Болгария)

Павера Р., доцент (Братислава, Словакия)

Семенкин Е. С., доктор технических наук, профессор (Красноярск)

Тестоедов Н. А., член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор (Железногорск)

Ужуле К., доктор (Рига, Латвия)

Фошнер М., доктор, доцент (Марибор, Словения)

Чжанг Ш., доктор (Тяньцзинь, Китай)

Шабанов В. Ф., академик РАН, доктор физикоматематических наук, профессор (Красноярск)

Шайдуров В. В., член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук,

профессор (Красноярск)

Швиденко А., доктор инженерных наук, профессор (Лаксембург, Австрия)

Эйя Х., доктор инженерных наук, профессор (Тронхейм, Норвегия)

VESTNIK

Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M. F. Reshetneva (Vestnik SibGAU)

Issue 2(54)

Chief Editor:

Kovalev I. V.

Doctor of Technical Sciences, Professor

Deputy Chief Editors

Loginov Y. Y., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Senashov S. I., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Murygin A. V., Doctor of Technical Sciences, Professor

Executive Secretary

Zelenkov P. V.

Candidate of Technical Sciences

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF

Aplesnin S. S., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Golovenkin E. N., Doctor of Technical Sciences, Professor

Erygin Y. V., Doctor of Economical Sciences, Professor

Laptenok V. D., Doctor of Technical Sciences, Professor

Lovchikov A. N., Doctor of Technical Sciences, Professor

Medvedev A. V., Doctor of Technical Sciences, Professor

Mikheev A. E., Doctor of Technical Sciences, Professor

Moskvichev V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor

Safonov K. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Docent

Smirnov N. A., Doctor of Technical Sciences, Professor

Somov V. G., Doctor of Technical Sciences, Docent

THE EDITORIAL BOARD

Vasiliev S. N., Academician of RAS, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Moscow)

Degermendzhi A. G., Academician of RAS, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Krasnoyarsk)

Degterev A. S., Doctor of Technical Sciences,

Professor (Krasnoyarsk)

Kalvoda L., Candidate of Sciences, Associate Professor, Ing. (Prague, Czech Republic)

Kolmykov V. A., Candidate of Technical Sciences, Professor (Krasnoyarsk)

Kratochvilova I., Doctor, Associate Professor,

Ing. Ph.D. (Prague, Czech Republic)

Kraus I., Professor, Doctor of science

(Prague, Czech Republic)

Lopatin A. V., Doctor of Technical Sciences,

Professor (Krasnoyarsk)

Liu T., Professor, Ph.D. (Beijing, China)

Minker W., Doctor, Professor, Ing. (Ulm, Germany)

Mironov V. L., Corresponding Member of RAS,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Krasnoyarsk)

Mladenov G., Corresponding Member of Bulgarian Academy of Sciences, Doctor of Physical Sciences, Professor (Sofia, Bulgaria)

Pawera R., Associate Professor (Bratislava, Slovakia)

Semenkin E. S., Doctor of Technical Sciences,

Professor (Krasnoyarsk)

Testoedov N. A., Corresponding Member of RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor (Zheleznogorsk)

Užule K., Doctor, Ph.D. (Riga, Latvia)

Fošner M., Doctor, Associate Professor, Ph.D. (Maribor, Slovenia)

Zhang S., Doctor (Tianjin, China)

Shabanov V. F., Academician of RAS, Doctor of Physical and Mathematical Science, Professor (Krasnoyarsk)

Shaidurov V. V., Academician of RAS, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Krasnoyarsk)

Shvidenko A., Doctor of Engineering Sciences,

Professor (Laxenburg, Austria)

Oye H., Doctor of Engineering Sciences, Professor (Trondheim, Norway)

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

«Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева» (Вестник СибГАУ) — научный журнал, содержащий результаты исследований в области естественных, технических и прикладных наук по вопросам проектирования, производства и эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники, а также экономики.

Представленные в журнал статьи публикуются после обязательного рецензирования и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.vestnik.sibsau.ru)

Периодичность – 4 раза в год Специальный выпуск – 1 раз в год

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки (http://www.elibrary.ru) и сайте журнала (www.vestnik.sibsau.ru) Журнал включен в каталоги: российской прессы «Роспечать» (МАП) – 11399; объединенный «Пресса России» – 39263

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Россия, 660014, Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», 31, П-415 Тел./ факс (391)291-90-19 E-mail: vestnik@sibsau.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охраны культурного наследия, свидетельство ПИ № ФС77-22189 от 27.10.2005 г.

Журнал включен ВАК России в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук»

При перепечатке или цитировании материалов из журнала «Вестник СибГАУ» ссылка обязательна

Учредитель

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Редактор: О. А. Плехова
Редактор английского текста С. Г. Эфа
Оригинал-макет и верстка О. В. Булатниковой
Подписано в печать 25.06.2014. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 24,0.
Уч.-изд. л. 32,2. Тираж 1000 экз. Заказ 87/208. С 106/14.
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Михайловой И. Г.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 6в-69

INFORMATION FOR READERS

SibGAU Vestnik is a scientific journal containing the results of research in the field of natural and applied sciences and engineering on design, manufacture and operation of aviation, rocket and space technology, as well as economy.

The articles prepared in accordance with the editorial guidelines (www.vestnik.sibsau.ru) will be published after peer review.

Frequency: 4 times a year (quarterly) Special edition: once a year

On-line version of the Journal - http://www.elibrary.ru Website of the Journal - www.vestnik.sibsau.ru The Journal is included in the following catalogs: 11399 in the catalogue of the Russian press Russian Post 39263 in the union catalogue Press of Russia

ADDRESS:

Siberian State Aerospace University 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., 660014, Krasnoyarsk, Russia Tel. / Fax (391)291-90-19 E-mail: vestnik@sibsau.ru

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision of Legislation in Mass Communications and Protection of Cultural Heritage, Certificate $\Pi N \Omega \Phi C77-22189$ dated 27.10.2005

The Journal is included by the Higher Attestation Commission of Russia in the List of leading peer-reviewed journals and periodicals in the Russian Federation, in which major scientific results of dissertations for competition for a degree of Doctor of Science should be published.

By reprinting or citing materials from the SibGAU Vestnik the link is required

The Founder

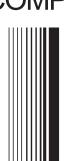
Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev

Editor O. A. PLEKHOVA
Editor (English Language) S. G. EFA
Layout original O. V. BULATNIKOVA
Signed (for printing): 25.06.2014. Format 70×108/16.
Offset Paper. Print flat. 24,0. Published sheets 32,2.
1000 copies. Order 87/208. C 106/14.
Printing and Publication Department
Siberian State Aerospace University
660014, Krasnoyarsk,
31, Krasnoyarsky Rabochy Av.,
Printed in the printing house of I.G. Mikhailova
660125, Krasnoyarsk, 68-69, Vodopyanova Str.



МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

MATHEMATICS, MECHANICS, COMPUTER SCIENCE



УДК 519.87

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПАМЯТЬЮ

А. В. Банникова, Н. А. Сергеева

Сибирский федеральный университет Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79 E-mail: bannikova.anast@gmail.com

Рассматривается проблема идентификации стохастических объектов с дискретно-непрерывным характером технологического процесса. Причем акцент делается не только на наличие случайных помех в различных каналах связи, но и на неполноту сведений о протекании технологического процесса. Особое внимание уделяется случаю, когда расчетное управляющие воздействие поступает на реальный объект в искаженном в силу ряда причин виде. Кроме того, проблема идентификации многомерных стохастических систем исследуется в замкнутом контуре, т. е. в виде некоторого макрообъекта, включающего в себя систему «объект—регулятор». Исследуется вопрос о влиянии текущей информации о входных управляемых воздействиях на качество идентификации в условиях помех, при различном шаге дискретизации. Приводятся результаты численного исследования непараметрических моделей многомерных процессов с памятью.

Ключевые слова: объект с памятью, текущее входное воздействие, макрообъект, априорная информация, непараметрическая идентификация, стохастический процесс.

ABOUT THE NON-PARAMETRIC MODELING OF STOCHASTIC OBJECTS WITH MEMORY

A. V. Bannikova, N. A. Sergeeva

Siberian Federal University
79, Svobodny prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation E-mail: bannikova.anast@gmail.com

The authors consider the problem of identifying objects with stochastic discrete - continuous nature of the process. Moreover, the emphasis is not only on the presence of random noise in different channels of communication, but also on the lack of information about the course of the process. Special attention is paid to the case when the design is applied to control the impact of a real object in a distorted, for several reasons. Additionally, the problem of identification of multidimensional stochastic systems is investigated in a closed loop, in the form of a macroscopic object, including a system "object—regulator". The authors consider the question of the impact of the current information about the input to manage the impact on the quality of identification in noisy environments, with different sampling step. The results of numerical studies of nonparametric multidimensional models of processes with memory are presented.

Keywords: object with memory, current controlled impact, macro object, a priory information, non-parametric identification, stochastic processes.

Проблемы моделирования и идентификации сложных промышленных объектов традиционно имеют высокую практическую значимость. В большинстве случаев реальные технологические процессы можно отнести к классу динамических. Традиционно динамические объекты описываются дифференциальными уравнениями, но следует отметить, что такого рода описание не является единственным. Например, динамический объект может быть описан следующим уравнением: x(t) = f(x(t-1), x(t-5), u(t)), где u(t) - y управляющее воздействие; x(t) - y выходная переменная объекта. А. А. Фельдбаум называл подобные объекты объектами с памятью. В дальнейшем мы будем придерживаться этого определения.

На практике для управления подобными процессами часто используются типовые законы регулирования, такие как П-, ПИ-, ПИД-законы, также функции устройства управления зачастую может выполнять человек-оператор. В некоторых случаях появляется необходимость рассматривать систему «объект управляющее устройство» как некоторый «макрообъект», который управляется внешним контуром регулирования. При изучении такого рода реальных процессов исследователь сталкивается с неполной информацией о текущих входных данных, которые могут существенно отличаться от реальности. В частности, может возникнуть ситуация, когда контур с регулятором отсутствует и заменен человеком-оператором. В процессе своей работы последний вносит коррекции по ходу технологического процесса на основании имеющейся у него технологической карты. Во многих случаях значения управляющих воздействий, т. е. действий оператора, из-за недостатка средств контроля остаются неизвестными. Это накладывает свой отпечаток при моделировании тех или иных процессов и обусловливает проблему построения модели при недостатке текущей информации о входных воздействиях объекта.

Предметом исследования настоящей статьи является построение модели процесса управления объектом с памятью, в котором итоговое управляющие воздействие, поступающее на вход объекта от управляющего устройства, остается неизвестным. Как было описано выше, это может происходить из-за коррекции входных контролируемых воздействий человеком-оператором. Это важный этап для построения внешнего контура управления системой «объект – управляющее устройство».

Постановка задачи. Пусть объект представляет собой динамическую систему и описывается уравнением

$$x(t) = f(x(t-1), x(t-2), ..., x(t-k), u(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \mu_3(t)),$$

где k определяется на основании имеющейся априорной информации. Блок-схема рассматриваемого динамического процесса представлена на рис. 1.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: x(t) — выходная переменная процесса; u(t) — входное воздействие; $\mu(t) = \{\mu_1(t), \mu_2(t), \mu_3(t)\}$ — вектор входных неизвестных, но контролируемых воздействий; x(t-1), x(t-2) — выходы объекта в предыдущих состояниях; u(t) — неизвестное входное воздействие; $x^*(t)$ — задающее воздействие; $\hat{x}(t)$ — выход модели объекта; t — непрерывное время. Контроль переменных осуществляется через интервал времени Δt . Таким образом, мы имеем выборку входных-выходных переменных

 $\left\{x_{i}, \mu_{1i}, \mu_{2i}, \mu_{13}, \overline{u_{i}}, i = \overline{1,s}\right\}$, где S – объем выборки. УУ – устройство управления; блок H выполняет роль сумматора входных воздействий u(t) и $\Delta u(t)$.

Следует заметить, что x(t-1), x(t-2) фактически играют роль $\mu(t)$, но отличаются от $\mu(t)$ тем, что представляют собой значения выходной переменной на один и более тактов позже, что и характерно для объекта с памятью.

Непараметрическая идентификация. В настоящее время наиболее развитой является теория параметрических систем, которая предполагает предварительную параметризацию модели [1–3]. В случае недостатка априорной информации об исследуемом объекте часто не представляется возможным обоснованно выбрать параметрическую структуру модели. В этом случае исследователь вынужден, обрабатывая имеющиеся выборки входных-выходных переменных, «добывать» дополнительную априорную информацию, которая позволит более обоснованно выбрать параметрическую структуру модели.

В случае, когда априорной информации недостаточно, естественно использовать теорию непараметрической идентификации [4; 5]. Непараметрическая теория, в отличие от предыдущей, предполагает, что известны только качественные характеристики системы. Это позволяет полностью уйти от вопроса определения параметрической структуры объекта.

В данном случае задача идентификации состоит в оценивании класса операторов на основе выборки $\left\{x_i, x_{i-1}, x_{i-2}, \mu_{1i}, \mu_{2i}, \mu_{13}, \overline{u_i}, i = \overline{1,s}\right\}$. В качестве непараметрической модели объекта можно использовать непараметрическую оценку [4]:

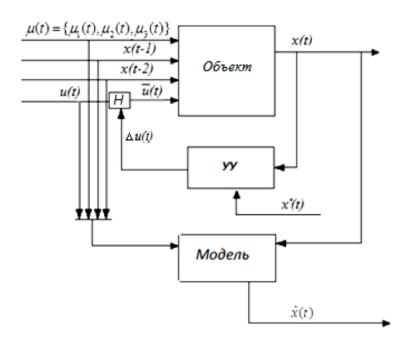


Рис. 1. Блок-схема моделирования динамического процесса

$$\overline{x_{s}}(u,\mu) = \frac{\sum_{i=1}^{s} x_{i} \cdot \Phi(\frac{u_{s} - u_{i}}{C_{s}}) \Phi(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{C_{s}}) \Phi(\frac{x_{s-2} - x_{i-2}}{C_{s}}) \cdot \Phi(\frac{\mu_{1s} - \mu_{1i}}{C_{s}}) \cdot \Phi(\frac{\mu_{2s} - \mu_{2i}}{C_{s}}) \cdot \Phi(\frac{\mu_{3s} - \mu_{3i}}{C_{s}})}{\sum_{i=1}^{s} \Phi(\frac{u_{s} - u_{i}}{C_{s}}) \Phi(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{C_{s}}) \Phi(\frac{x_{s-2} - x_{i-2}}{C_{s}}) \cdot \Phi(\frac{\mu_{1s} - \mu_{1i}}{C_{s}}) \cdot \Phi(\frac{\mu_{2s} - \mu_{2i}}{C_{s}}) \cdot \Phi(\frac{\mu_{3s} - \mu_{3i}}{C_{s}})}, (1)$$

где $\Phi(\cdot)$ – ядерная колоколообразная функция; C_s – коэффициент размытости ядра, которые удовлетворяют следующим условиям сходимости [6]:

$$\Phi(\cdot) < \infty$$
, $C^{-1} \int_{\Omega(x)} \Phi(C_n^{-1}(x - x_i)) dx = 1$, $z \in \Omega(z)$, (2)

$$\lim_{n \to \infty} C_n^{-1} \Phi(C_n^{-1}(x - x_i)) = \delta(x - x_i), \qquad (3)$$

$$C_n > 0$$
, $n = 1, 2, ..., \lim_{n \to \infty} C_n = 0$. (4)

В качестве колоколообразной функции $\Phi(\cdot)$ могут быть использованы различные ядра, удовлетворяющие условиям (2)—(3). Непараметрические статистики подобного типа подробно исследовались Э. А. Надарая [6]. Параметр размытости C_s при наличии обучающей выборки находится из задачи минимизации показателя соответствия выхода объекта и выхода модели, основанного на методе скользящего экзамена, когда в модели (4) по индексу i исключается k-е наблюдение переменной, предъявляемой для экзамена:

$$R(C_s) = \sum_{k=1}^{s} (\overline{x}_s(u_k, \mu_k) - x_k)^2 = \min_{C_s} k \neq i,$$
 (5)

где индекс i фигурирует в формуле (1).

Для оценки полученных моделей была использована квадратичная ошибка

$$R_{s} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^{s} \left(x_{i} - \overline{x}_{s} (u_{i}, \mu_{i}) \right)^{2},$$
 (6)

где x_i — измеренное значение выходной переменной; x_i^s — полученная оценка; R_s — квадратичная ошибка. Также для каждой модели вычисляется относительная ошибка, равная отношению квадратичной ошибки к дисперсии выходной переменной:

$$W = R_{\rm s} / D_{\rm s}, \tag{7}$$

где D_{s} – дисперсия выходной переменной.

Вычислительный эксперимент. Пусть исследуемый объект является динамическим и описывается уравнением вида

$$x(t) = 0.1x(t-1) + 0.2x(t-2) + 3.09u(t) +$$

+1.03 $\mu_1(t)$ +1.05 $\mu_2(t)$ +2.03 $\mu_3(t)$,

где x(t) — выходная переменная процесса; u(t) — входная переменная процесса; x(t-1), x(t-2) — значение выходной переменной в предыдущие моменты времени; $\mu_1(t), \mu_2(t), \mu_3(t)$ — контролируемые воздействия.

Пусть входное воздействие имеет вид

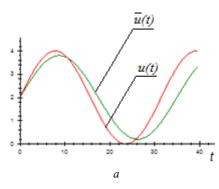
$$u(t) = 2 + 2\sin(0, 2t).$$

Входное воздействие, поступающее на объект, примем в виде $u(t) = 2 + 1, 8\sin(1,8t)$,

$$\mu_1(t) = 0.5 \cdot \cos(0.5 \cdot t), \ \mu_2(t) = 0.35 \cdot \cos(0.4 \cdot t),$$

 $\mu_3(t) = 0.2 \cdot \sin(0.6 \cdot t).$

На рис. 2, 3 представлены графики входных воздействий процесса.



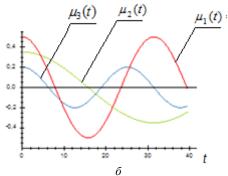


Рис. 2. Входное управляемое воздействие (a); вектор неизвестных воздействий (δ)

Рассмотрим модели, полученные при различных входных данных. Установим значения переменных равными: шаг дискретизации – 0,2, объем выборки – 150, помехи отсутствуют (рис. 3).

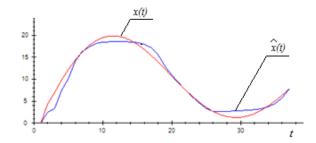


Рис. 3. Выход модели и выход объекта при недостатке текущей информации

Квадратичная ошибка модели, представленной на рис. 3, равна 1,54, относительная — 0,36. Как мы можем увидеть из графика функций и значения относительной ошибки, модель получилась достаточно грубой. Сравним полученный результат с моделированием ситуации, когда все входные воздействия, действующие на объект, известны (рис. 4).

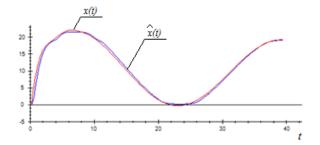


Рис. 4. Выход модели и выход объекта при полной текущей информации

Здесь квадратичная ошибка равна 0,16, относительная – 0,03. Как мы и предполагали, модель, полученная в условиях полной текущей информации о входных воздействиях, намного качественней.

Теперь проанализируем зависимость ошибки моделирования от шага дискретизации. Увеличим шаг дискретизации до значения 0,4, объем выборки уменьшится до 50. Результаты моделирования при отсутствии информации, поступающей на вход объекта от устройства управления, представлены на рис. 5.

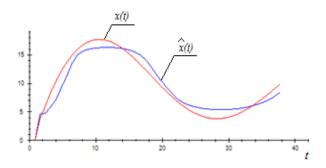


Рис. 5. Выход модели и выход объекта в условиях недостатка текущей информации при увеличении шага дискретизации

В данном случае квадратичная ошибка равна 1,85, относительная -0,41. Приведем результаты моделирования, схемы при полной текущей информации, при тех же параметрах моделирования (шаг дискретизации -0,4, объем выборки -50) (рис. 6). На данном рисунке квадратичная ошибка равна 0,54, относительная -0,067.

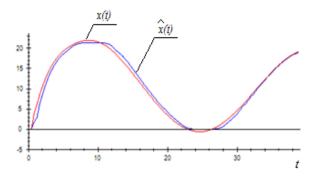


Рис. 6. Выход модели и выход объекта в условиях полной текущей информации при увеличении шага дискретизации

Как мы можем заметить, в обоих экспериментах при увеличении шага дискретизации относительная и квадратичная ошибки увеличиваются. Но тенденция того, что моделирование при полной текущей информации о входных данных намного качественней, сохраняется.

В целом картина зависимости относительной ошибки от шага дискретизации представлена на графике, изображённом на рис. 7, и табл. 1.

Таблица 1 Зависимость относительной ошибки от шага дискретизации

Шаг	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
Ошибка	0,15	0,22	0,32	0,36	0,41	0,64
моделирования						

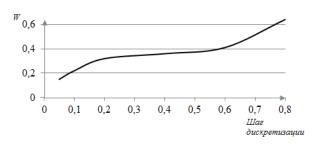


Рис. 7. Зависимость относительной ошибки от шага дискретизации

Анализируя выше представленные табл. 1 и график (рис. 7), можно говорить о том, что зависимость относительной ошибки моделирования от шага дискретизации имеет пропорциональный характер: с увеличением уровня помехи относительная ошибка моделирования увеличивается.

Рассмотрим зависимость квадратичной ошибки от уровня помех. В качестве помехи мы будем брать случайную величину, распределенную по нормальному закону распределения с нулевым математическим ожиданием и дисперсией, равной 1. Установим значения параметров, равными: шаг дискретизации — 0,2, объем выборки — 150, уровень помех — 10 % (рис. 8).

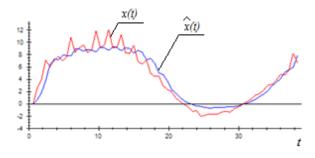


Рис. 8. Выход модели и выход объекта в условиях недостатка текущей информации при уровне помех $10\ \%$

В случае, представленном на рис. 8, квадратичная ошибка равна 2,54, относительная ошибка — 0,62, результат моделирования при полученных ошибках можно считать неудовлетворительным. Сравним

полученный результат с моделированием при полных текущих данных о контролируемом входном воздействии при тех же параметрах (шаг дискретизации -0.2, объем выборки -150, уровень помех -10%) (рис. 9).

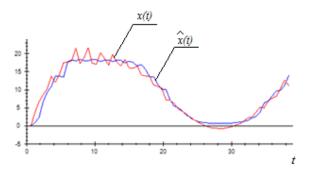


Рис. 9. Выход модели и выход объекта в условиях полной текущей информации при уровне помех 10 %

Здесь квадратичная ошибка равна 1,67, относительная — 0,31. Как мы можем наблюдать из рис. 9, полученная модель является более точной, чем модель, соответствующая эксперименту, представленному на рис. 8, хотя обе модели были получены при одинаковых условиях (равный шаг дискретизации, объем выборки и уровнь помех).

Общий анализ зависимости относительной ошибки моделирования от уровня помехи, действующей на объект, представлен на рис. 10 и в табл. 2.

 $\begin{tabular}{ll} $\it Taблицa~2 \\ \begin{tabular}{ll} \it Tabular & \it Tabula$

Помеха, %	0	1	5	10	15	20
Ошибка	0,32	0,34	0,53	0,62	0,71	0,89
моделиро-						
вания						

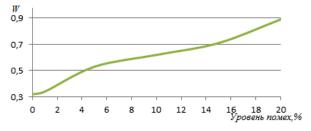


Рис. 10. Зависимость относительной ошибки от уровня помехи

Из табл. 2 и рис. 10 мы можем сделать вывод, что с увеличением уровня помехи относительная ошибка моделирования также увеличивается.

Подводя итог, следует заметить, что рассматривается очень важная с практической точки зрения задача идентификации в замкнутом контуре для дискретнонепрерывных процессов в условиях непараметрической неопределенности. Актуальность рассмотренной задачи обусловлена тем, что в настоящее время в некоторых случаях на промышленных предприятиях при управлении сложными технологическими процессами роль устройства управления выполняет человек-

оператор. Естественно, действия оператора регламентируются технологической картой, а также опытом управления на данном объекте. Зачастую его действия по корректировке входных управляемых воздействий по тем или иным причинам не контролируются. Это приводит к тому, что при моделировании исследователь сталкивается с неполнотой текущей информации об объекте, а также о значениях управляемых воздействий, поступающих на объект. В этом случае исследование процесса построения модели представляет специальный самостоятельный процесс.

В статье приводятся непараметрические модели для многомерных дискретно-непрерывных процессов при частичном отсутствии текущей информации о входных данных, поступающих на объект исследования. Достаточно подробно изложены результаты численного исследования, которые проводились для двух случаев: в первом случае действия человекаоператора оставались неизвестными, а во втором случае они измерялись. Как и следовало ожидать, в первом случае модель объекта с памятью оказалась сравнительно грубой, чем во втором, при этом важно отметить, что нарушение технологического регламента не происходило. Как и следовало ожидать, действия оператора существено сказываются на управлении, хотя ведутся в рамках технологического регламента. Также была рассмотрена зависимость ошибки моделирования от шага дискретизации и уровня помех. Приведенные исследования открывают возможность для построения внешнего контура управления в дальнейших исследованиях с целью оптимизации ведения технологического процесса в рамках технологического регламента.

Библиографические ссылки

- 1. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М.: Физматгиз, 1963. 552 с.
- 2. Цыпкин Я. 3. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968. 400 с.
- 3. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 683 с.
- 4. Медведев А. В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск: Наука, 1983. 174 с.
- 5. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 4–9.
- 6. Надарая Э. А. Непараметрические оценки плотности вероятности и кривой регрессии. Тбилиси: Изд. Тбил. ун-та, 1983. 194 с.

References

- 1. Feldbaum A. A. *Osnovy teorii optimalnykh avtomaticheskikh sistem* [Fundamentals of the theory of optimal automatic systems]. Moskow, Fizmatgiz Publ., 1963, 552 p.
- 2. Eykhoff P. *Osnovy identifikatsii sistem upravleniya* [System Identification Parameter and State Estimation]. Moscow, Mir Publ., 1975, 683 p.

- 3. Cypkin Ja. Z. Adaptatsiya i obuchenie v avtomaticheskikh sistemakh [Adaptation and training in automated systems]. Moscow, Nauka Publ., 1968, 400 p.
- 4. Medvedev A. V. *Neparametricheskie sistemy adaptatsii* [Nonparametric adaptation systems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, 174 p.
- 5. Medvedev A. V. [The theory of non-parametrical systems. Modeling]. *Vestnik SibGAU*, 2010. Vol. 30, no. 4, p. 4–9. (In Russ.)
- 6. Nadaraya E. A. *Neparametricheskie otsenki plot-nosti veroyatnosti i krivoj regressii* [Non-parametric estimation of the probability density and the regression curve]. Tbilisi, Tbil. un-t Publ., 1983, 194 p.

© Банникова А. В., Сергеева Н. А., 2014

УДК 658.5.011.56

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

А. А. Бикчентаев

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва» Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52 E-mail: ayrat715@iss-reshetnev.ru

Подчеркивается важность сбора и систематизации знаний о бизнес-процессах предприятия при реализации концепции информационной поддержки жизненного цикла изделия. Рассматриваются существующие и наиболее широко применяемые методики моделирования бизнес-процессов и анализируются возможности их применения. При этом обращается внимание на поддержку данных методик государственными и международными стандартами. В качестве аналога рассматривается существующий подход к применению методик моделирования бизнес-процессов, используемый в одной из наиболее развитых и популярных систем бизнесмоделирования. Дается обоснование перспективности применения нотации ВРМN и указываются ее преимущества по сравнению с другими методиками. Приводится пример, демонстрирующий использование результатов данной работы при описании процессов одного из этапов жизненного цикла изделия.

Ключевые слова: бизнес-процесс, моделирование, информационная поддержка.

MODELING OF PROCESSES OF ITEMS LIFE CYCLE

A. A. Bikchentaev

JSC "Information satellite systems" named after academician M. F. Reshetnev" 52, Lenin str., Jeleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation E-mail: ayrat715@iss-reshetnev.ru

In this work the importance of gaining and systematization of knowledge about enterprise business processes for CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support)-technologies implementation is pointed out. The most used existing techniques of business processes modeling are considered and possibilities of their applying are analyzed. At the same time supporting of these techniques by state and international standards is emphasized. The way of business processes modeling, that is used in one of the most developed and popular business modeling systems, is taken as an analogue. Arguments confirming of prospects of using notation BPMN are provided and its benefits versus other techniques are pointed out. The example, that shows how results of this work are used for description of one of the stages of product life cycle, is provided.

Keywords: business process, modeling, information support.

Моделирование процессов жизненного цикла изделия (ЖЦИ) [1] является необходимой составляющей при реализации подхода информационной поддержки процессов жизненного цикла изделия [2]. Средства описания бизнес-процессов существуют и развиваются уже довольно долгое время. Так, например, методология IDEF0 была стандартизирована в США в 1981 г. В 2001 г. она была изложена в рекомендациях

Госстандарта России. В 2013 г. вышел международный стандарт, описывающий методологию BPMN.

Также развиваются и технические средства моделирования бизнес-процессов. Даже заглянув в MS Visio, одно из самых популярных программных средств построения графических диаграмм, можно обнаружить наборы фигур для описания бизнеспроцессов. И более того, поддержка создания таких диаграмм в этой программе совершенствуется [3].

Средства моделирования бизнес-процессов можно обнаружить и внутри более масштабных систем, например, систем бизнес-моделирования. Ярким примером является система Business Studio, в которой можно не просто создавать диаграммы бизнес-процессов с использованием разных нотаций, но и увязывать их в целостные модели. Подход к моделированию бизнес-процессов, реализованный в Business Studio, взят в качестве аналога для рассмотрения в этой работе.

Описание бизнес-процессов можно разделить на два уровня: верхний и нижний (операционный). Различные методики могут по-разному подходить для описания бизнес-процессов на верхнем или нижнем уровне.

Существующие средства моделирования бизнеспроцессов:

1. Методология функционального моделирования IDEF0. Рекомендована Госстандартом России (Р 50.1.028–2001). Данная методология основана на подходе, получившем название SADT (Structured Analysis & Design Technique — методология структурного анализа и проектирования). Основу этого подхода (SADT) и методологии IDEF0 составляет графический язык описания (моделирования) систем [4].

IDEF0 используется для создания функциональной модели, отображающей структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, преобразуемые этими функциями [4].

Модель бизнес-процесса, выполненная по методологии IDEF0, представляет собой иерархию диаграмм. Диаграммы нижнего уровня получаются за счет декомпозиции блоков диаграммы, находящейся на уровне выше.

2. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем (блок-схемы). Блок-схема (flowchart, block diagram) — распространенный тип схем (графических моделей), описывающих алгоритмы или процессы, в которых отдельные шаги, события или объекты изображаются в виде блоков различной формы, соединенных между собой линиями, указывающими направление последовательности [5]. Правила выполнения блок-схем определяются ГОСТ 19.701—90.

Достоинствами данной методики являются простота использования, широкая применяемость при решении различных задач и, как следствие, понятность практически для всех специалистов.

Недостатком является то, что методика изначально была ориентирована на описание алгоритмов работы программ. При описании же процессов диаграммы могут получаться относительно сложными [6; 7].

3. Прием SwimLane. Представляет собой разделение диаграммы модели процесса горизонтальными

или вертикальными линиями, в результате чего она разбивается на области («плавательные дорожки» или просто «дорожки»), соответствующие ролям, ресурсам, элементам организации или местоположению. При этом расположение элементов диаграммы приводится в соответствии со значением этих областей.

Этот прием расширяет возможности описания бизнес-процессов и может быть использован с диаграммами, выполненными по методике блок-схем или по другим схожим методикам.

- 4. Процедура Business Studio (Cross Functional Flowchart). Процедура Business Studio [8] по сути является вариацией методики блок-схем, адаптированной для описания бизнес-процессов. В сравнении с базовой методикой она имеет следующие особенности:
- изначально предусматривает использование «дорожек»;
- вместо блоков ввода/вывода данных и документов используются названия стрелок (связей);
- для отображения потоков объектов, не приводящих к запуску следующего события, используется стрелка с удвоенным концом (стрелка потока объектов).
- 5. Событийно-обусловленная последовательность процесса (event-driven process chain). Довольно широко применяемая методика, являющаяся в том числе частью методологии ARIS [9] и поддерживающаяся соответствующими программными продуктами. Она также является одной из методик описания бизнеспроцессов, представленных в Business Studio.

Достоинствами этой методики можно назвать логичность и высокую степень формализации. Недостатками являются относительная громоздкость получаемых диаграмм и сложность восприятия людьми, которые с ней не знакомы [7].

6. BPMN (Business Process Model Notation – нотация моделирования бизнес-процессов). Данная нотация является проработанной методологией описания бизнес-процессов и их взаимодействия. Спецификация BPMN 2.0 была выпущена OMG (Object Management Group) в 2011 г. Она легла в основу международного стандарта ISO/IEC 19510:2013.

Особенностью BPMN является поддержка создания моделей для автоматически исполняемых бизнеспроцессов, которые могут быть переведены в формат, предназначенный для выполнения в системах BPM (Business Process Management – управление бизнеспроцессами). Так, в стандарте [10] говорится, что BPMN выстраивает мост между проектированием и исполнением бизнес-процессов.

Но основной целью данной методологии, и это указано в стандарте, является обеспечение нотации, понятной всем связанным с бизнес-процессами пользователям: тем, кто их описывает, внедряет технологии их автоматизации или их автоматическое исполнение, следит за ними и управляет их выполнением.

В [6] показано, что, применяя BPMN, можно создавать диаграммы бизнес-процессов, не уступающие по простоте, понятности и информативности диаграммам блок-схем и подобных методик.

Объем и сложность нотации BPMN на первый взгляд воспринимаются как ее существенный недостаток.

Но на деле оказывается, что применение BPMN может быть не намного сложнее, чем работа с другими методиками. При этом данная нотация позволяет описывать логику процессов с разной степенью детализации, вплоть до очень подробного описания. Конечно, с увеличением степени детализации диаграмм бизнеспроцессов от специалистов, работающих с ними, потребуется больше знаний о BPMN.

Среди возможности описываемой нотации, отличающих ее от методик-вариаций блок-схем, можно выделить:

- возможность увязки диаграмм в единую модель;
 при этом связи между диаграммами могут быть как горизонтальными, так и иерархическими;
- возможность отображения на диаграмме взаимодействия нескольких процессов, что возможно за счет применения элемента «пул» (pool), соответствующего процессу и являющегося контейнером для всех элементов этого процесса на диаграмме.

Из-за высокой степени формализации BPMN возможно использование форматов файлов моделей бизнес-процессов, поддерживающих обмен этих моделей между различными системами, работающими с ними. При этом объекты переданной модели могут быть распознаны и сопоставлены с объектами, хранящимися в системе, в которую происходит передача.

Анализ возможностей применения рассмотренных средств моделирования бизнес-процессов. Методология IDEF0 используется в мире уже долгое время и является весьма эффективной при построении иерархической модели бизнес-процессов верхнего уровня [8]. При ее использовании возможна опора на рекомендации Госстандарта России (Р 50.1.028–2001).

Однако при моделировании бизнес-процессов на операционном уровне диаграммы IDEF0 явно проигрывают в простоте и понятности для пользователей по сравнению с диаграммами, составленными по другим методикам. Да и составление таких диаграмм с соблюдением правил и принципов IDEF0 является более сложным занятием, которое может осуществляться только при наличии определенных знаний.

Для описания бизнес-процессов на нижнем уровне предпочтительней использовать нотацию BPMN. Несмотря на объем и сложность, она позволяет составлять простые и понятные диаграммы, являющиеся по сути вариациями блок-схем. При этом существуют возможности включения в описание больше деталей, делая его более точным и информативным. Диаграммы, выполненные в BPMN, могут увязываться между собой, образуя единую модель. Высокая степень формализации BPMN дает дополнительные преимущества работы с моделями.

Выпуск международного стандарта, описывающего нотацию BPMN, дает опору для ее применения на предприятиях и разработки собственных стандартов моделирования бизнес-процессов на ее основе.

Каждая из выбранных для использования методик позволяет создавать модели бизнес-процессов, содержащих связанные между собой диаграммы. Их совместное использование в рамках одной модели требует применения механизмов, связывающих диаграммы IDEF0 и BPMN между собой. Среди этих механизмов

должно быть применение правил декомпозиции блоков-действий и идентификации этих блоков и диаграмм модели. Данные правила могут быть использованы так, как они описаны в методике IDEF0 [4].

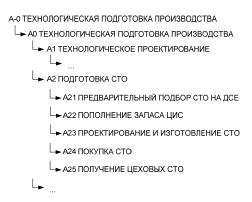


Рис. 1. Фрагмент дерева диаграмм модели технологической подготовки производства (ТПП)

Рассмотрим модель ТПП, структура которой представлена на рис. 1. Контекстная диаграмма A-0 и ее дочерняя диаграмма A0 выполняются в нотации IDEF0. Диаграммы следующих уровней могут выполняться как в нотации IDEF0, так и в нотации BPMN.

Декомпозиция блоков диаграмм BPMN должна осуществляться только согласно правилам данной нотации.

Теперь разберем вопрос связывания диаграммы BPMN с другими диаграммами модели. Для этого нотация позволяет использовать элемент «свернутый пул», соответствующий процессу, с которым осуществляется связь. В [11] описано, как осуществляется связывание процессов, описанных в разных нотациях, по входам и выходам. При связывании процесса, описанного в BPMN для передачи управления другому процессу, используются элементы «свернутый пул», «событие» и «поток сообщений» [12].

Разберем вышесказанное на примерах, взятых из упомянутой ранее модели ТПП (рис. 1). На рис. 2 представлен фрагмент диаграммы А0, на котором видно, как два процесса ТПП связаны между собой. Это процесс технологического проектирования (А1) и процесс подготовки СТО (А2). При дальнейшей декомпозиции процесса подготовки СТО появляется диаграмма А24, описывающая процесс покупки СТО. Эта диаграмма была выполнена в нотации ВРММ (рис. 3). Необходимо было связать данный процесс с технологическим проектированием, так как исходными данными для начала работы является список СТО разработанного техпроцесса. Кроме этого, в ходе работ могут быть приняты решения, например, о замене заказанного инструмента на аналог, которые должны быть отражены в соответствующем технологическом процессе. Все необходимые связи были показаны согласно описанным выше правилам: был добавлен свернутый пул процесса технологического проектирования, введены потоки сообщений «Список инструмента техпроцесса» и «Корректировка инструмента техпроцесса», связывающих его с соответствующими событиями процесса, представленного данной диаграммой.

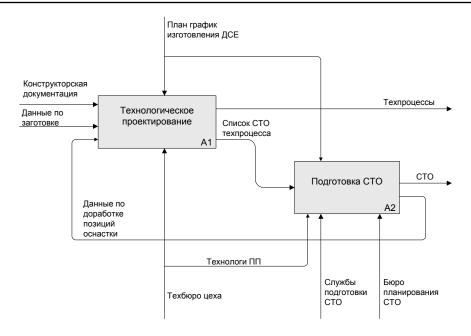


Рис. 2. Фрагмент IDEF0-диаграммы A0 «Технологическая подготовка производства»

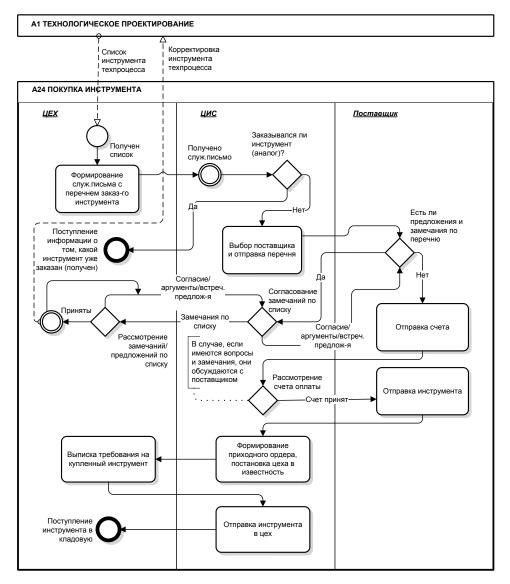


Рис. 3. BPMN-диаграмма процесса покупки СТО (A24)

Итак, как было показано, при описании бизнеспроцессов целесообразно использовать две нотации. IDEF0 наиболее подходит при составлении диаграмм верхнего уровня. Нотация BPMN обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методиками описания бизнес-процессов на операционном уровне, в том числе и вариаций блок-схемы. Диаграммы IDEF0 и BPMN могут быть связаны между собой в единой модели процессов ЖЦИ.

Библиографические ссылки

- 1. Р.50.1.031–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч. 1. Стадии жизненного цикла продукции: рекомендации по стандартизации / Гостандарт России. М.: Изд-во стандартов, 2001.
- 2. Кондрин А. В., Кукарцев В. В. Стратегия внедрения CALS-технологий // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 3 (36). С. 210–214.
- 3. Официальный русскоязычный блог Visio. BPMN 2.0 в Visio [Электронный ресурс]. URL: http://http://blogs.technet.com/b/visio_ru/archive/2012/11/26/bp mn-2-0-visio.aspx (дата обращения: 18.02.2014).
- 4. Р.50.1.028–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования: рекомендации по стандартизации / Гостандарт России. М.: Изд-во стандартов, 2001.
- 5. Блок-схема // Материал из Википедии свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%BA-%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC% D0%B0 (дата обращения: 18.02.2014).
- 6. Репин В. В. Описание бизнес-процессов: стремление к простоте [Электронный ресурс]. URL: http://www.businessstudio.ru/procedures/business/simple_descr/(дата обращения: 18.02.2014).
- 7. Репин В. В. ARIS eEPC, или «Процедура» Business Studio? [Электронный ресурс]. URL: http://www. businessstudio.ru/procedures/business/procedure/(дата обращения: 18.02.2014).
- 8. Репин В. В., Елиферов В. Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: Стандарты и качество, 2004. 408 с.
- 9. Шеер А. В. Моделирование бизнес-процессов : пер. с англ. М.: ООО Серебряные нити, 2000. 222 с.
- 10. ISO/IEC 19510:2013(E). Information technology Object Management Group Business Process Model and Notation [Электронный ресурс]. URL: http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/c062652 ISO IEC 19510 2013.zip (дата обращения: 18.02.2014).
- 11. Особенности связывания процессов разных нотаций по входам и выходам [Электронный ресурс]. URL: http://businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/connection_processes/connection_inputs_outputs/connection_different_notations (дата обращения: 18.02.2014).

12. Связывание процессов для передачи управления [Электронный ресурс]. URL: http://businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/connection_processes/connection_transfer_control (дата обращения: 18.02.2014).

References

- 1. R.50.1.031-2001. Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Terminologicheskiy slovar'. Ch. 1. Stadii zhiznennogo [R.50.1.031-2001. Information produktsii technologies of life cycle of production support. Glossary. of life cycle of Phases production. Recommendations for standardization]. Moscow, Standartinfor Publ., 2001, p. 27.
- 2. Kondrin A. V., Kukartsev V. V. [CALS-technologies implementation strategy]. *Vestnik SibGAU*, 2011, vol. 36, no. 3, p. 210–214. (In Russ.)
- 3. Ofitsial'ny russkoyazychny blog Visio. BPMN 2.0 v Visio [Official russian blog Visio. BPMN 2.0 in Visio]. Available at: http:// http://blogs.technet.com/b/visio_ru/archive/2012/11/26/bpmn-2-0-visio.aspx (accessed 18.02.2014).
- 4. *R.50.1.031–2001*. *Informatsionnye tekhnologii* podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Metodologiya funktsional'nogo modelirovaniya [R.50.1.031–2001. Information technologies of life cycle of production support. Methodology of functional modeling. Recommendations for standardization]. Moscow, Standartinfor Publ., 2001, p. 49.
- 5. Blok-skhema. Material iz Vikipedii svobodnoy entsiklopedii [Flowchart. From Wikipedia, the free encyclopedia]. Available at: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%BA-%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0 (accessed 18.02.2014).
- 6. Repin V. V. *Opisanie biznes-protsessov: stremlenie k prostote* [Business processes discription. Approach to simplicity]. Available at: http://www.businessstudio.ru/procedures/business/simple descr/ (accessed 18.02.2014).
- 7. Repin V. V. ARIS eEPC ili "Protsedura" Business Studio? [ARIS eEPC or "Procedure" of Business Studio]. Available at: http://www.businessstudio.ru/procedures/business/procedure/ (accessed 18.02.2014).
- 8. Repin V. V., Eliferov V. G. *Protsessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovanie biznes-protsessov* [Process approach for management. Business process modeling]. Moscow, Standarty i kachestvo Publ., 2004, 408 p.
- 9. Sheer A. V. *Modelirovanie biznes-protsessov* [ARIS Business Process Modeling by August-Wilhelm Scheer]. Moscow, Serebryanye niti Publ., 2000, 222 p.
- 10. ISO/IEC 19510:2013(E). Information technology Object Management Group Business Process Model and Notation. Available at: http://standards.iso.org/ittf/Publicly AvailableStandards/c062652_ISO_IEC_19510_2013.zip (accessed 18.02.2014).
- 11. Osobennosti svyazyvaniya protsessov raznykh notatsiy po vkhodam i vykhodam [The features of linking

outputs and inputs of different notation business processes]. Available at: http://businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/connection_processes/connection_inputs_outputs/connection_different_notations (accessed 18.02.2014).

12. Svyazyvanie protsessov dlya peredachi upravleniya [Business processes linking for management transfer]. Available at: http://businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/connection_processes/connection transfer control (accessed 18.02.2014).

© Бикчентаев А. А., 2014

УДК 621.643.07

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ЧАСТОТНОГО ОТКЛИКА СБОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ *

И. О. Бобарика¹, М. С. Яхненко²

¹Иркутский государственный технический университет Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83 E-mail: MegusMC@mail.ru

²Иркутский авиационный завод – филиал ОАО «Корпорация «ИРКУТ» Российская Федерация, 664020, г. Иркутск, ул. Новаторов, 3 E-mail: holtfor@mail.ru

Выполнена доработка методики проектирования конструкции трубопроводной системы с учётом экспериментальных данных тензометрирования. Выполнен анализ частотного отклика сборной конструкции трубопроводов гидрогазовых систем с определением их напряжённо-деформированного состояния для различных диапазонов частот возбуждающей силы с применением нелинейной контактной задачи метода конечных элементов. Представлены частотные отклики сборной конструкции трубопроводов напорной линии гидросистемы современного самолёта до и после модернизации по представленной методике; подтверждено снижение динамических напряжений конструкции в диапазоне рабочих частот. Работа продолжает исследование зависимости частот собственных колебаний и напряженно-деформированного состояния трубопроводных систем от особенностей их конструкции.

Ключевые слова: трубопровод, частотный отклик, гидросистема, резонанс, демпфирование, динамическое напряжённо-деформированное состояние, контактная задача, метод конечных элементов.

TECHNIQUE SOLUTION OF THE PROBLEM OF THE PIPELINE PRECAST STRUCTURE FREQUENCY RESPONSE SEARCH WITH APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD

I. O. Bobarika¹, M. S. Yakhnenko²

¹Irkutsk state technical University
83, Lermontov str., Irkutsk, 664074, Russian Federation
E-mail: MegusMC@mail.ru

² Irkutsk aircraft factory – subsidiary of JSC "Corporation "Irkut"
3, Novatorov str., Irkutsk, 664020, Russian Federation
E-mail: holtfor@mail.ru

Modification of technique of structural design of pipeline system taking into account experimental data of a straingage testing has been completed. The various ranges of frequency response analysis of the dynamically loaded hydrogas system's collapsible pipelines constructions with application of a finite element method nonlinear contact problem

^{*} Представленная в рамках данной статьи работа проводится при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки России) по комплексному проекту 2012-218-03-120 «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета» согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

has been done. Frequency responses of collapsible pipelines constructions hydraulic system pressure line of a modern airplane before and after modernization on the presented method are presented; decrease of structures dynamic stresses in the operating frequency range. This work continues research of dependence of frequencies of natural vibration and tensely deformed condition of pipeline systems from features of its detail of construction.

Keywords: the pipeline, frequency response, hydraulic system, resonance, damping, dynamic tensely deformed condition, contact problem, finite element method.

Изделия авиационной техники сегодня представляют собой сложнейший комплекс систем и оборудования, интегрированный в планер. В полете все элементы современного самолёта должны работать как одно целое, обеспечивая соответствие заявленным при его проектировании характеристикам. Однако учёт совместной работы элементов систем и планера при различных вариантах совместного нагружения является сложнейшей задачей, которая решается с применением итерационных подходов, с неоднократными доработками и модификациями тех или иных элементов и согласованием целого ряда параметров.

Трубопровод — сложнонагруженная конструкция, исследование работы которой — комплексная задача, существующая на стыке исследования экспериментальных данных натурных испытаний, результатов традиционных численных решений и высокопроизводительных численных решений (рис. 1).

Традиционные методы, описанные в [1–5], являются громоздкими и сложноприменимыми в производстве. Аналитические же методы в большей степени позволяют рассматривать отдельные элементы сборных конструкций и представляют известную сложность, связанную с определением всех возмож-

ных типов нагрузок и действующих напряжений, что не позволяет рассматривать масштабные сборные конструкции, где велико взаимовлияние элементов друг на друга, особенно при динамическом нагружении. Экспериментальные же исследования представляются слишком дорогостоящими ввиду необходимости наличия соответствующего оборудования и программных средств для обработки потока данных эксперимента (например, при тензометрировании динамических испытаний) и используются в основном для подтверждения заявленных характеристик и при отработках конструкций. Численные же методы решения подобных задач представлены системами инженерного анализа, основанными на методе конечных элементов.

Методы численного решения задачи определения динамического напряженно-деформированного состояния трубопроводных систем описаны в серии работ [6–15].

Основные тенденции развития методики [6] заключаются в более глубокой проработке и уточнении средств рассмотрения экспериментальных данных натурных испытаний, а также в более точном определении параметров надёжности системы через сравнение частот отклика и возбуждения сборных конструкций.

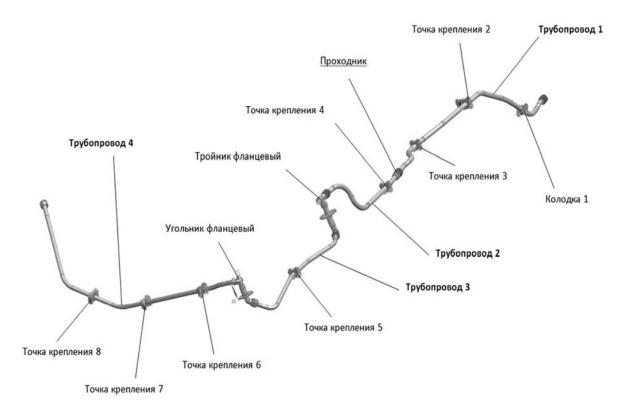


Рис. 1. Модель трубопроводной системы

Согласно методике [8], необходимо рассмотреть задачу определения частотного отклика конструкции трубопроводной системы для определения критических частот работы трубопровода. По результатам работы необходимо сравнить критические частоты с рабочими частотами системы и устранить совпадающие частоты путём изменения конфигурации модели трубопровода или точек его крепления к элементам каркаса планера. Однако обнаружено, что при анализе конечно-элементной модели сборной конструкции трубопровода по заданному диапазону частот (анализ Transient static) в системе инженерного анализа ANSYS возможно разрушение контактов модели, что обусловлено нелинейным увеличением энергии колебаний постоянной амплитуды с увеличением их частоты. Таким образом, необходимо определить функцию колебаний точек крепления трубопроводов, позволяющую исследовать вибрации трубопровода с постоянной энергией и переменной частотой.

Выполнен поиск функции перемещений в виде

$$f(t) = A(t) \times \sin \omega(t); \tag{1}$$

где t — время, c; A(t) — закон изменения амплитуды колебаний по времени; $\omega(t)$ — закон изменения частоты действия внешней силы.

При этом амплитуда функции (1) уменьшается со временем, а частота возрастает.

Модель сборной конструкции, подвергаемая динамическому анализу, может быть рассчитана при условии сохранения целостности контактов во время действия любых возникающих в процессе приложения исходной нагрузки сил. Опытным путём установлено, что максимальные амплитуды колебаний системы не вызывают нарушения контактных связей при амплитуде колебаний, равной 2 мм.

Эффекта разрушения контактов в модели сборной конструкции можно избежать путём применения закона постоянства энергии колебательной системы при автоколебаниях:

$$\frac{m \times \omega^2 \times A^2}{2} = \text{const},$$

где m — масса системы, кг; ω — частота колебаний системы; A — амплитуда колебаний системы.

В любой момент времени t

$$\frac{m \times \omega_0^2 \times A_0^2}{2} = \frac{m \times \omega^2(t) \times A^2(t)}{2}.$$
 (2)

Таким образом, амплитуда зависит от частотного диапазона исследования:

$$A(t) = \frac{A_0 \times \omega_0}{\omega(t)} \,, \tag{3}$$

где ω_0 — начальное значение частоты (условно принятое равным 1); A_0 — условное начальное значение амплитуды колебаний конструкции, не приводящее к разрушению контактов в модели.

Частота по условиям задачи поиска частотного отклика зависит от времени по линейному закону

$$\omega = k \cdot x + b \ . \tag{4}$$

Раскрывая уравнение (3) с учетом (4), подставляя граничные условия, получаем

$$A(t) = \frac{K}{t} \,, \tag{5}$$

где K – коэффициент пропорциональности, зависящий от принятых начальных значений амплитуды, частоты и шага по времени.

Для рассматриваемого расчётного случая значение K=0,109 соответствует оптимальным с точки зрения задания переменных нагрузок в конечно-элементной модели трубопровода значениям начального времени t_0 и начального значения амплитуды $\omega(t_0)$ (исходные параметры для этих значений: $t_0=0,1$ с, $A_0=2$ мм).

Из условия известных значений начальной и конечной частот вращения авиадвигателя как источника возбуждения колебаний $n(t_1) \to 0$ и $n(t_2) = 700$ об/мин, получено:

$$\omega(t) = \frac{700}{60} \times t \times 2 \times \pi \ . \tag{6}$$

Согласно приведенной методике, функция (1) с учетом вышеуказанных условий имеет вид (рис. 2)

$$f(t) = \frac{0.109 \times \sin(73,303 \times t)}{t} \,. \tag{7}$$

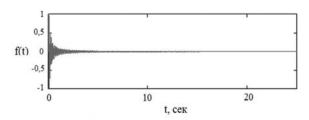


Рис. 2. График функции f(t) с постоянной энергией колебаний в системе при увеличении частоты с заданными параметрами частотно-временных характеристик

Функция (7) позволяет задавать перемещения точек опор трубопровода, анализировать сборные конструкции при постоянном значении энергии систем без разрушения её контактных взаимодействий и применима для инженерных анализов в стандартных КЭ-пакетах.

Частотный отклик, полученный в результате анализа модели по представленной методике, отображен на рис. 3.

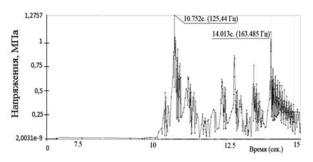


Рис. 3. Частотный отклик модели трубопровода до модернизации

Таким образом, однозначно определён первый резонансный пик всей конструкции при частоте 125,44 Гц, что находится в диапазоне рабочих частот. Следовательно, модернизацию необходимо выполнить таким образом, чтобы исключить возможность появления резонансных пиков в диапазоне рабочих частот.

Выполненный анализ частотных откликов модели с модернизированными кронштейнами подтвердил способность конструкции эффективно демпфировать динамические колебания. Отсутствие ярко выраженных пиков динамических напряжений и снижение общего фона напряжений при колебаниях системы с частотой, при которой в исходной конструкции прослеживались ярко выраженные пики напряжений, наглядно представлены на рис. 4.

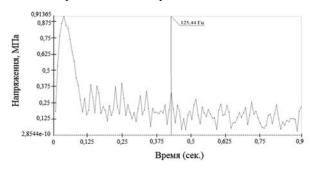


Рис. 4. Частотный отклик модели после модернизации

Таким образом, уточнена методика определения частотного отклика протяженных сборных конструкций.

Применение описанной методики позволит избежать итеративного поиска зависимости возбуждающей силы от времени и впоследствии эффективнее определять параметры любых решателей в стандартных КЭ-пакетах, применяемых для динамического анализа протяженных сборных конструкций с применением нелинейной контактной задачи теории конечных элементов.

Библиографические ссылки

- 1. Башта Т. М. Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств. М.: Оборонгиз, 1961. 97 с.
- 2. Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций. М. : Машиностроение, 1990. 447 с.
- 3. Сапожников В. М., Лагосюк Г. С. Прочность и испытания трубопроводов гидросистем самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1973. 248 с.
- 4. Тарасов Ю. Л., Перов С. Н., Логинов С. Л. Решение проблемы обеспечения и надежности ресурса трубопроводных систем при их проектировании // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. 2003. № 19. С. 122–128.
- 5. Тимошенко С. П. Прочность и колебания элементов конструкций / под ред. Э. И. Григолюк. М. : Наука. 1975. 704 с.
- 6. Пыхалов А. А., Милов А. Е. Контактная задача статического и динамического анализа сборных роторов турбомашин. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. 192 с.

- 7. Яхненко М. С. Анализ сходимости численного решения метода конечных элементов для задачи динамического нагружения трубопроводов // Вестник ИрГТУ. Иркутск, 2011. № 5 (52). С. 100–103.
- 8. Яхненко М. С. Проектирование конструкции трубопроводной системы с учётом экспериментальных данных тензометрирования [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Труды МАИ» / Моск. авиац. ин-т. 2011. № 44. С. 44–30. URL: http://www.mai.ru/publications/index2.php.
- 9. Яхненко М. С., Гущин С. В., Полонский А. П. Анализ работы трубопроводных коммуникаций летательных аппаратов с учётом монтажных неточностей // Проблемы земной цивилизации : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В. А. Анохина, Н. М. Пожитного. Иркутск, 2008. Вып. 21. С. 196–199.
- 10. Яхненко М. С., Пыхалов А. А. Исследование зависимости частот собственных колебаний и напряженно-деформированного состояния трубопроводных систем от особенностей их конструкции // Проблемы земной цивилизации : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В. А. Анохина, Н. М. Пожитного. Иркутск, 2008. Вып. 21. С. 258–259.
- 11. Яхненко М. С., Пыхалов А. А. Исследование зависимости частот собственных колебаний и напряженно-деформированного состояния трубопроводных систем от особенностей их конструкции // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: материалы 15 Междунар. симп. им. А. Г. Горшкова (2009, г. Ярополец). М.: МАИ, 2009. Т. 1. С. 167–168.
- 12. Яхненко М. С., Пыхалов А. А. Исследование динамики работы трубопровода напорной трассы гидросистемы современного истребителя // материалы 13 Междунар. науч. конф., посвящённой 50-летию Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. Красноярск, 2009. С. 46–47.
- 13. Яхненко М. С., Пыхалов А. А., Столерман А. И. Разработка методики сравнительного анализа динамики и прочности различных сборных конструкций трубопроводных систем летательных аппаратов с применением нелинейной контактной задачи метода конечных элементов // Исследования и перспективные разработки в машиностроении : материалы первой науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Комсомольск-на-Амуре, 2010. С. 86–89.
- 14. Яхненко М. С., Пыхалов А. А. Анализ динамических характеристик трубопровода при его работе под давлением // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы 16 Междунар. симп. им. А. Г. Горшкова (2010, г. Ярополец). М. : МАИ, 2010. Т. 1. С. 143–145.
- 15. Яхненко М. С., Пыхалов А. А. Анализ динамики и прочности сборных конструкций трубопроводных систем летательных аппаратов с применением нелинейной контактной задачи метода конечных элементов // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: материалы 17-й Междунар. симп. им. А. Г. Горшкова (2011, г. Ярополец). М.: МАИ, 2011. С. 163–164.

References

- 1. Bashta T. M. *Raschety i konstruktsii samoletnykh gidravlicheskikh ustroystv* [Calculations and design of aircraft hydraulic systems]. Moscow, Oborongiz Publ., 1961, 97 p.
- 2. Bolotin V. V. *Resurs mashin i konstruktsiy* [Resource of machines and structures]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990, 447 p.
- 3. Sapozhnikov V. M., Lagosjuk G. S. *Prochnost' i ispytaniya truboprovodov gidrosistem samoletov i vertoletov* [Durability testing of pipelines and hydraulic systems of aircraft and helicopters]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973, 248 p.
- 4. Tarasov Ju. L., Perov S. N., Loginov S. L. [Addressing the security and reliability of the resource pipeline systems in their design]. *Vestnik SamGTU. Ser. Fiz.-mat. Nauki.* 2003, no. 19, p. 122–128. (In Russ.)
- 5. Timoshenko S. P. *Prochnost' i kolebaniya elementov konstruktsiy* [Strength and vibrations of structural elements]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 704 p.
- 6. Pykhalov A. A., Milov A. E. *Kontaktnaya zadacha staticheskogo i dinamicheskogo analiza sbornykh rotorov turbomashin* [Contact problem of static and dynamic analysis modular rotors of turbomachines]. Irkutsk, IrGTU Publ., 2007, 192 p.
- 7. Yakhnenko M. S. [Analysis of the convergence of the numerical solutions of finite element method for the problem of dynamic loading pipelines]. *Vestnik IrGTU*. 2011, vol. 52, no. 5, p. 100–103. (In Russ.)
- 8. Yakhnenko M. S. [Design and construction of the pipeline system, taking into account the experimental strain measurement data]. *Trudy MAI*, 2011, no. 44. (In Russ.) Available at: http://www.mai.ru/publications/index2.php.
- 9. Yakhnenko M. S., Gushchin S. V., Polonskiy A. P. *Materialy konf. "Problemy zemnoy tsivilizatsii"* [Proceedings of the conf. "Problems of world civilization"]. Irkutsk, 2008, no. 21, p. 196–199. (In Russ.)
- 10. Yakhnenko M. S., Pykhalov A. A. *Materialy konf.* "*Problemy zemnoy tsivilizatsii*" [Proceedings of the conf.

- "Problems of world civilization"]. Irkutsk, 2008, no. 21, p. 258–259. (In Russ.)
- 11. Yakhnenko M. S., Pykhalov A. A. *Materialy 15 mezhdunar. simp. "Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktsiy i sploshnykh sred" im. A.G. Gorshkova* [Proc. of the 15th international Symposium. "Dynamic and technological problems of mechanics of structures and continuum them. A. G. Gorshkov"]. Moscow, MAI Publ., 2009, Vol. 1, p. 167–168. (In Russ.)
- 12. Yakhnenko M. S., Pykhalov A. A. *Materialy 13 mezhdunar. nauch. konf., posvyashchennoy 50-letiyu Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta* [Materials of the 13th international scientific conference, dedicated to the 50th anniversary of the Siberian state aerospace University]. Krasnoyarsk, 2009, p. 46–47. (In Russ.)
- 13. Yakhnenko M. S., Pykhalov A. A., Stolerman A. I. *Materialy pervoy nauch.-praktich. konf. molodykh uchenykh i spetsialistov "Issledovaniya i perspektivnye razrabotki v mashinostroenii"* [Proceedings of the first scientific-practical Conference young scientists and specialists "Research and advanced development in mechanical engineering"]. Komsomol'sk-na-Amure, 2010, p. 86–89. (In Russ.)
- 14. Yakhnenko M. S., Pykhalov A. A. *Materialy 16 mezhdunar. simp. "Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktsiy i sploshnykh sred" im. A. G. Gorshkova* [Materials of the 16th international Symposium. "Dynamic and technological problems of mechanics of structures and continuum them. A. G. Gorshkov"]. Moscow, MAI Publ., 2010, Vol. 1, p. 143–145. (In Russ.)
- 15. Yakhnenko M. S., Pykhalov A. A. *Materialy 17 mezhdunar. simp. "Dinamicheskie i tekhnoloicheskie problemy mekhaniki konstruktsiy i sploshnykh sred" im. A. G. Gorshkova* [Materials of the 17th international Symposium. "Dynamic and technological problems of mechanics of structures and continuum them. A. G. Gorshkov"]. Moscow, MAI Publ., 2011, p. 163–164. (In Russ.)

© Бобарика И. О., Яхненко М. С., 2014

УДК 519.248

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРОВЕДЕНИЕМ АВАРИЙНЫХ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ВОССТАНОВЛЕНИЙ

И. И. Вайнштейн¹, Г. Е. Михальченко¹, Ю. В. Вайнштейн¹, К. В. Сафонов²

¹Институт космических и информационных технологий Сибирского федерального университета Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, кор. УЛК E-mail: ikit.sfu-kras.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: safonovkv@rambler.ru

Рассмотрена стратегия эксплуатации технических систем с несовпадающими функциями распределения наработок элементов до отказа после аварийных и профилактических восстановлений, которая обобщает известную в математической теории надежности стратегию строго периодических восстановлений. Получены

формулы коэффициента готовности и интенсивности затрат. По критериям минимума интенсивности затрат или максимума коэффициента готовности решена задача о выборе стратегии эксплуатации из рассмотренных в работе стратегии с проведением профилактических восстановлений и стратегии с проведением только аварийных восстановлений при экспоненциальных законах распределения наработок.

Ключевые слова: стратегия восстановления, интенсивность затрат, коэффициент готовности.

THE OPTIMIZATION OF STRATEGIES FOR THE OPERATION OF TECHNICAL SYSTEMS WITH THE PERFORMANCE OF EMERGENCY AND PREVENTIVE RESTORATIONS

I. I. Vainshtein¹, G. E. Mihalchenko¹, J. V. Vainshtein¹, K. V. Safonov²

¹Institute of space and information technologies of Siberian Federal University 26, Kirenskogo str., ULK building, Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation E-mail: ikit.sfu-kras.ru

² Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: aaa@sibsau.ru

The strategy of technical system operation with mismatched time distribution function elements on the developments for the rejection after emergency and preventive restorations are considered. This strategy generalizes the strategy of strictly periodic restorations which is known in the mathematical theory of reliability. The formula of availability and cost intensity is obtained. By criterion of a minimum of costs intensity or a maximum of an availability, the problem of the choice of operation strategy from considered strategies are determined. There is a strategy with carrying out of preventive restorations and strategy with carrying out of emergency restorations for exponential laws of distribution practices.

Keywords: restoration strategy, the intensity of cost, availability factor.

Одной из возможностей обеспечения необходимых показателей надежности и эффективности работы технических систем является выбор оптимальной стратегии эксплуатации. В стратегиях эксплуатации будем рассматривать два типа восстановлений: аварийные, когда система восстанавливается после каждого случайного отказа, и профилактические, когда система восстанавливается в определенные моменты времени (не совпадающие с моментами отказов).

Рассмотрим две стратегии эксплуатации: стратегия C_a — проводятся только аварийные восстановления, а стратегия C_0 (стратегия строго периодических восстановлений) — в случае отказа системы проводится аварийное восстановление, если же система проработала без отказа заданный интервал времени τ , то проводится профилактическое восстановление. В качестве критериев оптимальности стратегий будем рассматривать минимум интенсивности затрат на восстановления (средние затраты на восстановления в единицу времени) или максимум коэффициента готовности (вероятность того, что система работает в произвольно взятый момент времени).

Постановка задачи: обосновать выбор оптимальной по этим критериям стратегии из стратегий C_a и C_0 , а также найти оптимальное время проведения профилактических восстановлений.

Пусть $F_a(t)$ и $F_p(t)$ — функции распределений наработок до отказа после каждого аварийного и профилактического восстановления соответственно. В начальный момент времени наработка элемента до отказа имеет распределение $F_a(t)$. Время восстановления не учитывается. На рис. 1 представлен пример реализации такого процесса восстановления, где τ , X_1 , X_1 + τ , X_1 +2 τ , X_2 , X_3 ...— моменты восстановлений системы, ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 ...— случайные времена между двумя последовательными аварийными восстановлениями.

Пусть $R(\tau)$ – интенсивность затрат на восстановления, c_a и c_p – средние затраты на аварийное и профилактическое восстановление соответственно. Получим аналитическое представление $R(\tau)$.

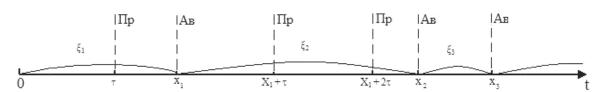


Рис. 1. Процесс восстановления с профилактиками

Время функционирования системы разобьем на стохастически эквивалентные относительно длины и затрат циклы $(c_i, \, \xi_i), \, i$ = 1, 2, 3..., где c_i – эксплуатационные затраты в i-м цикле, имеющем длину ξ_i . Если (C, ξ_τ) – случайная пара с таким же распределением, как и пары $(c_i, \, \xi_i)$, то интенсивность затрат для рассматриваемой стратегии имеет вид [1]

$$R(\tau) = \frac{E(C)}{E(\xi_{\tau})},\tag{1}$$

где E(X) — математическое ожидание случайной величины X. Распределение случайной величины C приведено в таблице, где c — возможные значения величины C, p — соответствующие вероятности, $\overline{F}(\tau) = 1 - F(\tau)$.

Распределение случайной величины C

C	p
c_a	$F_{a}\left(au ight)$
$c_a + c_p$	$\overline{F_a}(\tau)F_p(\tau)$
$c_a + 2c_p$	$\overline{F_a}(\tau)\overline{F_p}(\tau)F_p(\tau)$
$c_a + 3c_p$	$\overline{F_a}(\tau) \left(\overline{F_p}(\tau)\right)^2 F_p(\tau)$
•••	
$c_a + nc_p$	$\overline{F_a}(au) \left(\overline{F_p}(au)\right)^{n-1} F_p(au)$

Отсюда

$$E(C) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n p_n = c_a F_a(\tau) + \left(c_a + c_p\right) \overline{F_a}(\tau) F_p(\tau) + \left(c_a + 2c_p\right) \overline{F_a}(\tau) \overline{F_p}(\tau) F_p(\tau) + \cdots + \left(c_a + nc_p\right) \overline{F_a}(\tau) \left(\overline{F_p}(\tau)\right)^{n-1} F_p(\tau) + \cdots =$$

$$= c_a \left[F_a(\tau) + \overline{F_a}(\tau) F_p(\tau) + \overline{F_a}(\tau) \overline{F_p}(\tau) F_p(\tau) + \cdots + \overline{F_a}(\tau) \left(\overline{F_p}(\tau)\right)^{n-1} F_p(\tau) + \cdots \right] +$$

$$+ c_p \overline{F_a}(\tau) F_p(\tau) \left[1 + 2\overline{F_p}(\tau) + 3 \left(\overline{F_p}(\tau)\right)^2 + \cdots + n \left(\overline{F_p}(\tau)\right)^{n-1} + \cdots \right] =$$

$$= c_a \left[F_a(\tau) + \overline{F_a}(\tau) F_p(\tau) \sum_{n=1}^{\infty} \left(\overline{F_p}(\tau)\right)^{n-1} \right] + c_p \overline{F_a}(\tau) F_p(\tau) \sum_{n=1}^{\infty} n \left(\overline{F_p}(\tau)\right)^{n-1} =$$

$$= c_a \left[F_a(\tau) + \overline{F_a}(\tau) F_p(\tau) / F_p(\tau) \right] + \frac{c_p \overline{F_a}(\tau) F_p(\tau)}{\left(1 - \overline{F_p}(\tau)\right)^2} = \frac{c_a F_p(\tau) + c_p \overline{F_a}(\tau)}{F_p(\tau)}.$$

$$(1)$$

При выводе использованы формулы $\sum_{n=1}^{\infty}q^{n-1}=1/\left(1-q\right), \sum_{n=1}^{\infty}nq^{n-1}=1/\left(1-q\right)^2$ при $\left|q\right|<1$. Далее [2]:

$$F_{\xi_{\tau}}(t) = P(\xi_{\tau} < t) = 1 - \overline{F_{a}}(\tau), \qquad 0 \le t < \tau,$$

$$F_{\xi_{\tau}}(t) = P(\xi_{\tau} < t) = 1 - P(\xi_{\tau} \ge t) = 1 - \overline{F_{a}}(\tau)\overline{F_{a}}(t - \tau), \qquad \tau \le t < 2\tau,$$

$$F_{\xi_{\tau}}(t) = P(\xi_{\tau} < t) = 1 - P(\xi_{\tau} \ge t) = 1 - \overline{F_{a}}(\tau)\overline{F_{p}}(\tau)\overline{F_{p}}(\tau - 2\tau), \qquad 2\tau \le t < 3\tau,$$

$$\cdots$$

$$F_{\xi_{\tau}}(t) = P(\xi_{\tau} < t) = 1 - \overline{F_{a}}(\tau)\left(\overline{F_{p}}(\tau)\right)^{n-1}\overline{F_{p}}(t - n\tau), \qquad n\tau \le t < (n+1)\tau,$$

$$E(\xi_{\tau}) = \int_{0}^{\infty} \overline{F_{\xi_{\tau}}}(t)dt = \int_{0}^{\tau} \overline{F_{a}}(t)dt + \sum_{n=1}^{\infty} \overline{F_{a}}(\tau)\left(\overline{F_{p}}(\tau)\right)^{n-1} \int_{n\tau}^{(n+1)\tau} \overline{F_{p}}(t - n\tau)dt =$$

$$= \int_{0}^{\tau} \overline{F_{a}}(t)dt + \overline{F_{a}}(\tau)\int_{0}^{\tau} \overline{F_{p}}(t)dt \int_{n=1}^{\infty} (\overline{F_{p}}(\tau))^{n-1} = \frac{F_{p}(\tau)\int_{0}^{\tau} \overline{F_{a}}(t)dt + \overline{F_{a}}(\tau)\int_{0}^{\tau} \overline{F_{p}}(t)dt}{F_{p}(\tau)}.$$

Из (1) получаем выражение функции интенсивности затрат:

$$R(\tau) = \frac{c_a F_p(\tau) + c_p \overline{F_a}(\tau)}{F_p(\tau) \int_0^{\tau} \overline{F_a}(t) dt + \overline{F_a}(\tau) \int_0^{\tau} \overline{F_a}(t) dt}.$$
 (3)

Если $F_a(t) = F_p(t) = F(t)$, формула (3) совпадает с известной формулой для интенсивности затрат стратегии строго периодических восстановлений [1; 3]:

$$R(\tau) = \frac{c_a F(\tau) + c_p \overline{F}(\tau)}{\int_0^{\tau} \overline{F}(t) dt}.$$

Рассмотрим поведение функции $R(\tau)$ при $\tau \to 0$ и $\tau \to \infty$. Так как $F_p(0) = 0$, $\overline{F_a}(0) = 1$ и знаменатель дроби в (3) стремится к нулю при $\tau \to 0$, то

$$\lim_{\tau \to 0} R(\tau) = \infty. \tag{4}$$

Учитывая, что
$$\int\limits_0^\infty \overline{F_a}\left(t\right)dt = \mu_a, \int\limits_0^\infty \overline{F_p}\left(t\right)dt = \mu_p,$$
 где

 μ_a и μ_p — средние наработки системы до отказа после аварийных и профилактических восстановлений соответственно, получаем

$$\lim_{\tau \to \infty} R(\tau) = c_a / \mu_a \,. \tag{5}$$

Полученное значение $R_a = \frac{c_a}{\mu_a}$ равно интенсивно-

сти затрат стратегии C_a только аварийных восстановлений (профилактические восстановления не проводятся).

Рассмотрим стратегию восстановления C_0 , в которой на аварийное восстановление требуется время d_a , а на профилактическое восстановление – d_p соответственно. Сопоставив каждому интервалу ξ_i (случайное время между двумя последовательными аварийными восстановлениями) случайную величину y_i – суммарное время, потраченное за этот период на восстановления системы, получим так называемый альтернирующий процесс восстановления (ξ_i, y_i) . Распределения компонент этих пар совпадают с распределениями пары (ξ_{τ}, Y_{τ}) , где функция распределения случайной величины ξ_{τ} приведена в (2), а распределение случайной величины Y_{τ} совпадает с распределением случайной величины C (см. таблицу), если в последнем c_a и c_p заменить на d_a и d_p соответственно. Из формулы коэффициента готовности [1] для альтернирующего процесса восстановления имеем

$$K(\tau) = \frac{E(\xi_{\tau})}{E(Y_{\tau}) + E(\xi_{\tau})},$$

или

$$K(\tau) = \frac{1}{E(Y_{\tau})/E(\xi_{\tau})+1} = \frac{1}{R_{1}(\tau)+1},$$
 (6)

где $R_1(\tau)$ совпадает с функцией интенсивности затрат, если в ней c_a и c_p заменить на d_a и d_p соответственно. Из (6) следует, что максимум коэффициента готовности достигается в точке минимума функции $R_1(\tau)$.

Рассмотрим случай, когда наработки после аварийных и профилактических восстановлений распределены по экспоненциальным законам:

$$F_a(t) = 1 - e^{-at}, F_p(t) = 1 - e^{-pt}, a, p > 0.$$

В этом случае

$$\int_{0}^{\tau} \overline{F_{a}}(t) dt = \frac{1}{a} F_{a}(\tau), \int_{0}^{\tau} \overline{F_{p}}(t) dt = \frac{1}{p} F_{p}(\tau),$$

$$F_{p}'(\tau) = p \overline{F_{p}}(\tau), F_{a}'(\tau) = a \overline{F_{a}}(\tau), \overline{F_{a}}(\tau) = -a \overline{F_{a}}(\tau),$$

$$R(\tau) = a p c_{a} \frac{F_{p}(\tau) + c \overline{F_{a}}(\tau)}{F_{p}(\tau) \left(p F_{a}(\tau) + a \overline{F_{a}}(\tau)\right)},$$

$$R'(\tau) = a p c_{a} \frac{\overline{F_{a}}(\tau) y(\tau)}{\left(F_{p}(\tau)\right)^{2} \left(p F_{a}(\tau) + a \overline{F_{a}}(\tau)\right)^{2}},$$

где

$$y(\tau) = -capF_p(\tau) + (a^2 - ap)F_p^2(\tau) -$$

$$-cp^2\overline{F_p}(\tau)F_a(\tau) - acp\overline{F_p}(\tau)\overline{F_a}(\tau), c = c_p/c_a.$$

Заметим, что знак производной $R'(\tau)$ при $\tau>0$ совпадает со знаком $y(\tau)$. Имеем $\lim_{\tau\to 0}y(\tau)=-acp<0$, $\lim_{\tau\to\infty}y(\tau)=\left(-cp+a-p\right)a$.

Пусть выполнено неравенство -cp + a - p > 0, или равносильное ему неравенство

$$k < \frac{1}{1+c},\tag{7}$$

где k=p/a . Тогда $y(\tau)$ и вместе с ней $R'(\tau)$ больше нуля, начиная с некоторого $\tau_0>0$. Принимая во внимание равенство (5), заключаем, что прямая с уравнением $R_a=c_a/\mu_a$ является горизонтальной асимптотой графика функции и $R(\tau)< c_a/\mu_a$ при $\tau>\tau_0$. Из (4) и вышесказанного следует, что существует значение τ^* $0<\tau^*<\tau_0$, при котором функция $R(\tau)$ принимает наименьшее значение, причем $R(\tau^*)< R_a$.

Таким образом, при выполнении неравенства (7) для стратегии C_0 имеется оптимальное время проведения профилактик, при котором интенсивность затрат меньше интенсивности затрат стратегии C_a только аварийных восстановлений.

Из равенства (6) следует, что при выполнении неравенства

$$k < \frac{1}{1+d},\tag{8}$$

аналогичного неравенству (7), где $d = d_p/d_a$ при значении τ^* , дающего минимум функции $R_1(\tau)$, достигается максимум функции $K(\tau)$ – коэффициента готовности.

При $F_a(t) = F_p(t)$ (k=1) $R'(\tau) < 0$ на промежутке $(0, \infty)$, функция $R(\tau)$ монотонно убывает и $R(\tau) > R_a$. Следовательно, в этом случае профилактики проводить нецелесообразно, оптимальна стратегия только аварийных восстановлений.

Отметим, что на рис. 2 и 3 приведены графики функции $R(\tau)$ при выполнении неравенства (7) $(k=0,4,\,c=0,3)$ и при его невыполнении $(k=2,\,c=0,3)$. В первом случае оптимальна стратегия с проведением профилактических восстановлений при $\tau^*=0,489$.

Кроме того, на рис. 4 и 5 приведены графики функции $K(\tau)$ при выполнении неравенства (8) $(k=0,2,\,d=0,3,\,\tau^*=0,225)$ и при его невыполнении $(k=2,\,d=0,3)$.

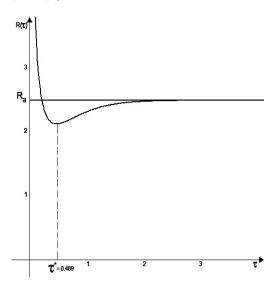


Рис. 2. График функции интенсивности затрат при $k=0,4,\ c=0,3$

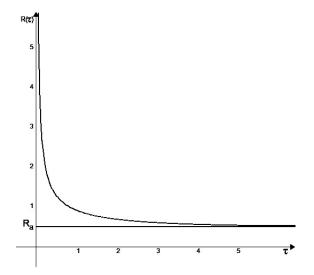


Рис. 3. График функции интенсивности затрат при k = 2, c = 0,3

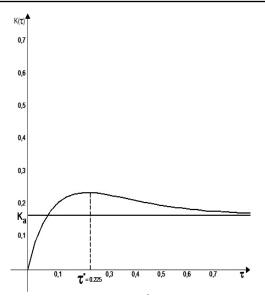


Рис. 4. График коэффициента готовности при $k=0,2,\ d=0,3$

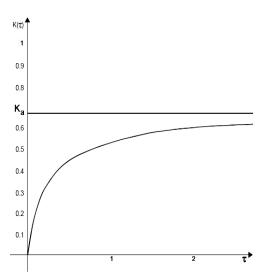


Рис. 5. График коэффициента готовности при k = 2, d = 0,3

Выводы, которые следует сделать на основании изложенного, следующие. В реальных условиях эксплуатации $F_a(t) \neq F_p(t)$, и потому для выбора оптимальной стратегии восстановления, наряду с другими стратегиями, следует рассматривать введенную в работе стратегию C_0 . Полученное соотношение между стоимостями восстановлений и средними наработками до отказа (7) дает возможность выбора оптимальной стратегии из стратегий C_0 и C_a .

Библиографические ссылки

1. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход : пер. с нем. М. : Радио и связь, 1988. 392 с.

- 2. Вайнштейн В. И. Математическое и программное обеспечение оптимизации проведения профилактических восстановлений при эксплуатации электронно-вычислительных систем: дис. ... канд. физ.мат. наук. Красноярск. 2006. 149 с.
- 3. Сугак Е. В. [и др.] Надежность технических систем. Красноярск : М ГП «РАСКО», 2001. 608 с.

References

1. Beichelt F., Franken P. *Nadezhnost' i tekhnicheskoye obsluzhivaniye. Matematicheskiy podkhod* [Reliability and Maintenance. Mathematical Approach]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1988, 392 p.

- 2. Vainshtein V. I. Matematicheskoye i programmnoye obespecheniye optimizatsii provedeniya profilakticheskikh vosstanovleniy pri ekspluatatsii elektronno-vychislitel'nykh sistem. Diss. kand. fiz.-mat. nauk [Mathematical and software providing of optimization of carrying out of preventive restorations at operation of electronic computing systems. Diss. on competition of a scientific degree of the candidate of phys. and math. sci.]. Krasnoyarsk, 2006, 149 p.
- 3. Sugak E. V. et al. *Nadezhnost' tehnicheskih* sistem [Reliability of technical systems]. Krasnoyarsk, RASKO Publ., 2001, 608 p.

© Вайнштейн И. И., Михальченко Г. Е., Вайнштейн Ю. В., Сафонов К. В., 2014

УДК 520.2

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РИЧИ–КРЕТЬЕНА В КАЧЕСТВЕ ОБЗОРНОГО ШИРОКОУГОЛЬНОГО ТЕЛЕСКОПА

С. А. Веселков, М. В. Земцова, М. А. Шилова

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: pulsar1963@yandex.ru, soffits.tel@gmail.com, viruskay@rambler.ru.

C помощью специальной оптимизирующей программы $CODE\ V$ была численно исследована возможность использования апланатического телескопа системы Pичи-Kретьена B качестве широкоугольного обзорного. B Рассмотрены различные варианты B сиспользованием линзового корректора поля, установленного B сходящемся пучке вблизи фокальной поверхности, а также исследован вариант B0 применением асферики B1 го порядка для зеркал B1 и линзового корректора системы. Относительное отверстие оптических систем доведено до B2 B3 B4. Приведены конструктивные параметры и графики качества изображения B3 возможности их применения B3 исследовании космического пространства, а также критерии качества оптических систем и эффективности обзорных телескопов.

Ключевые слова: оптическая система, аберрационный расчет, астрономические наблюдения.

OPTICAL SYSTEM RITCHEY-CHRETIEN AS PANORAMIC WIDEFIELD TELESCOPE

S. A. Veselkov, M. V. Zemtsova, M. A. Shilova

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: pulsar1963@yandex.ru, soffits.tel@gmail.com, viruskay@rambler.ru

With the help of CODE V specialized software suite, we numerically evaluated the possibility of utilizing the aplanatic Ritchey-Chretien system in the wide-field telescope construction. Different variants of using the lens corrector field installed in a converging beam near the focal surface, as well as to explore options with the use of aspheric 6th and 8th order for mirrors and lens corrector system are considered. Relative aperture optical systems have been brought to f = 1:4. The subject of this article is the representation of the design parameters and imaging quality graphs for two systems. Moreover speculations regarding the possibility of application of the aforementioned systems in space exploration and the criteria of optical systems quality and effectiveness of the telescopes are presented.

Keywords: optical system, aberration calculation, astronomical observations.

Телескопы с большим полем зрения нужны для изучения космологической эволюции активных галактик, построения шкалы межгалактических расстояний с помощью переменных и сверхновых звезд, поисков гравитационных линз и черных дыр, исследования преходящих событий в галактиках, в частности, у-всплесков, обнаружения астероидов, а также многих других астрономических задач. В последние годы к ним добавился ряд проблем, возникших в ходе околоземной деятельности человечества. Для решения этих задач планируется обновление информации обо всех небесных объектах ярче $\sim 24^m$ за время порядка одной недели. Реализация программы предусматривает создание сети телескопов с полем зрения $2^\circ-3^\circ$ и эффективным диаметром вплоть до 6,5 м [1].

Широкоугольные телескопы небольшого диаметра (0,4–0,8 м) также могут быть с успехом использованы при наблюдениях космического мусора как техногенного, так и естественного происхождения [2]. В обсерватории СибГАУ подобные телескопы с успехом применяются для поиска новых переменных звезд [3].

Разработка широкоугольных оптических систем признана сейчас приоритетным направлением в экспериментальной астрономии [1]. Широкоугольными телескопами принято считать телескопы, обеспечивающие качество изображений не хуже одной угловой секунды (1") в пределах поля зрения не менее одного углового градуса: $2w > 1^{\circ}$. При наземных наблюдениях атмосфера случайным образом искажает приходящие от объектов световые волны, а оптика телескопа зачастую несовершенна - обладает аберрациями. Ухудшаются изображения и при центральном экранировании света, характерном для рефлекторов. При описании качества изображений в реальных условиях удобно использовать параметр Δ_{80} – диаметр круга, в пределах которого содержится 80 % светового потока от звезды, будем называть его пятном рассеяния звезды. Будем считать, что если при расчете телескопа нам удастся «уложить» 80 % падающих на входной зрачок лучей в кружок диаметром около одной угловой секунды ($\Delta_{80} < 1$ "), то данная оптическая система обладает высоким качеством изображения [1].

Одними из первых широкоугольных телескопов можно считать апланатические (где исправлены сферическая аберрация и кома) оптические системы Ричи-Кретьена, которые были предложены французским оптиком Кретьеном в 1922 году. Системы Ричи-Кретьена [4] стали очень популярны во второй половине XX века и применялись для всех телескопов, начиная с диаметра 1 м. В системе Ричи-Кретьена (RC) кома уменьшается путем замены параболоидального главного зеркала гиперболоидом, так что оба зеркала становятся однотипными коническими сечениями (рис. 1). Апланат Грегори достигает той же цели путем замены главного зеркала эллипсоидом, здесь оба зеркала - тоже конические сечения одного типа. Вследствие сферической аберрации главные зеркала апланатов не дают хороших изображений даже на оси; нужное качество изображений достигается компенсацией аберраций главного и вторичного зеркал. Поле зрения наземных апланатов, определяемое условием $\Delta_{80} < 1$ ", обычно составляет около 20', что примерно вдвое больше размеров поля классических телескопов (системы Ньютона и Кассегрена), однако еще недостаточно велико, чтобы телескоп можно было отнести к широкоугольным системам в принятом нами смысле.

Все современные телескопы являются в настоящее время зеркально-линзовыми. Это, например, необходимо для увеличения поля зрения телескопа, но чревато появлением хроматических аберраций, которые, впрочем, можно удерживать в разумных пределах.

За прошедшие 90 лет оптиками было предложено много различных широкоугольных оптических систем – камера Шмидта, система Корша, Шварцшильда, менисковые системы Максутова и др.

Авторы решили рассмотреть систему Ричи-Кретьена в качестве широкоугольного телескопа. Были рассчитаны несколько десятков различных вариантов светосильных (относительное отверстие 1/4-1/5) и широкоугольных оптических систем RC-WF (Widefield), которые численно исследовались с помоспециальной оптимизирующей программы CODE V. Один из вариантов представлен на рис. 1 и табл. 1, где r – радиус кривизны оптической поверхности по ходу луча; d – толщина линзы или расстояние между оптическими элементами. В последней графе приведен материал линз. Расстояние от последней поверхности объектива до фокальной плоскости q приведено в последней строке второй графы табл. 1.

Таблица 1 Конструктивные данные для оптической системы Ричи–Кретьена диаметром 1 м, f/4.1 с трехлинзовым корректором поля

r, mm	d, mm	Материал	Режим
-3553,1430	-1041,3553	Воздух	Отражение
-2657,0883	1000,0000	Воздух	Отражение
1183,8825	32,0000	K8	Преломление
-5936,0821	78,8516	Воздух	Преломление
744,9217	18,7500	K8	Преломление
297,6207	188,7146	Воздух	Преломление
270,4193	25,0000	K8	Преломление
316,3438	325,2442	Воздух	Преломление

Главное зеркало оптической системы имеет диаметр 1 м, относительное отверстие f/4.1, поле изображения $2\omega=3^\circ$. Спектральный диапазон $\lambda=486-656$ нм. Система удовлетворяет условию $\Delta_{80}<1"$ при масштабе 1"=20 мкм в линейной мере. Рассчитанная RC–WF-система собирает более 80% энергии в кружок диаметром 10 мкм или 100% в кружок диаметром 20 мкм. График концентрации световой энергии в пятне рассеяния в фокальной плоскости представлен на рис. 2.

Главное и вторичное зеркала, а также первая поверхность первой линзы корректора имеют гиперболическую форму с эксцентриситетами $e_1^2=1,3109,$ $e_2^2=10,5394$ и $e_3^2=6,1181$ соответственно. Остальные поверхности линз сферические. На рис. 3 приведены точечные диаграммы пятен рассеяния для различных углов поля зрения.

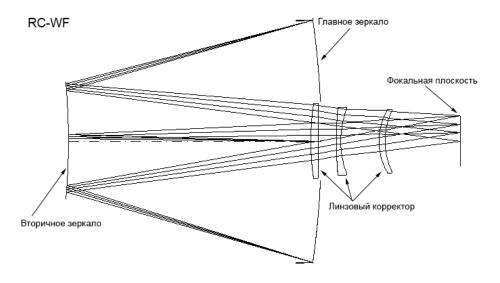


Рис. 1. Оптическая схема широкоугольного телескопа системы Ричи–Кретьена с трехлинзовым корректором поля

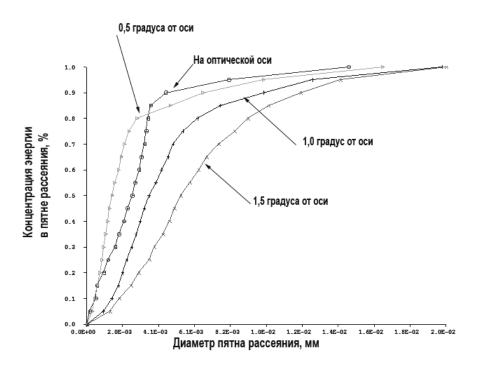


Рис. 2. Графики концентрации световой энергии в пятне рассеяния в фокальной плоскости Ричи–Кретьена диаметром 1 м и f/4.1

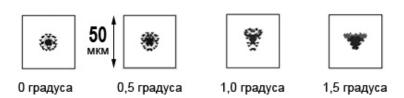


Рис. 3. Среднеквадратичный размер пятен рассеяния в фокальной плоскости системы Ричи–Кретьена (диаметр 1 м, относительное отверстие f/4.1, сторона квадрата имеет размер 50 мкм)

Аберрации в системе исправлены достаточно хорошо. Дисторсия составляет 0,66 %. Таким образом, оптическая система Ричи–Кретьена с зеркалами в виде конических сечений, может использоваться в качестве широкоугольного и достаточно светосильного телескопа, до диаметра примерно 1,5 м. Необходимо подчеркнуть, что оптимизацию оптической системы нужно проводить совместно с линзовым корректором, а значит, в чисто зеркальном варианте система работать не сможет.

Дальнейшее улучшение качества изображения и увеличение апертуры связано с введением асферики высших порядков как для зеркал, так и для линз корректора телескопа. Так, например, поступили при проектировании телескопов сети Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System). Оба его зеркала — гиперболоиды с полиномиальными асфериками 6-го порядка, причем эксцентриситет вторичного зеркала очень велик: $e^2 = 18,3$; некоторые поверхности трехлинзового корректора тоже асферичны [1].

Сложность оптических схем затрудняет изготовление и эксплуатацию телескопов с кассегреновским корректором, что существенно сказывается на их стоимости. Однако все это окупается востребованностью широкоугольных систем. В табл. 2 приведены конструктивные параметры системы с введением асферики высших порядков (полиномиальные коэф-

фициенты до 8-го порядка) для зеркал и двух поверхностей (полиномиальные коэффициенты до 6-го порядка) линз корректора. Диаметр апертуры и относительное отверстие оставлены практически без изменений.

Оптическая система имеет фокусное расстояние F=3975,86 мм и $f/3.976, 2\omega=3^\circ$. Все линзы из одного материала — стекло К8. Спектральный диапазон, для которого рассчитывалась система, $\lambda=486-656$ нм. В основе поверхностей 1, 2, 3, и 5 лежат конические сечения с эксцентриситетами $e_1^2=1,0969, e_2^2=9,2928,$ $e_3^2=0,3174$ и $e_5^2=14,6623$ соответственно и соответствующими полиномиальными асфериками у зеркал 8-го порядка, у линз — 6-го. Это позволило улучшить качество изображения (рис. 4 и 5).

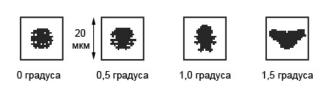


Рис. 4. Среднеквадратичный размер пятен рассеяния в фокальной плоскости системы Ричи–Кретьена с асферикой (диаметр 1 м, относительное отверстие f/3.97, сторона квадрата имеет размер 20 мкм)

Таблица 2 Конструктивные данные для оптической системы Ричи-Кретьена диаметром 1 м, f/4,0 с трехлинзовым корректором поля

Тип поверхности	r, mm	d, mm	Материал	Режим
Асферика	-3548,1686	-1043,3441	Воздух	Отражение
Асферика	-2679,9851	1000,0000	Воздух	Отражение
Асферика	1029,2142	32,0000	K8	Преломление
Сфера	47909,0000	73,3309	Воздух	Преломление
Асферика	1251,5115	18,7500	K8	Преломление
Сфера	377,9450	158,3334	Воздух	Преломление
Сфера	262,1200	25,0000	K8	Преломление
Сфера	297.0987	310.1168	Воздух	Преломление

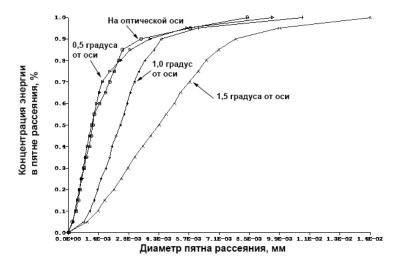


Рис. 5. Графики концентрации световой энергии в пятне рассеяния в фокальной плоскости Ричи–Кретьена с асферикой диаметром 1 м и f/3.97

Диск Эри в нашей системе имеет диаметр $\Delta = 2,44 \ \lambda / A = 2,44 \cdot 0,582 \cdot 3,97 = 5,7 \ мкм,$ или в угловой мере $\Delta'' = \lambda / 2D = 0,29''$, где λ — длина волны света; A — относительное отверстие системы; D — диаметр апертуры.

На рис. 5 видно, что 100 % световой энергии собирается в кружке 14 мкм, а более 80 % – в кружке менее 7 мкм. Вполне допустимо увеличить диаметр этой системы в два раза (масштабировать ее), соответственно, умножить все диаметры, толщины и расстояния между элементами на два. Естественно, в два раза увеличатся и пятна рассеяния в фокальной плоскости, но даже в этом случае система будет удовлетворять условию $\Delta_{80} < 1$ ", так как более 80 % энергии будет попадать в кружок 14 мкм, а 1" = 19 мкм.

Чтобы можно было сравнивать телескопы, существует понятие эффективности обзорных телескопов. Объем пространства, изучаемый телескопом в течение одной экспозиции, пропорционален произведению телесного угла $\Omega = \pi \omega^2$, охватывающего поле зрения, и эффективной площади апертуры $S = \pi D_e^2/4$, где D_e – эффективный диаметр телескопа, учитывающий центральное экранирование света. Параметр $E = S \cdot \Omega$ называют эффективностью или производительностью обзорного телескопа [1]. Примем центральное экранирование равным 0,5. Тогда $E = 4,16 \text{ м}^2\text{гр}^2$ для телескопа диаметром 1 м и $E = 16,63 \text{ м}^2 \text{гр}^2$ для двухметрового инструмента. В качестве примера рассмотрим RC-телескоп, считавшийся во второй половине истекшего века широкоугольным в классе больших рефлекторов. Пусть его диаметр D = 4 м, как у известных рефлекторов им. Мэйолла (N. U. Mayall, Kitt Peak National Observatory) и Бланко (V. Blanco, Cerro Tololo Inter-American Observatory), а диаметр поля зрения 2w = 20'. Полагая центральное экранирование равное 0,30, мы приходим к значению $E \sim 1.0 \text{ м}^2\text{гр}^2$, которое легко запомнить в качестве референтного.

Таким образом, рассчитанные авторами телескопы могут заменить 4 или даже 16 четырехметровых телескопов предыдущего поколения [5].

Библиографические ссылки

- 1. Теребиж В. Ю. Современные оптические телескопы. М.: Физматлит. 2005. 80 с.
- 2. Шустов Б. М., Рыхлова Л. В. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра. М. : Физматлит. 2010.402 с.
- 3. Veselkov S. A., Lapukhin E. G. New UV-type Variable Star in Lacerta // Peremennye Zvezdy, Prilozhenie. 2012. Vol. 12, № 3. [Электронный ресурс]. URL: http://www.astronet.ru/db/varstars/msg/1254808.
- 4. Веселков С. А. Оптическая система высокого разрешения для получения снимков Земли из космоса // Вестник СибГАУ. 2009. № 3 (24). С. 49–52.
- 5. Веселков С. А. [и др.] Перспективные телескопы для проекта загородной астрономической обсерватории СибГАУ // Вестник СибГАУ. 2011. № 1 (34). С. 88–91.

References

- 1. Terebizh V. Y. *Sovremennye opticheskie teleskopy* [Modern optical telescopes]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2005, 80 p.
- 2. Shustov B. M., Ryhlova L. V. *Asteroidno-kometnaja opasnost': vchera, segodnja, zavtra* [Asteroid and Comet Hazard: yesterday, today and tomorrow]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2010, 402 p.
- 3. Veselkov S. A., Lapukhin E. G. *Peremennye Zvezdy, Prilozhenie*. 2012, Vol. 12, no. 3. (In Russ.) Available at: http://www.astronet.ru/db/varstars/msg/1254808.
- 4. Veselkov S. A. [The optical system for high-resolution images of the Earth]. *Vestnik SibGAU*, 2009, vol. 24, no. 3, p. 49–52. (In Russ.)
- 5. Veselkov S. A., Lapukhin E. G., Mihailichenko A. G., Fomin D. A., Bagenov P. A. [Prospective telescopes for astronomical observatory project countryside SibSAU]. *Vestnik SibGAU*, 2011, vol. 34, no. 1, p. 88–91. (In Russ.)

© Веселков С. А., Земцова М. В., Шилова М. А., 2014

УДК 62-506.1

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ

О. А. Иконников

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: ik ol@mail.ru

Рассматривается задача идентификации линейных динамических систем (ЛДС) в условиях непараметрической неопределенности, т. е. исследуется случай, когда априорная информация об объекте незначительна. Сконструированы непараметрические алгоритмы моделирования с применением стохастической аппроксимации кривой регрессии. Представлены результаты непараметрического моделирования линейных динамических процессов высоких порядков. Показано качество работы построенных моделей. Исследован метод, позволяющий математически получить выборочные совокупности, на основе которых можно сформировать устойчивые динамические процессы высоких порядков.

Ключевые слова: идентификация, непараметрическое моделирование, динамический объект, интеграл Дюамеля, переходная функция.

TO NONPARAMETRIC MODELLING OF LINEAR DYNAMIC PROCESSES OF HIGH ORDER

O. A. Ikonnikov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: ik ol@mail.ru

The linear dynamic systems (LDS) identification problem in conditions of nonparametric uncertainty is considered, i. e. the case, when the object priori information either insignificant or completely absent is researched. The nonparametric modeling algorithms based on Duhamel (convolution) integral with stochastic approximation of curve of regression are constructed. This paper contains the results of nonparametric modeling of linear dynamic processes of high orders. The quality of constructed models work is registered. The method permissive to generate mathematically stable linear dynamic object of high order is offered.

Keywords: identification, nonparametric modeling, dynamic object, Duhamel integral, transition function.

В последнее время достаточно высокий уровень развития информационных технологий подразумевает под собой практическую разработку и исследование новых или недостаточно хорошо изученных на сегодняшний день задач в сфере управления, идентификации, а также моделирования различных динамических процессов.

Первым этапом в общем комплексе работ по математическому моделированию является идентификация изучаемого объекта, т. е. построение его математической модели. Под идентификацией будем понимать построение математической модели, устанавливающей закономерность между выходными и входными переменными объекта, которая дает возможность определить с заданной точностью выходную переменную этого объекта по его входным переменным. Основой для создания модели данного объекта служат результаты измерений его входных и выходных переменных. При этом важно лишь то, что измерения входных и выходных сигналов производятся синхронно, т. е. в одинаковые моменты времени.

В общем случае построение модели для конкретного объекта требует по результатам измерений входного и выходного сигналов отнесения данного объекта к определенному классу. При этом будем исходить из статистической постановки задачи идентификации, считая, что возмущение (входная переменная) u(t) и реакция (выходная переменная) x(t) представляют собой случайные функции или случайные величины.

Если динамические характеристики объекта описываются оператором A, то при наличии результатов измерений входной и выходной случайных функций (переменных) задача идентификации сводится к определению некой оценки \widetilde{A} оператора A. Естественно требовать близости оценки \widetilde{A} к истинному значению оператора A, что равносильно требованию близости случайной функции на выходе модели [1]

$$\tilde{x}(t) = \tilde{A}u(t) \tag{1}$$

к случайной функции x(t), являющейся реакцией самой системы на входное возмущение u(t).

Самым распространенным критерием в задачах идентификации является критерий минимума квадрата ошибки оценки оператора A. Этот критерий выглядит следующим образом [1]:

$$w = \sum_{i=1}^{s} (x(t_i) - \tilde{x}(t_i))^2 \to \min,$$
 (2)

где s — объем выборки.

Непараметрическая теория, как известно, имеет такой уровень развития, который позволяет охватывать практически любые порядки исследуемых процессов. Несмотря на довольно большой объем вычислений, была предпринята попытка получить результаты по математическому моделированию динамических процессов, порядок которых достаточно высок, и выяснить, а действительно ли непараметрические модели могут удовлетворительно работать с такими процессами.

В теории регулирования для описания работы динамических систем, на входе которых наблюдаются сигналы произвольной формы, очень часто применяется интеграл Дюамеля (свертки):

$$x(t) = k(0)u(t) + \int_{0}^{t} k'(t - \tau)u(\tau)d\tau =$$

$$= k(0)u(t) + \int_{0}^{t} h(t - \tau)u(\tau)d\tau,$$
(3)

где k и h — переходная и весовая функции соответственно; u — входное динамическое воздействие на систему.

Математическая модель, построенная на основе этого интеграла с применением непараметрической аппроксимации кривой регрессии, имеет следующий вид [2]:

$$x_{s}(t) = k(0) \cdot u(t) + \frac{1}{s \cdot c_{s}} \cdot \sum_{i=1}^{s} \sum_{j=1}^{t/\Delta \tau} k_{i} \cdot H'(\frac{t - \tau_{i} - t_{i}}{c_{s}}) \cdot u(\tau_{i}) \Delta \tau.$$
 (4)

Пусть исследуемый линейный динамический процесс описывается дифференциальным уравнением следующего вида:

$$a_n \frac{d^n x(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 x(t) = u(t).$$
 (5)

Это уравнение связывает координаты выходного состояния объекта x(t) с входным воздействием u(t), и эта связь подчинена определенному дифференциальному закону. Для работы на ЭВМ выражение (5) представляется в дискретно-разностной форме, а результаты счета представляются в графическом виде. Получение выходных сигналов объекта происходит посредством измерения координаты x_t через определенные промежутки времени Δt , от величины которых зависит точность аппроксимации.

Проводились численные исследования линейных динамических процессов десятого, пятнадцатого, а также двадцатого порядков. Результаты проведенных численных исследований изображены на рис. 1, 2. Машинное время счета обозначено как Tc.

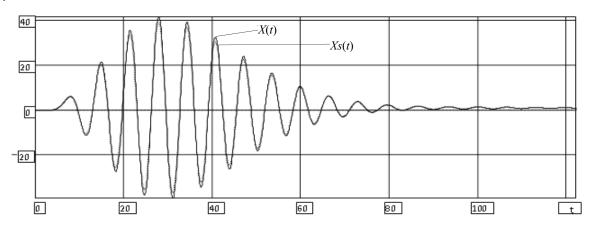


Рис. 1. Переходные функции объекта и модели ($\Delta t = 0.07$, s = 1750, n = 10, Tc = 23 мин)

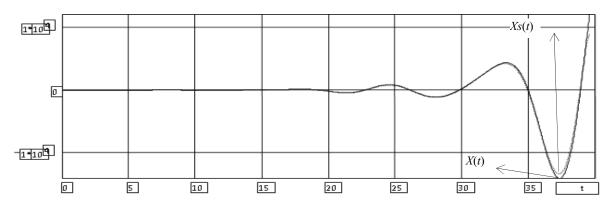


Рис. 2. Переходные функции объекта и модели ($\Delta t = 0.02$, s = 2000, n = 10, Tc = 29 мин)

Как можно видеть из рисунков, качество работы построенной непараметрической модели весьма удовлетворительно. В этом можно убедиться, посмотрев на поведение кривых, которые практически совпадают на графиках.

Однако несмотря на вполне корректные модельные результаты, нетрудно заметить, что при уменьшении интервала дискретизации процесс теряет свою устойчивость. Как выяснилось, метод дискретных разностей, который с успехом применяется для исследований процессов, порядок которых относительно невысок, является не совсем пригодным для работы с подобными задачами. Задача усложняется тем, что для исследования были взяты процессы, все корни характеристических уравнений которых были комплексными. Было предложено использовать другой численный метод, а именно, метод из серии (М, К) — методов типа Розенброкка. Для простоты и наглядности в качестве примера для пояснения метода ограничимся дифференциальным уравнением второго порядка.

Пусть объектом исследования выступает следующее дифференциальное уравнение:

$$a_2 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_0 x(t) = u(t).$$
 (6)

Составим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = y(t) \\ a_2 \frac{dy(t)}{dt} + a_1 y(t) + a_0 x(t) = u(t). \end{cases}$$
 (7)

Пусть $z_1 = x(t)$, тогда $z_2 = y(t)$, а систему (7) представим в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = z_2 \\ \frac{dz_2}{dt} = -\frac{a_1}{a_2} z_2 - \frac{a_0}{a_2} z_1 + \frac{u(t)}{a_2}. \end{cases}$$
 (8)

Примем $\frac{dz_n}{dt} = f(z_n)$, причем $z_n = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix}$, тогда

$$f(z_n) = \begin{pmatrix} z_2 \\ -\frac{a_1}{a_2} z_2 - \frac{a_0}{a_2} z_1 + \frac{u(t)}{a_2} \end{pmatrix}. \tag{9}$$

Запишем, собственно, сам алгоритм, который использует данный метод:

$$z^{n+1} = z^{n} + dk_1 + (1-d)k_2, (10)$$

где $d = 1 - \frac{\sqrt{2}}{2}$, k_1 и k_2 – векторы искомых значений, которые находятся из следующих равенств:

$$Dk_1 = hf(z_n), Dk_2 = k_1.$$
 (11)

При этом

$$D = E - d \cdot \Delta t \cdot \frac{\partial f(z_n)}{\partial z_n} , \qquad (12)$$

где E — единичная матрица, а матрица Якоби равна

$$\frac{\partial f(z_n)}{\partial z_n} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f(z_1)}{\partial z_1} & \frac{\partial f(z_1)}{\partial z_2} \\ \frac{\partial f(z_2)}{\partial z_1} & \frac{\partial f(z_2)}{\partial z_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{a_0}{a_2} & -\frac{a_1}{a_2} \end{pmatrix}.$$
(13)

Отсюда

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & d \cdot \Delta t \\ -\frac{a_0}{a_2} d \cdot \Delta t & -\frac{a_1}{a_2} d \cdot \Delta t \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & -d \cdot \Delta t \\ \frac{a_0}{a_2} d \cdot \Delta t & 1 + \frac{a_1}{a_2} d \cdot \Delta t \end{pmatrix}$$

$$(14)$$

После проведенных преобразований нетрудно отыскать векторы k_1 и k_2 , подставив которые в (10) становится возможным получение серии решений уравнения (6) в точке $t=t_0$.

Далее процедура, проведенная выше, повторяется, но при этом

$$t = t_1 = \Delta t + t_0. \tag{15}$$

Таким образом находится серия решений в точке $t=t_1$ и т. д., пока не закончится время, ограниченное объемом выборки и интервалом дискретизации.

Как видно из рисунков, хотя процедура получения истинных процессов высоких порядков в системе с применением численного метода дискретных разностей стала невозможной, мы можем наблюдать тот факт, что с увеличением порядка дифференциального уравнения, которым описывается реальный процесс в системе, существенно растут как объемы выборок, так и время регулирования процесса, что приводит к не менее существенному росту машинного времени Tc, затрачиваемого на реализацию математических расчетов.

Библиографические ссылки

- 1. Иконников О. А., Первушин В. Ф. Исследование непараметрических моделей динамических систем // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 1(47). С. 36–40.
- 2. Медведев А. В. Об идентификации линейных динамических систем // Алгоритмы и программы в системах обработки экспериментальных данных. Фрунзе: Илим, 1975. С. 14–26.

References

- 1. Ikonnikov O. A., Pervushin V. F. [The study of nonparametric models of dynamic systems]. *Vestnik Sib-GAU*, vol. 47, no. 1, 2013, p. 36–40. (In Russ.)
- 2. Medvedev A. V. [To identification of linear dynamic systems]. *Algoritmy i programmy v sistemakh obrabotki eksperimental nykh dannykh* [Algorithms and programs in experimental data processing systems]. Frunze, Ilim Publ., 1975, p. 14–26.

© Иконников О. А., 2014

УДК 658.512.001.56

МОДИФИКАЦИЯ СТАНДАРТНОГО АЛГОРИТМА МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИВЕРСИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Д. И. Ковалев, А. В. Клименко, Е. В. Соловьев, Е. В. Туева

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

Предложен алгоритм муравьиной колонии с новым решающим правилом для решения задачи формирования мультиверсионного программного обеспечения. Учтена специфика постановки задачи как задачи покрытия множества. Разработан программный комплекс на основе предложенных алгоритмов для формирования состава мультиверсионного программного обеспечения. Проведены эксперименты и собрана статистика для сравнения работы стандартного и модифицированного алгоритма муравьиной колонии. Получены данные о том, что модифицированный алгоритм демонстрирует лучшие значения целевой функции, а также большую скорость нахождения решения.

Ключевые слова: мультиверсионное программное обеспечение, алгоритм муравьиной колонии, программный комплекс, задача покрытия множества.

MODIFICATIONS TO THE STANDARD ANT COLONY ALGORITHM FOR SOLVING THE PROBLEM OF FORMATION MULTIVERSIONED VIEWS SOFTWARE

D. I. Kovalev, A. V. Klimenko, E. V. Soloviev, E. V. Tueva

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

The ant colony algorithm with a new decision rule for solving the problem of multisession software formation is offered. The specificity of the task as the task cover set is taken into account. The software complex on the basis of the proposed algorithms for the formation of the composition of multisession software is developed. The experiments have been carried out and statistics to compare performance standard and modified ant colony algorithm have been collected. The data that the modified algorithm demonstrates the best values of the objective function, and more speed to find solutions have been obtained.

Keywords: multisession views software, ant colony algorithm, software system, the task of covering many.

В настоящее время существуют два взаимно дополняющих друг друга подхода для разработки устойчивого к сбоям программного обеспечения (ПО) [1–3]: безопасное программирование и отказоустойчивые системные архитектуры. Нас интересует подход с использованием отказоустойчивых архитектур. В его основе лежит резервирование аппаратных и программных средств и выявление ошибочных результатов путем сравнения контрольных данных.

В большинстве случаев технология разработки устойчивого к сбоям оборудования базируется на методе модульного резервирования, когда модуль оборудования дублируется несколько раз. Выходные данные каждого модуля сравниваются между собой [4; 5]: если один из модулей выходит из строя или его выходные данные отличаются от выходных данных других модулей, эти данные игнорируются. Если сразу восстановить сбойный модуль невозможно, система автоматически отключает его и продолжает свою работу с оставшимися модулями.

Существует две методологии для создания отказоустойчивого программного обеспечения: блоки восстановления и мультиверсионное программирование (N-version programming или multiversion programming) [5-7]. При использовании методологии мультиверсионного программирования осуществляется разработка мультиверсионного программного обеспечения (NVC - n-version software), которое строится на основе множества версий с общей спецификацией, созданных разными командами разработчиков. Эти версии выполняются параллельно. Результаты их работы сравниваются с помощью системы согласования [8], результаты версии, не совпадающие с половиной версий и еще одной или не полученные вовремя, отвергаются. Это наиболее часто используемый подход к созданию отказоустойчивого программного обеспечения. Именно этот подход является одним из предметов исследования данной работы.

Эффективность технологий проектирования программ непосредственно влияет на итоговую совокупность затрат на создание программных комплексов [9]. Кроме того, с развитием и повсеместным внедрением автоматизированных комплексов, которые работают с объектами в реальном времени, очень важное значение получают алгоритмы, которые позволяют в реальном времени и с заданными ограничениями эффективно искать решения оптимизационных задач. Одной из таких задач является задача формирования оптимального состава мультиверсионного программного обеспечения, благодаря решению которой можно в реальном времени изменять структуру программного обеспечения, подстраиваясь к изменяющимся условиям работы [10]. Проблемой при решении таких задач является их сложность, поэтому были созданы алгоритмы, которые способны решать задачи подобной сложности за ограниченное количество времени [11].

Существует несколько семейств алгоритмов, которые объединяет то, что механизмы, которые лежат в основе их деятельности, были получены в результате исследования процессов, протекающих в «живом» мире [12]. Эти алгоритмы получили название биоинспиративных алгоритмов. Одним из таких алгоритмов является алгоритм муравьиной колонии [13; 14]. В данной работе исследуется его применение для задачи формирования состава мультиверсионного программного обеспечения.

Предложенная модификация выполнена на основе алгоритма MAX-MIN Ant System [12; 15], так как помимо демонстрации хороших результатов практически на любых классах задач данный алгоритм является одним из самых изученных алгоритмов муравьиной колонии [16; 17]. Для решения задачи формирования состава мультиверсионного программного обеспечения алгоритм MAX-MIN Ant System применялся и без какой-либо модификации [18], но в этом случае при расчете не будет использоваться весь объем информации, который несет постановка задачи, в частности, для мультиверсионного ПО с динамической архитектурой среды исполнения [19]. Предлагается внести ряд изменений, которые позволят алгоритму улучшить найденные решения за счет более полного учета знаний (сведений) о поставленной задаче.

Итак, структура ПО задается набором модулей, соединенных определенным образом, образующих граф переходов с вероятностями перехода из одного модуля в другой. В каждом модуле существует определенное количество версий со значением надежности и стоимости. На основании выбранных версий в модуле вычисляется его надежность и стоимость, а благодаря наличию графа программы мы имеем возможность вычислить надежность и стоимость всей программной структуры. Также в условиях задачи должны присутствовать ограничения, накладываемые на надежность и стоимость итогового решения.

Упрощенно ACO-алгоритмы можно представить как повторение трех процедур [12]: построение решения, обновление значений феромона, дополнительные действия:

procedure ACOMetaheuristic
ScheduleActivities
ConstructAntsSolutions
UpdatePheromones
DaemonActions /*опционально*/
end-ScheduleActivities
end-procedure

На этапе построения решения происходит управление муравьями (агентами), которые одновременно и независимо друг от друга осуществляют движение и построение решений.

Обновление феромона представляет собой процесс, в результате которого вносятся изменения в показатели феромона, увеличение показателя осуществляется в результате увеличения показателя феромона агентами. Также существует процедура испарения феромона. Это механизм, позволяющий избежать быстрой сходимости к одному решению. Стоит отметить, что для данной задачи все значения феромона мы ассоциируем непосредственно с характеристиками версий модулей.

Дополнительные процедуры представляют собой реализацию действий, которые невозможно выполнить одному агенту. Примером таких действий может быть операция локального поиска или сбор и анализ общей информации.

В работе приведены основные особенности и формулы, используемые при реализации алгоритма MAX-MIN Ant System (MMAS) для минимизируемой функции, которая зависит от одной переменной.

Как сказано выше, алгоритм представляет три процедуры: построение муравьями решения, обновление значений феромона, дополнительные действия. Для данной задачи все значения феромона мы ассоциируем непосредственно с версиями модулей ПО. Но так как по условиям задачи каждый модуль должен быть представлен как минимум один раз, мы делим процедуру построения решения на две части: построение минимального решения и добавление дополнительных элементов. Поэтому в упрощенном виде наш алгоритм будет выглядеть следующим образом:

procedure ACOMetaheuristic ScheduleActivities ConstructAntsMinSolutions UpgradeAntsSolutions UpdatePheromones DaemonActions % optional end-ScheduleActivities end-procedure

На этапе построения минимального решения никаких отличий от стандартного алгоритма MAX-MIN Ant System не будет. Решающее правило, по которому осуществляется выбор версии модуля при построении минимального решения, представляет собой классическое правило выбора, знакомое нам еще по алгоритму Ant System [15]. Что касается процесса построение решения, то рекомендуется реализовать его последовательно, так как количество версий, образующих решение, может быть различным при поиске для каждого агента. Последовательное построение решения позволит избежать постоянных проверок на завершение поиска.

После того, как будут построены минимальные решения, начинается этап улучшения решения. Для каждого агента производится попытка добавить избыточный модуль в итоговое решения для того, чтобы улучшить показатель его надежности, при этом нужно помнить о существующих ограничениях, чтобы получаемые решения были приемлемыми. В решающее правило вносятся изменения для того, чтобы в нем содержалась информация о вероятности использования модуля и конкретной версии в модуле. Это необходимо для того, чтобы добавлять версии именно в те модули, которые имеют критическое значение для всей программной системы. Также стоит отметить, что на этапе улучшения решения выбор осуществляется среди всех версий всех модулей, которые не задействованы в программе. Эти изменения, вносимые в решающее правило алгоритма, позволяют задействовать нам всю информацию из условий постановки задачи формирования мультиверсионного ПО с динамической архитектурой.

Предложенная в данной работе модификация муравьиного алгоритма для задачи формирования состава отказоустойчивого программного обеспечения была реализована в программном комплексе, получившем название ACO N-version software creator. Данное программное приложение написано на языке программирования С# с использованием среды программирования приложений Microsoft Visual Studio 2012. Это позволило использовать возможности, предоставляемые объектно-ориентированным подходом при разработке программного обеспечения, а также задействовать Windows Forms Framework при разработке графического интерфейса пользователя, знакомого любому пользователю персонального компьютера, работающего под управлением операционной системы Windows.

Пользователем задаются все параметры задачи. Определяются модули будущей мультиверсионной программы, их название и состав. Каждый модуль содержит некоторое количество версий, каждая из которых имеет название, а также показатель надежности и стоимости. Пользователь формирует структуру связей между будущими модулями программы, а также вероятности перехода от одного модуля к другому. Задаются ограничения, которые накладываются на программу, в виде пороговых значений надежности и стоимости. Задается цель поиска. Это может быть минимизация стоимости программы с учетом ее надежности или максимизация показателя надежности с учетом заданного показателя максимальной стоимости мультиверсионного ПО.

Разработанный программный комплекс позволяет проводить эксперименты на различных задачах формирования оптимального состава мультиверсионного программного обеспечения. Однако при программной

реализации муравьиного алгоритма были внесены изменения, которые позволили организовать контроль исполнения алгоритма и учесть особенность задачи формирования мультиверсионного программного обеспечения. Особенности реализации муравьиного алгоритма в этом случае удобно рассмотреть при анализе функции CalculateSolution, которая выглядит следующим образом:

```
public ProgSolution CalculateSolution()
{
    AntManager.ConstructMinimumSolution();
    AntManager.ConstructSolution();
    var isBestUpdated = AntManager.UpdateBestSolution();
    PheromoneManager.UpgradeValues(AntManager.BestAnt);
    AntManager.ResetAnts();
    PheromoneManager.ResetPheromones(isBestUpdated);
    if (AntManager.BestAnt != null)
```

return AntManager.BestAnt.Solution.Clone(); return null.

- 1. AntManager.ConstructMinimumSolution () задача формирования состава мультиверсионного программного обеспечения имеет ограничение, которое накладывается на найденное решение, что задается отдельной функцей, которая гарантирует соблюдение данного ограничения. Это позволит рассчитать начальные параметры решения.
- 2. AntManager.ConstructSolution() функция осуществляет процесс улучшения найденных решений посредством добавления избыточных версий; особенностью реализации является последовательная работа с агентами, что позволяет избежать лишних проверок.
- 3. AntManager.UpdateBestSolution() функция проводит анализ найденных решений. Если было найдено решение, качество которого лучше ранее найденного решения, происходит его сохранение в переменную и функция возвращает логическую 1, в противном случае возвращается 0.
- 4. PheromoneManager.UpgradeValues(AntManager. BestAnt) функция осуществляет процесс обновления феромона: испарение существующего феромона и увеличение феромона на лучшем найденном решении благодаря переданному значению.
- 5. AntManager.ResetAnts() для всех агентов выполняется операция очистки найденных решений, что позволяет использовать их на следующей итерации поиска без дополнительного выделения памяти.
- 6. PheromoneManager.ResetPheromones(isBestUpdat ed) функция проверяет количество итераций без улучшения, в случае превышения порогового значения происходит сброс всех показателей феромона в их максимальное значение, что позволяет направить операцию поиска в еще не исследованные области.
- 7. Если было найдено решение, то происходит его возврат для использования, в противном случае возвращается null.

Для проверки возможности применения алгоритма на реальном объекте была решена задача формирования мультиверсионного ПО системы обработки данных реального времени долговременной орбитальной

станции [20]. Модифицированный алгоритм продемонстрировал лучшие значения целевой функции, а также большую скорость при нахождении решения.

Таким образом, предложенный алгоритм муравьиной колонии с новым решающим правилом для решения задачи формирования мультиверсионного программного обеспечения с учетом ее специфики как задачи покрытия множества продемонстрировал лучшие результаты работы на тестовых задачах. Разработан программный комплекс на основе разработанного алгоритма для формирования состава мультиверсионного программного обеспечения, который позволил провести эксперименты и собрать статистику для сравнения работы стандартного и модифицированного алгоритма муравьиной колонии. На разработанных тестовых задачах проведены эксперименты и исследована эффективность модифицированного алгоритма в сравнении со стандартным, в результате чего были получены данные о том, что модифицированный алгоритм демонстрирует лучшие значения целевой функции, а также большую скорость нахождения решения. Исследована задача практического применения алгоритма муравьиной колонии для формирования состава мультиверсионного программного обеспечения и проведено сравнение результатов. В качестве реального объекта было рассмотрено программное обеспечение долговременных орбитальных станций. В результате сравнения стандартного и модифицированных алгоритмов были получены данные, которые показывают превосходство модифицированного алгоритма.

Библиографический список

- 1. Avizienis A. The N-Version approach to fault tolerant software // IEEE Trans. On Software Engineering. 1985. Vol. SE11, № 12. P. 1491–1501.
- 2. Lyu M. R. Handbook of Software Reliability Engineering. IEE Computer Society Press and McGraw Hill Book Company, 1996. 819 p.
- 3. Lyu M. R. Software Fault Tolerance. John Wiley& Sons Ltd, 1996.
- 4. Ковалев И. В., Завьялова О. И., Лайков А. Н. Формирование избыточного программного обеспечения отказоустойчивых систем управления // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т. 51, № 10. С. 30–34.
- 5. Ковалев И. В., Юнусов Р. В. Мультиверсионный метод повышения программной надежности информационно-телекоммуникационных технологий в корпоративных структурах // Дистанционное и виртуальное обучение. 2003. № 2. С. 50–55.
- 6. Царев Р. Ю. Мультиверсионный подход к повышению отказоустойчивости программного обеспечения систем управления и обработки информации // В мире научных открытий. 2010. № 4 (10). Ч. 10. С. 82–84.
- 7. Ковалев И. В., Слободин М. Ю., Ступина А. А. Математическая постановка задачи проектирования N-версионных программных систем // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2005. № 3. С. 16–23.

- 8. Ковалев И. В., Ступина А. А., Царев Р. Ю., Волков В. А. Применение СОМ-технологии для реализации мультиверсионного программного обеспечения систем управления и обработки информации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2007. № 3. С. 18–22.
- 9. Ковалев И. В., Новой А. В., Штенцель А. В. Оценка надежности мультиверсионной программной архитектуры систем управления и обработки информации // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. № 3 (20). С. 50–52.
- 10. Ковалев И. В., Новой А. В. Расчет надежности отказоустойчивых архитектур программного обеспечения // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 4 (17). С. 14–17.
- 11. Kovalev I. V., Dgioeva N. N., Slobodin M. Ju. The mathematical system model for the problem of multiversion software design // Proceedings of Modelling and Simulation, MS'2004. AMSE International Conference on Modelling and Simulation. Lyon-Villeurbanne, 2004.
- 12. Dorigo M., Stutzle Th. Ant Colony Optimization // Massachusetts Institute of Technology. 2004.
- 13. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process. Technical Report No. 91-016 Revised, Politecnico di Milano, 1991. 103 p.
- 14. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. An Inverstigation of Some Properties of an Ant Algorithm // Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature Conference (PPSN 92) (Brussels, Beldium) / R. Manner and B. Manderick (Eds.). Elsevier Publishing, 1992. P. 509–520.
- 15. Ковалев И. В. [и др.] Использование метода роя частиц для формирования состава мультиверсионного программного обеспечения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 3. С. 1–6.
- 16. Corne D., Dorigo M., Glover F. New Ideas in Optimization. McGrav Hill, 1999. 314 p.
- 17. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // Математика в приложениях. 2003. № 4 (4). С. 70–75.
- 18. Ковалев И. В., Карасева М. В., Соловьев Е. В. Модификация муравьиного алгоритма для задачи формирования мультиверсионного программного обеспечения // Вестник СибГАУ. 2014. Вып. № 1(53). С. 19–24.
- 19. Ковалев И. В., Царев Р. Ю., Прокопенко А. В., Соловьев Е. В. К вопросу реализации муравьиного алгоритма при выборе состава мультиверсионного программного обеспечения информационно-управляющих систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2012. № 2. С. 1–4.
- 20. Кульба В. В., Микрин Е. А., Павлов Б. В. Проектирование информационно-управляющих систем долговременных орбитальных станций. М. : Наука, 2002. 343 с.

References

1. Avizienis A. The N-Version approach to fault – tolerant software. *IEEE Trans. On Software Engineering*. Vol. SE11, no. 12, December, 1985, p. 1491–1501.

- 2. Lyu M. R. Handbook of Software Reliability Engineering. IEE Computer Society Press and McGraw Hill Book Company, 1996, 819 p.
- 3. Lyu M. R. Software Fault Tolerance. John Wiley& Sons Ltd, 1996.
- 4. Kovalev I. V., Zav'jalova O. I., Lajkov A. N. [Formation of excessive soft-ware fault-tolerant control systems]. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Priborostroenie.* 2008, Vol. 51, no. 10, p. 30–34. (In Russ.)
- 5. Kovalev I. V., Junusov R. V. [Multiversioning-tion method for increasing software reliability information-communication technologies in corporate structures]. *Distantsionnoe i virtual'noe obuchenie.* 2003, no. 2, p. 50–55. (In Russ.)
- 6. Carev R. Ju. [Multiversioning approach to an increase resiliency of software program management systems and information processing]. *V mire otkrytij*. 2010, vol 10, no. 4, Ch. 10, p. 82–84. (In Russ.)
- 7. Kovalev I. V., Slobodin M. Ju., Stupina A. A. [Mathematical problem of designing N-versioned software systems]. *Problemy mashinostroenija i avtomatizatsii*. 2005, no. 3, p. 16–23. (In Russ.)
- 8. Kovalev I. V., Stupina A. A., Carev R. Ju., Volkov V. A. [Application of COM technology for realizations multiversioning soft-ware systems, control and information processing]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika.* 2007, no. 3, p. 18–22. (In Russ.)
- 9. Kovalev I. V., Novoj A. V., Shtancel' A. V. [Evaluation of reliability multiversioning software architecture of management systems and information processing]. *Vestnik SibGAU*. 2008, vol. 20, no. 3, p. 50–52. (In Russ.)
- 10. Kovalev I. V., Novoj A. V. [Calculation of reliability of fault-tolerant software architectures]. *Vestnik SibGAU*. 2007, vol. 17, no. 4, p. 14–17. (In Russ.)
- 11. Kovalev I. V., Dgioeva N. N., Slobodin M. Ju. The mathematical system model for the problem of multiversion software design. *Proceedings of Modelling and Simulation*, MS'2004 AMSE International Conference on

- Modelling and Simulation, MS'2004. Lyon-Villeurbanne, 2004
- 12. Marco Dorigo, Thomas Stutzle. Ant Colony Optimization. *Massachusetts Institute of Technology*, 2004.
- 13. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process. Technical Report no. 91-016 Revised, Politecnico di Milano, Italy, 1991, 103 p.
- 14. Colorni A., M. Dorigo, V. Maniezzo An Inverstigation of Some Properties of an Ant Algorithm. *Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature Conference* (PPSN 92). Brussels, Beldium, R. Manner and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing. 1992, p. 509–520.
- 15. Kovalev I. V., Solov'ev E. V., Kovalev D. I., Bahmareva K. K., Demsish A. V. [The use of particle swarm to form the composition of the multiverse-onnogo software]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika,* 2013, no. 3, p. 1–6. (In Russ.)
- 16. Corne D, Dorigo M, Glover F New Ideas in Optimization. McGrav Hill. 1999, 314 p.
- 17. Shtovba S. D. [Ant algorithms]. *Matematika v prilozhenijah*. 2003, no. 4 (4), p. 70–75. (In Russ.)
- 18. Kovalev I. V., Karaseva M. V., Solov'ev E. V. [Modification of the ant algorithm to the problem of forming multiversioning software]. *Vestnik SibGAU*. 2014, vol. 53, no. 1, p. 19–24. (In Russ.)
- 19. Kovalev I. V., Carev R. Ju., Prokopenko A. V., Solov'ev E. V. [On the Implementation of the ant algorithm for choosing the composition multiversioning software information management systems]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika.* 2012, no. 2, p. 1–4. (In Russ.)
- 20. Kul'ba V. V., Mikrin E. A., Pavlov B. V. *Prektirovanie informatsionno-upravljajushhikh sistem dolgovremennykh orbital nyh stantsij* [Design of information management systems of long-term orbital stations]. Moscow, Nauka Publ., 2002, 343 p.

© Ковалев Д. И., Клименко А. В., Соловьев Е. В., Туева Е. В., 2014

УДК 004.056

МЕТОДИКА АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ РИСКОВ ОРГАНИЗАЦИИ

И. 3. Краснов¹, О. И. Карелин²

¹Сибирский федеральный университет Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79 ²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: bk_24@bk.ru, karelin@sibsau.ru

Стремительное развитие компьютерной сферы и высоких технологий в последние два десятилетия привело к тому, что информация приобрела конкретные финансовые, репутационные, временные и экономические выражения. В связи с этим для большинства организаций защита информации становится одной из приоритетных задач.

Статья посвящена вопросам анализа информационных рисков. Приводится методика оценки и распределения информационных рисков. Выделены уровни информационной безопасности в соответствии с глубиной детализации карт бизнес-процессов в контексте важных информационных активов организации. Особое внимание уделяется распределению ответственности за оценку и учет информационных рисков, приводится методика многоуровневой оценки конечных рисков организации с учетом размеров и производственных характеристик организации. Одним из первых и основных этапов построения защищенной инфраструктуры организации является анализ оценки защищенности информационной системы.

Ключевые слова: информационная безопасность, информационные риски, многоуровневая оценка рисков, стабильность информационной системы предприятия, модель системы защиты информации.

INFORMATION RISK MANAGEMENT

I. Z. Krasnov¹, O. I. Karelin²

¹Siberian Federal University
79, Svobodny prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: bk 24@bk.ru, karelin@sibsau.ru

The article is devoted to information risk management. The authors gives an assess and distribution technique of information risks. Levels of information security is considered in the context of information asset relevance for organization objectives and granularity of bushiness process maps. Particular attention is paid to the distribution of responsibility for evaluating and recording the information risk. A multi-level evaluation methodology for end-risks the organization with the size and characteristics of the business is offered. An information system security analysis is the first and one of the most important steps of stable infrastructure constructing.

Keywords: information security, information risk, multi-level risk assessment, stability of the IT company, information security system model.

В рамках данной статьи под целевой аудиторией будем понимать российские компании, которые используют информационные технологии при ведении основного бизнес-процесса, информационные технологии (ИТ) для капитализации производства, а также организации, для которых информационная борьба является одним из механизмов, позволяющих оставаться конкурентоспособными на международном рынке.

Рассмотрим, какими свойствами должна обладать методика анализа и оценки рисков организации:

- простота понимания руководством и сотрудниками;
- малые трудозатраты на реализацию и эксплуатанию.
- гибкость, позволяющая модифицировать реализацию вместе с ростом или уменьшением организации;
 - возможность непрерывного мониторинга;
- возможность интеграции в корпоративную систему ИБ, основанную на процессном подходе;
- удовлетворение требованиям международных стандартов;
 - учет человеческого фактора;
 - отказоустойчивость.

Риск-ориентированный подход лежит в основе современного корпоративного управления. Оценка рисков позволяет принимать осознанные решения, правильно выбирая механизмы защиты и расставляя приоритеты. Оценка рисков позволяет избегать многих кризисных ситуаций. После кризиса остаются те, кто правильно управлял рисками.

Все современные стандарты и руководства в области корпоративного управления, включая стандарты на интегрированные системы управления (PAS 99), стандарты СУИБ (ISO 27001), банковские стандарты (СТО БР ИББС и Basel II), а также нормативные требования, предъявляемые к публичным компаниям (Turnbull и SoX), базируются на оценке рисков. Риски информационной безопасности следует рассматривать как неотъемлемую часть рисков всего бизнеса [1, с. 56].

Рассматривая малые и средние организации на российском рынке, стоит отметить их многообразие, связанное с большим количеством различных культур и экономических условий, а соответственно, и потребностей. Среди существующих продуктов для анализа рисков почти для любой организации возможно найти продукт с рядом достоинств и преимуществ, но универсального продукта на сегодняшний день не существует.

Системы ГРИФ, «Кондор», RiskWatch имеют ряд достоинств, но отсутствие качественного расчета риска не позволяет им удовлетворять критерию «простота понимания руководством и сотрудниками» в связи с недостаточно глубоким пониманием руководством компаний всей значимости расчета рисков с целью создания защищенного информационного поля, определив контур информационной безопасности (ИБ). Руководству организации будет намного удобнее воспринимать качественную оценку риска, чем полученные количественным способом расчетные финансовые средства, которые организация не получает в виде прибыли.

Методики CRAMM и RiskWatch требуют больших трудозатрат на реализацию и поддержание системы, а малое количество специалистов в данной области усугубляет ситуацию.

Методика CORAS не пригодная для постоянного мониторинга рисков ИБ. Ее использование целесообразно для разового расчета рисков и определения реальной картины в настоящий момент.

Методика FRAP не учитывает человеческий фактор, имеет слабый механизм мониторинга и требует большое количество статистических данных, что затрудняет развертывание системы в организациях.

Методика ОСТАVE реализована в виде конечного числа продуктов, нацеленных на разные организации. При модернизации организации, даже оставаясь на данной системе, требуются большие изменения. Также методика не учитывает рекомендации, предъявляемые к человеческому фактору в соответствии с международными стандартами информационной безопасности ISO 15408, 27001, а также требования стандарта COBIT (методика управления, контроля и аудита информационных систем).

Его новая версия COBIT5 рассматривает 7 факторов влияния (enablers) на систему ИТ (ИБ): принципы, политики и подходы, процессы; организационная структура; персонал, навыки и компетенции; культура; этика и поведение; информация; услуги, инфраструктура и приложения.

Из этого следует, что на данный момент не существует универсальной методики, которая бы подходила целевой аудитории. А наличие таковой важно, так как до сих пор некоторые руководители не понимают важности работ по оценке рисков в их организациях, в том числе и по причине неполного совершенства существующих на рынке информационной безопасности программ [2, с. 4].

Решить данные проблемы предлагается путем построения многоуровневой карты бизнес-процессов организации. На рис. 1 показано построение карты бизнес-процессов.

При построении процесс разбивается на несколько подпроцессов — от 2 до 10. Можно выделять более 12 подпроцессов, если приходится вводить дополнительные формальные уровни иерархии. На практике бывает удобно показывать при построении 10–12 подпроцессов. Это в основном касается описания процессов на средних и нижних уровнях. Таким образом, мы получим систему, которая учитывает особенности ведения деятельности организации на разных уровнях управления [3, с. 23].

В зависимости от глубины детализации карты можно получить информацию об активах с различной точностью, что позволяет данному методу быть применимым для организаций различных размеров и направлений деятельности, что является необходимым условием в рамках существующей целевой аудитории. Иерархическая система, состоящая из 4 уровней детализации, позволяет с большей точностью оценивать риски для важных активов и с меньшей – для маловажных.

После получения карт бизнес-процессов всех уровней необходимо идентифицировать активы, используемые процессами.

С точки зрения риск-ориентированного подхода, ведение деятельности обеспечивают активы организации. Идентификация активов позволяет определить, какая информация и как она обрабатывается в организации. Благодаря идентификации можно определить активы, необходимые для выполнения задач, и активы, которые усложняют выполнение таковых, замедляя процесс обработки информации [4, с. 23].

Выведение из пользования активов, не нацеленных на выполнение задач организации, существенно уменьшает уровень вероятности рисков организации. Определение необходимых активов позволяет сократить затраты на обеспечение информационной безопасности и на содержание активов.

Идентифицируя и описывая каждый актив, мы формируем таблицу активов организации:

- бизнес-процессов;
- информационных активов;
- кадровых ресурсов;
- аппаратных программных средств;
- каналов передачи информации.

Идентификацию активов следует начинать сверху вниз, т. е. с идентификации и описания бизнеспроцессов, а не снизу вверх, формируя ни к чему не привязанные списки информационных, программных и аппаратных активов.

Бизнес-процессы сами по себе рассматриваются в качестве основных активов организации, которые представляют собой комбинацию разнородных активов, таких как информация, технические и программные средства, кадровые ресурсы и т. п. Все эти активы представляют ценность для организации только в контексте ее бизнес-процессов, в рамках которых они используются для достижения целей организации.

Идентифицировать и локализовать информацию можно на основании описания бизнес-процессов, в рамках которых информация рассматривается как один из типов ресурсов. Задача несколько упрощается, если в организации принят подход регламентации бизнесдеятельности (например, в целях управления качеством и оптимизации бизнес-процессов). Формализованные описания бизнес-процессов служат основной точкой отсчета для инвентаризации активов.

Активы — это все, что имеет ценность или находит полезное применение для организации, ее деловых операций и обеспечения их непрерывности. Поэтому активы нуждаются в защите для того, чтобы обеспечить корректность деловых операций и непрерывность бизнеса. Надлежащее управление и учет активов должны являться одной из основных обязанностей руководителей всех уровней [4, с. 109].

Идентификация и определение ценности активов, исходя из потребностей деятельности организации, являются основными факторами в оценке риска. Для того чтобы определить требуемый уровень защиты активов, необходимо определить их ценность с точки зрения их важности для организации. Учитываются законодательные требования, требования стандартов и корпоративных требований организации, а также последствия нарушения конфиденциальности, целостности и доступности этих активов.

Важность для активов определяется в соответствии с табл. 1.

При проведении анализа рисков организации следует начинать с низшего уровня и постепенно подниматься до основного процесса ведения бизнеса. Но данный процесс достаточно трудоемкий и затратный. Чтобы обеспечить простоту реализации данной методики, необходимо распределить ответственность за активы.

Нельзя обеспечить адекватный уровень информационной безопасности без установления подотчетности за активы. Для каждого из идентифицированных активов или группы активов должен быть определен владелец, на которого возлагается ответственность за осуществление контроля производства, разработки, сопровождения, использования и безопасности этих

активов. Обязанности по внедрению механизмов безопасности могут быть делегированы, однако ответственность должна оставаться за назначенным владельцем актива [4, с. 109].

Важность для уровней бизнес-процессов ранжируется в соответствии с табл. 2.

Только благодаря адекватной оценке важности доверенных активов можно определить, какая угроза наиболее критична для всей организации. Для определения критичности угрозы необходимо проанализировать ее на всех уровнях управления, отследив цепочку принадлежности актива бизнес-процессам. Например, пусть аналогичная угроза присуща активам «А» и «Б» (рис. 2).

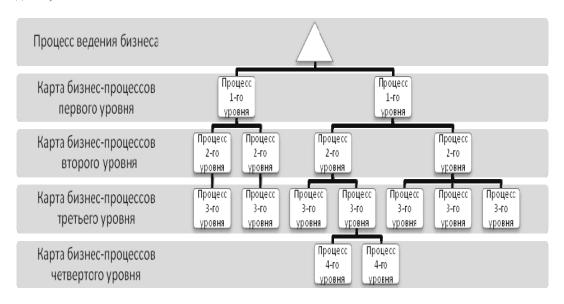


Рис. 1. Построение карты бизнес-процессов организации

Таблица 1

Возможные значения важности актива

Уровень важности	Описание
Особой важности	Кратковременное прерывание в работе актива приводит к существенному ущербу для бизнес-
Осооои важности	процесса, потере временного или качественного ресурса
Важный	Остановка актива приводит к существенному ущербу для бизнес-процесса, потере временного или
Бажный	качественного ресурса
Сранцай размиоати	Кратковременное прерывание в работе актива приводит к ограниченным временным или качест-
Средней важности	венным потерям
Маловажный	Остановка актива приводит к ограниченным временным или качественным потерям
Неважный	Перерыв в работе актива не вызывает существенных потерь

Таблица 2

Возможные значения важности бизнес-процесса

Уровень важности	Описание
Особой важности	Кратковременное прерывание бизнес-процесса приводит к существенному ущербу для организа-
Особой важности	ции, потере временного или технологического ресурса
Важный	Остановка бизнес-процесса приводит к существенному ущербу для организации, потере временно-
Бажный	го или технологического ресурса
Сранцай ражности	Кратковременное прерывание бизнес-процесса приводит к ограниченным временным или качест-
Средней важности	венным потерям
Маловажный	Остановка бизнес-процесса приводит к ограниченным временным или качественным потерям
Неважный	Перерыв в работе бизнес-процесса не вызывает существенных потерь

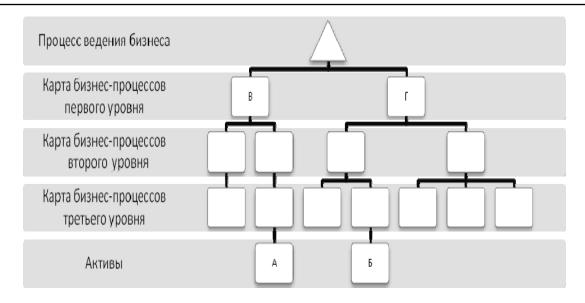


Рис. 2. Определение критичности угрозы

Предположим, что все процессы третьего уровня одинаково важны для соответствующих процессов второго уровня. В свою очередь, все процессы второго уровня одинаково важны для процессов «В» и «Г». Но процесс «В» выполняет основную задачу организации, а «Г» — вспомогательную. Исходя из вышеизложенного, процесс «В» является важнее для бизнеса, чем процесс «Г». Таким образом, мы приходим к выводу, что наиболее критичная из двух аналогичных угроз, присущих активам «А» и «Б», является угроза активу «А». Именно на эту угрозу следует обратить внимание в первую очередь, так как ее реализация критично повлияет на непрерывность ведения деятельности организации.

В реальной же ситуации многоуровневая карта бизнес-процессов намного больше, а каждый актив подвергается множеству угроз, и необходимо определять, какая из них будет влиять на бизнес сильнее. Поэтому владелец ресурса определяет, какие последствия несет реализация какой-либо угрозы, а владелец вышестоящего процесса определяет ущерб, который он понесет вследствие успешной реализации.

Для оценки вероятности реализации угрозы была использована следующая карта бизнес-процессов торгово-ориентированного предприятия.

Система деятельности организации предназначена для автоматизации процесса продаж и обеспечения финансово-хозяйственной деятельности, а именно:

- обеспечение сотрудников надежным доступом к внутренним и внешним ресурсам организации в соответствии с установленным регламентом;
- обеспечение своевременного предоставления всей необходимой и достоверной информации при взаимодействии с партнерами;
- предоставление качественного доступа к информационно-вычислительным ресурсам всем структурным подразделениям и отделам головного офиса.

Основная задача деятельности предприятия – обеспечить:

- сбор, обработку и предоставление доступа к информации законным пользователям;
- целостность и конфиденциальность информации, циркулирующей в информационно-вычислительной системе организации;
- доступ законным пользователям информационновычислительной системы организации;
- бесперебойную работу персональных рабочих станций и сетевого оборудования в офисе организации;
- сбор и надлежащее хранение информации, необходимой для расследования инцидентов с участием информационно-вычислительных ресурсов;
- соблюдение требований нормативно-правовых документов по ограничению устанавливаемого программного обеспечения на рабочие компьютеры офиса;
- контроль программно-аппаратной среды рабочих компьютеров в офисе организации;
- поддержание информационно-вычислительной системы в защищенном состоянии в соответствии с установленным регламентом.

В организации сформированы следующие подпространства пространства активов:

- подпространство бизнес-процессов;
- подпространство информационных активов;
- подпространство кадровых ресурсов;
- подпространство аппаратных средств;
- подпространство программных средств;
- подпространство каналов передачи информации.

Следует отметить, что каждые из вышеуказанных подпространств рассматриваются отдельно. В данной статье рассмотрено лишь подпространство бизнеспроцессов.

Определим критичность угроз информационной безопасности к таким активам предприятия, как технические регламенты и программно-аппаратные комплексы для обеспечения технологического процесса. Потеря, составление технических регламентов с ошибками (отсутствие разделов), модификация тех-

нических регламентов, а также отсутствие реального тестирования регламентов для обеспечения основного бизнес-процесса ведет к риску остановки непрерывности бизнеса.

Следует отметить, что реализация вышеуказанных угроз также воздействует на программно-аппаратные комплексы обеспечения технологического процесса предприятия и может привести к выходу их из строя. Также основными угрозами на программно-аппаратные комплексы являются наличие вредоносного программного обеспечения и неквалифицированный персонал. Реализация вышеуказанных угроз ведет к риску остановки непрерывности бизнеса.

Для оценки вероятности реализации угрозы используется следующая шкала (табл. 3).

 $\it Taблица~3$ Возможные значения вероятности реализации угрозы

Вероят- ность	Описание
Высокая	Есть вероятность возникновения одной или нескольких реализаций угрозы в пределах года
Средняя	Есть вероятность реализации угрозы в пределах двух-трех лет
Низкая	Возникновение влияния в пределах трех лет маловероятно

Для того, чтобы сопоставить все риски организации, определяем ущерб от реализации конкретной угрозы согласно табл. 4.

Таблица 4 Возможные значения ущерба от реализации угрозы

Ущерб	Описание					
Высокий	Серьезные повреждения или полный выход					
Высокии	актива из строя					
Средний	Средние повреждения или ущерб					
Низкий	Незначительные повреждения или ущерб					

Природа рисков такова, что одно и то же рисковое событие может порождать разные по видам и величине ущербы. Ущербы характеризуются неопределенностью и зависимостью от факторов, определяющих состояние процесса целенаправленной деятельности [5, с. 129].

Можно указать на практически полную аналогию величины возникающего ущерба с рисковыми событиями с точки зрения его возникновения, анализа и оценки. Однако ущерб рассматривается как условная сущность, а влияние выделенных факторов величины ущерба рассматривается на практике с учетом естест-

венной способности процесса противостоять рисковым событиям. Необходимо учитывать ущерб, который понесет не только актив, но и связанные активы. Ведь при нарушении целостности одного актива может пострадать все производство.

Реестр информационных рисков — основной документ, описывающий текущую ситуацию с рисками в организации [6, с. 7]. Приведем пример формирования реестра рисков для организации, имеющей 3 уровня управления. Для уровня «Актив» ранг реализации угрозы определяется согласно матрице определения ранга угрозы активу (РУА), составляется реестр рисков для каждого актива (табл. 5).

Таблица 5 Возможные значения ранга угрозы активу

Ущерб,	Вероятность возникновения						
причинённый активу		угрозы активу					
в случае успешной реализации угрозы	Высокая	Средняя	Низкая				
Высокий	1	3	6				
Средний	2	7	9				
Низкий	6	11	13				

Ранг безопасности актива (РБА) определяется как минимальное значение РУА среди всех угроз, которым подвержен актив.

РБА формируется для определения уровня подверженности актива угрозам для данного бизнеспроцесса, а также для дальнейшего формирования реестра рисков на остальных уровнях (табл. 6).

Таблица 6 Уровень подверженности актива угрозам

Уровень	РБА	Описание
Критический	14	Связанные с риском действия должны быть выполнены немедленно и в обязательном порядке
Средний	58	Связанные с риском действия должны быть предприняты в ближайшее время. Требуется мониторинг ситуации
Низкий	915	Никаких действий в дан- ный момент предприни- мать не требуется

Матрица определения ранга угрозы бизнеспроцессу (РУБП) и уровня подверженности бизнеспроцесса угрозам представлена в табл. 7.

Таблица 7

Возможные значения	панга ч	vrnoski	бизнес-процессу

D								РБА							
Важность актива	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Важные	1	2	3	4	5	6	13	14	15	16	17	18	49	50	51
Средней важности	7	8	9	10	11	12	19	20	21	22	23	24	52	53	54
Маловажные	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	55	56	57

На данном этапе производятся такие же действия, как и в предыдущем этапе, только для бизнеспроцессов. Ранг безопасности бизнес-процесса (РББП) определяется как минимальное значение РУБП среди всех угроз, которым подвержен бизнес-процесс (табл. 8).

 $\it Taблица~8$ Уровень подверженности бизнес-процесса угрозам

Уровень	РББП	Описание						
Высокий	119	Связанные с риском действия должны быть выполнены немедленно и в обязательном порядке						
Средний	2038	Связанные с риском действия должны быть предприняты в ближайшее время, а также должен проводиться мониторинг						
Низкий	3957	Никаких действий в данный мо- мент предпринимать не требуется						

Для последующих уровней формируется реестр на основе рангов угроз. Ранг угроз уровня (РУУ) определяется как сумма РУБП и корректирующей переменной. Таблица возможных значений корректирующей переменной представлена в табл. 9.

Таблица 9 Таблица возможных значений корректирующей переменной

Уровень важности	Уровень подверженности бизнес-процесса угрозам						
бизнес- процесса	Высокий	Низкий					
Важный	0	18	48				
Средней важности	54	54	87				
Мало- важный	89	92	92				

Ранг безопасности организации (РБО) определяется как минимальное значение РУУ среди всех угроз последнего уровня детализации. Уровень подверженности организации угрозам определяется согласно табл. 10 и демонстрирует общее состояние защищенности организации.

 $\it Tаблица~10$ Уровень подверженности организации угрозам

Уровень	РБО	Описание				
Критический	118	Связанные с риском действия должны быть выполнены немедленно и в обязательном порядке				
Высокий	1954	Связанные с риском действия должны быть предприняты в ближайшее время				
Средний	55105	Связанные с риском действия должны быть предприняты				

В реестре записываются все реализации возможных угроз и расставляются в соответствии с рангом.

В зависимости от величины ущерба и определяется критичность угрозы. Поэтому вопрос распределения ответственности очень важен. Назначение владельцев исследуемых объектов организации позволяет упростить систему ранжирования рисков без потери качества, с увеличением последнего, благодаря применению механизмов ответственности.

Рассмотренные выше факторы в совокупности формируют ранжированный реестр рисков и образуют систему причинно-следственных отношений. Понимание всех взаимодействий системы приведет к получению системы управления информационными рисками, максимально подходящей для организации, в соответствии с требованиями стандартов информационной безопасности [7, с. 56]. Данная методика также позволяет рассчитывать риск с учетом человеческого фактора. В соответствии с многоуровневой картой бизнес-процессов создается реестр ресурсов и должностей сотрудников в соответствии с важностью и критичностью ресурса и уровнем компетентности человека. Для каждой должности описываются минимальные требования к сотруднику, претендующему на данную вакансию, в соответствии с его психофизиологическими ресурсами, уровнем образования и соответствующим опытом работы. В данном случае компетентность считается высокой и соответствует важности и критичности обслуживаемого ресурса. В противном случае компетентность считается низкой, что влечет за собой высокий уровень вероятности реализации угрозы относительно соответствующего актива. При оценке риска обязательно рассматриваются такие факторы, как психофизиологические свойства человека, соответствующие данному виду деятельности, образование, профессиональный опыт, что соответствует высокому уровню компетентности и, как следствие, мотивации к данному виду деятельности. Для каждого сотрудника составляется ранжированная, в зависимости от критичности актива, психолого-компетентностная карта бизнес-процессов организации. Сравнивая критичность актива и ожидаемые результаты предстоящей деятельности в соответствии с компетентностями сотрудника, можно определить наиболее уязвимые места с точки зрения человеческого фактора. Данная методика позволяет определить уровень вероятности инсайдерских атак.

Таким образом, благодаря применению несложных механизмов анализа создана методика оценки информационных рисков, соответствующая требованиям международных и российских стандартов, требованиям федерального закона 152 ФЗ о защите персональных данных. Простота технологии при распределении функциональных обязанностей в соответствии с активом позволяет значительно сократить временные показатели, финансовые и материальные средства для внедрения данной методики, что является одним из важных условий в рамках решаемой проблемы. Описание механизма учета человеческого фактора является несомненным преимуществом перед большинством из существующих методов.

Внедрение данной методики в торгово-ориентированном предприятии позволило сократить временные показатели для ведения основного бизнес-процесса предприятия, а также оптимизировать вспомогательные бизнес-процессы, что позволило предприятию существенно сократить финансовые и материальные затраты.

Библиографические ссылки

- 1. Ступина А. А., Золотарев А. В. Сравнительный анализ методов решения задачи оценки защищенности автоматизированных систем // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 4(44). С. 56–60.
- 2. Антамошкин О. А., Пузанова Г. А., Онтужев В. В. Особенности проектирования автоматизированной системы экспертной оценки информационной безопасности организаций // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 3(49). С. 4–9.
- 3 Репин В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. 512 с.
- 4. Балдин К. В. Риск-менеджмент : учеб. пособие. М. : Эксмо, 2006. 368 с.
- 5. Обеспечение информационной безопасности бизнеса / Андрианов В. В. [и др.]; под ред. А. П. Курило. М.: Альпина Паблишер, 2011. 392 с.
- 6. Бондарь И. В. Методика построения модели угроз безопасности информации для автоматизированных систем // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 3(43). С. 7–10.

7. Астахов А. М. Искусство управления информационными рисками. М.: ДМК Пресс, 2010. 312 с.

References

- 1. Stupina A. A., Zolotarev A. V. [Comparative analysis of methods for solving the problem of security assessment STI-automated systems]. *Vestnik SibGAU*, 2013, vol. 44, no. 4, p. 56–60. (In Russ.)
- 2. Antamoshkin O. A., Puzanova G. A., Ontuzhev V. V. [Features of designing an automated peer review system information security organizations]. *Vestnik SibGAU*, 2013, vol. 49, no. 3, p. 4–9. (In Russ.)
- 3. Repin V. *Biznes-protsessy. Modelirovaniye, vne-dreniye, upravleniye* [Business Processes. Modeling, implementation, management]. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber Pudl., 2013, 512 p.
- 4. Baldin K. V. *Risk-menedzhment* [Risk management]. Moscow, Eksmo Publ., 2006, 368 p.
- 5. Andrianov V. V., Marshmallows S. L., Golovanov V. B., Golduev N. A., Kurylo A. P. *Obespecheniye informatsionnoy bezopasnosti biznesa* [Providing business information security]. Moscow, Alpina Publ., 2011, 392 p.
- 6. Bondar I. V. [The method of constructing models of information security threats for automated systems]. *Vestnik SibGAU*, 2012, vol. 43, no. 3, p. 7–10. (In Russ.)
- 7. Astakhov A. M. *Iskusstvo upravleniya informatsionnymi riskami* [The art of managing information risk]. Moscow, DMK Press Publ., 2010, 312 p.

© Краснов И. З., Карелин О. И., 2014

УДК 004.9

К ВОПРОСУ ОБ УПОРЯДОЧЕНИИ МНОГОУРОВНЕВОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ДЕРЕВЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Д. В. Личаргин 1 , К. В. Сафонов 2 , О. И. Егорушкин 2 , Е. П. Бачурина 1

¹Сибирский федеральный университет Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26 ²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: lichdv@hotmail.ru

Рассматривается проблема представления глубинной семантики слов, предложений, повествований и текстов на естественном языке в рамках такой формы представления данных, как семантические сети. Предлагается модель многоуровневой семантической сети слов, в которой узлы и дуги графа слов включают графы вложенных в неё семантических сетей сем. Предложен способ представления соответствий между уровнями семантической сети на уровне слов и на уровне сем на основе матриц, содержащих тождественные аргументы элементов значений слов естественного языка. Затрагивается вопрос об упорядочении многоуровневой семантической сети на векторизованной семантической классификации данных. Делается вывод о необходимости продолжения данного исследования с учетом необходимости разработки программы для генерации матриц описания глубинной семантики слов.

Ключевые слова: многоуровневые семантические сети, компьютерная лингвистика, семантическая классификация, представление данных.

ABOUT THE ISSUE OF ORDERING A MULTILEVEL SEMANTIC WEB ON THE TREE OF SEMANTIC CLASSIFICATION

D. V. Lichargin¹, K. V. Safonov², O. I. Yegorushkin², E. P. Bachurina¹

¹Siberian Federal University
26, Kirenskiy str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation
²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: lichdv@hotmail.ru

This paper addresses the problem of presenting deep semantics of words, sentences, narrations and texts of the natural language within such a form of data presentation as semantic web. A model of multilevel semantic web of words is offered where word graph nodes and arcs include a graph of the inner level semantic web of semes. A method of semantic web different levels correlations on the words and semes level is offered based on the matrixes, including the equivalent arguments of the natural language words semantics elements. The issue of ordering the multilevel semantic web on the vector-based semantic data classification is touched upon. A conclusion is made about the necessity of the continuation of the research concerning the necessity to elaborate the software of deep semantics description matrixes generation.

Keywords: Multilevel Semantic Web, Computational Linguistics, Semantic Classification, Data Representation.

В работе рассматривается проблема представления глубинной семантики единиц естественного языка с учетом важности такой формы представления данных, как семантическая сеть, а также проблема упорядочения данных семантической сети как средство обеспечения прозрачности и более качественной работы с семантическими сетями. Учитывается вопрос о трансформации семантического графа узлов и дуг, являющихся составными объектами, включающими графы семантической сети более низкого уровня, с возможностью осуществления его перегруппировки в граф семантической сети иного по форме предложения.

На сегодняшний день широко распространены и разрабатываются методы и схемы представления лингвистических данных, такие как онтологии, реляционные базы данных, семантические и лингвистические классификации, многомерные базы данных, OLAP-системы, фреймы, правила порождающих грамматик и правила логического вывода на основе декларативных языков программирования [1-4]. В частности, одной из наиболее фундаментальных форм представления лингвистических данных является семантическая сеть. Семантические сети показывают себя весьма эффективным средством представления языка, особенно по отношению к небольшим объемам данных и предметным областям. Различными исследователями по-разному решается проблема обеспечения непротиворечивости и смысловой связности в рамках более крупных семантических сетей. Семантические сети активно используются в качестве формы представления данных в различных лексических, грамматических, семантических и иных модулях лингвистического программного обеспечения. Однако важным, до конца не решенным вопросом является представление многоуровневой семантики различных единиц языка: сем, слов, предложений, повествований и текстов, исследование возможностей перегруппировки дуг и узлов графа более низкого уровня в структуры более высокого уровня.

Актуальность решения упомянутой выше проблемы состоит в необходимости освоения новых возможностей семантических трансформаций разного рода над единицами естественного языка, а также необходимости сделать семантические сети более прозрачными через использование их проекций на упорядоченные множества данных.

Проблема представления и упорядочения многоуровневых глубинных семантических данных с привлечением семантических сетей рассматривается на стыке таких наук, как лингвистика, компьютерная лингвистика, искусственный интеллект, логика, системный анализ, теория баз данных, теория предикатов, математическая семантика, валентностное представление естественного языка, дискретная математика и теория графов.

Проблема создания соответствующих программных систем, позволяющих генерировать описания глубинной семантики слов естественного языка, и другие проблемы могут успешно решаться в некотором приближении с учетом акцента на то или иное подмножество естественного языка, в частности, на основе операций над векторизованной классификацией слов естественного языка.

Цель данной работы состоит в построении модели упорядочения семантической сети над векторизованной классификацией семантических данных с учетом многоуровневой структуры таких сетей. Такая модель может позволить автоматически генерировать матрицы глубинных семантических связей между элементами смысла слов (в предложении), иначе говоря, упорядочивать отношения между семами от различного числа их составляющих [2; 4].

Задачи данной работы заключаются:

- 1) в построении модели, содержащей описание структуры элементов многоуровневой векторизованной семантической классификации над словами и семами естественного языка;
- 2) демонстрации примеров и принципиальной возможности описания семантических сетей слов на основе семантических подсетей сем как единиц естественного языка и возможностей осуществления соответствующих семантических трансформаций.

Основная идея работы состоит в разработе подхода к автоматической генерации графа вложенной семантической сети уровня сем для исходной семантической сети слов, упорядоченных на дереве векторизованной семантической классификации.

Новизна работы состоит в использовании модели векторизованной семантической классификации слов естественного языка, описанной в работах [2; 4], в применении к созданию в перспективе системы автоматического построения подсети сем для фрагмента текста на естественном языке.

Пусть W есть пара < N, E>, где N есть множество узлов семантической сети, являющихся словами естественного языка (или сочетаниями сем, не выражаемых на естественном языке в достаточно хорошем приближении), а E есть множество дуг графа семантической сети слов (или нетерминальных символов языка).

Тогда W есть пара <N, E>, где N есть множество узлов вложенной семантической сети, являющихся семами слов (или искусственных понятий) естественного языка, тогда как E' есть множество дуг графа вложенной семантической сети, также описываемых семами слов (или нетерминальных сочетаний сем естественного языка).

Для любого n_i элемента множества N справедливо, что $n_i \supset \{n'_{j1}, n'_{j2}, ..., n'_{j3}\}$, и для любого e_k элемента множества E справедливо, что $e_k \supset \{e'_{p1}, e'_{p2}, ..., e'_{pr}\}$, где n' и e' есть элементы множеств N' и E' соответственно. Иначе говоря, каждый элемент (узел или дуга) графа семантической сети слов включает в себя множество элементов (узлов и дуг) графа семантической сети сем.

Будем говорить, что сеть W^{v} является результатом переупорядочения подсети W^{s} , если для всех n^{v}_{i} и e^{v}_{i} сети W^{v} $n^{v}_{i} \supset \{n^{v}_{j1}, n^{v}_{j2}, ..., n^{v}_{j3}\}$ и $e^{v}_{k} \supset \{e^{v}_{p1}, e^{v}_{p2}, ..., e^{v}_{pr}\}$, где каждый элемент двух последних множеств является элементом подсети W^{s} .

Сеть W_s и сеть W_z будем считать синонимичными тогда и только тогда, когда они являются результатами переупорядочения сетей W_s и W_z , где $W_s \equiv W_z$. Мощность q множества Q, где $Q = W_s \cap W_z$, назовем степенью подобия семантических сетей W_s и W_z . Пусть h есть мощность множества H, где $H = W_s \cup W_z$. Тогда g = q / h, назовем g степенью синонимичности частично синонимических семантических сетей W_s и W_z . Очевидно, что степень синонимичности семантических сетей будет действительным числом от 0 до 1.

Тождественные элементы значения слов в тексте. Отождествление компонентов значения является важной операцией над словами и семами текста на естественном языке. В тексте на естественном языке значения слов могут описываться как множество сем, связанных между собой графом отношений. В рамках традиционной семантики в синтагме, например, «тянуть телегу» понятие «тянуть» подразумевает физическое тело, изменяющее свои координаты в пространстве. «Телега» - это физическое тело, созданное человеком для передвижения в пространстве. Таким образом, понятия «движение» и «физическое тело» являются семантическими признаками - семами слов. Повторы смысловых компонентов должны иметь место в тексте и заголовке текста, различных частях текста, в синтагматических парах, фразах и предложениях, все они связаны «скрытыми» дугами семантического графа более низкого уровня, чем семантическая сеть слов.

Значение фразы «Водитель купил новый навигатор. Он хороший» может быть представлено в виде семантической сети:

```
{купил >делатель(99%)> водитель, купил >объект действия(99%)> навигатор, навигатор >свойство(99%)> новый, навигатор >свойство(77%)> хороший, водитель >свойство(33%)> хороший}. Подсеть сем сети слов для данной фразы будет иметь следующий вид:
{ситуация вождения:
```

```
\{существо_1 > причина_1 > причина_2,
   существо_1 > идея_{3.1} > причина_2,
   cyщество_1 > udeя_{3.2} > место_1,
   cyщество_1 > udeя_{3.3} > annapam_1,
   annapam_1 > npuчuнa_2 > cвязь_1,
   cyщество_1 > cвязь_1 > место_1,
   место_1 < ycmoйчивость_1 < высокая_1
ситуация покупки:
   \{cvuecmbo_3 < \partial e \ddot{u}cmbue_1 > cvuecmbo_2,
   существо_3 > причина_3 > связь_2,
   cyuecmbo_2 > cbязь_2 > npedмem_1,
   ...}
ситуация навигации:
   \{ycmpoйcmso_1 > npuчuнa_4 > udeя_1,
   cyщество_2 > udeя_1 > место_2,
   cyщество_2 > udeя_{I.I} > место_3,
   cyщество_2 > udes_{1,2} > включение_1,
   существо_2 > udeя_{1,3} > ycmpoйcmвo_1,
   место_3 > включение_1 > место_2,
   существо_2 > cвязь_3 > место_1,
   cyщество_2 > npuчuнa_5 > npuчuнa_4
свертка сем ситуаций:
   \{ cyщество_2 < moж дество_1(80\%) > cyщество_1 \},
грамматические связи:
   \{npedmem_1 < moжdecmso_2 > annapam_1\},
```

Такая фраза, как «Этот любитель машин недавно взял полюбившееся средство ориентации на местности по определенной цене», будет частично синонимична рассмотренной фразе «Водитель купил новый навигатор. Он хороший».

Задача разработки алгоритма порождения всех, в частности синонимичных, высказываний ставится, например, О. Н. Селиверстовой: «Задача синтеза предложений естественного языка, синонимичных друг другу и исходному предложению, ставится как задача множественного синтеза; необходимо получить по возможности все предложения, синонимичные данному». Примеры частично синонимичных предложений приводятся ниже: «То, что сказал Петр, заставило меня сильно возмутиться», «Слова Петра возмутили меня до глубины души», «Слова Петра вызвали у меня глубокое возмущение», «От слов Петра меня охватило огромное возмущение», «Слова Петра были причиной моего глубокого возмущения», «Мое глубокое возмущение было результатом / следствием слов Петра», «Мое глубокое возмущение было вызвано словами Петра», «Я негодовал по поводу слов Петра», «Я говорил, что слова Петра мне не понравились», «Я подумал, что мы не можем мириться со словами Петра», «По моему мнению, слова Петра были ужасны» и т. д.

Концепция перефразирования, предлагаемая далее, призвана осуществлять приведение смысла к простейшему стандартному виду, например, трансляция фразы с семантическим шумом «Он - её поддержка, он - её мысли» во фразу без семантического шума «Очевидно, она думает о нем, и он помогает ей». Далее семантическую сеть такой фразы можно трансформировать в любую синонимичную ей фразу и соответствующую сеть слов, например во фразу «Явственность её переживаний о нем поселилась в её душе; он дает ей неизменную поддержку». Построение многоуровневых семантических сетей на основе упорядочения их элементов на пространстве классификации может способствовать обеспечению работы алгоритма по перефразированию фраз языка такого вида. Этот подход может использоваться для поддержки диалогов программных систем с пользователем с учетом предварительно заданной контекстуальной информации: о внешнем мире, жизни собеседника, текущих делах собеседника, личности собеседника, его мировоззрении, его характере. Такая информация может быть организована в виде вариантов крупных частично синонимичных семантических сетей. Так, перефразирование может осуществляться на основе сфер, представленных в виде графов отношений на векторизованных классификациях терминальных и нетерминальных единиц языка, в частности, для генерации характерных для человека ошибок и оговорок в целях более успешного прохождения теста Тьюринга.

Классификация слов и понятий естественного языка. Рассмотрим многомерное семантическое пространство единиц естественного языка — слов и предложений.

Такое пространство слов позволяет генерировать семантически осмысленные фразы естественного языка. Возможно построение многомерного представления данных с приводимыми координатами вектора понятийного описания (табл. 1) [4].

Рассмотрим принципы упорядочения семантической многоуровневой сети $M = \langle W, W' \rangle$ на дереве векторизованной классификации слов языка. Дерево векторизованной классификации $H = \langle c[f_1, f_2, ..., f_m], T \rangle$, где c – вектор классификации T, а $T = b[f_1, f_2, ..., f_2, ...]$ $f_m^1 < b[f_1^2, f_2^2, ..., f_m] < b[f_1^3, f_2^3, ..., f_m], ...>, b[f_1^4, f_2^4, ..., f_m] < b[f_1^5, f_2^5, ..., f_m], ...>, ..., b[f_1^6, f_2^6, ..., f_m] < b[f_1^7, f_2^7, ..., f_m], ...> — дерево классификации, при том, что <math>b[f_1^1, f_2^1, ..., f_m]$ есть родительский узел узла $b[f_1^y, f_2^y, ..., f_m^y]$ дерева T так, что $f_{u}^{l'} = f_{u}^{y'}$ при u < u', в то время как $(f_{u}^{l'} = \lambda)$ Л $(f_{u}^{y'} \neq \lambda)$ при u = u', тогда как $(f^{1'}_{u} = \lambda)$ л $(f^{y'}_{u} = \lambda)$ при u > u', где u' есть уровень текущего узла классификации. В табл. 2 приводится глубинный семантический анализ фразы на естественном языке на примере фразы «Он разбил ее сердце». В столбцах и колонках вложенных таблиц для каждого слова указаны семы, а в ячейках - тождественность их элементов, подобных аргументам «arg(...)» соответствующих функций.

Таблица 1 Примерный вектор классификации слов и предложений естественного языка

	ВАРИА	РИАНТЫ (3)				
ОПЕРАЦИЯ	НАД ОБЪЕКТОМ	ЛОКАЛИЗАЦИЯ	СВОЙСТВА	(2)	ЛЕКСИЧЕСКАЯ ГРУППА	ЛЕКСИЧЕСКИЕ РЯДЫ
essence сущность	consciousness сознание	of alive часть живого	maximally максимально	nominal group именная группа	ТОЖЕ, ЧТО В ТЕМЕ (1)	causation причина- следствие
essence of something сущность чего-то	being существо	in alive в живом	very очень	verbal group глагольная группа		time время
ргоретту свойство	relation отношение	on alive на живом	rather достаточно	bond связь		existing существующее
link связь	thing вещь	at alive около живого	a little несколько	aspect аспект		non-existing несуществующее

Окончание табл. 1

		TEMA (1)	позиция	ВАРИАНТЫ (3)			
ОПЕРАЦИЯ	НАД ОБЪЕКТОМ	ЛОКАЛИЗАЦИЯ	СВОЙСТВА	(2)	ЛЕКСИЧЕСКАЯ ГРУППА	ЛЕКСИЧЕСКИЕ РЯДЫ	
action действие	information информа- ция	of not alive часть неживого	little мало	ргорегtу качество		possible возможный	
connecting соединение	idea идея	in not alive в неживом	minimally минимально	system система		necessary необходимый	
presentation представ-	рlасе место	on not alive на неживом				start начало	
changing обмен	relation отношение	at not alive около неживого	positive позитивный			stop остановка	
		of which alive часть которого – живое	complex сложный			continuation продолжение	
		in which alive в котором живое	stable стабильный			И другие	
			И другие				

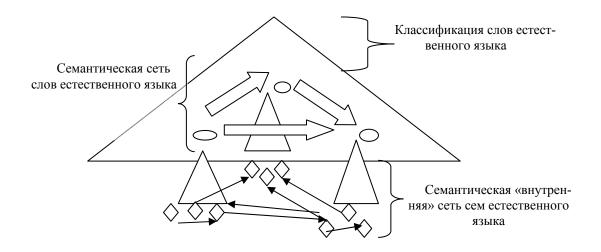


Рис. 1. Общая схема многоуровневой упорядоченной на классификации семантической сети

В разделе «Синтагмы» указаны глубинные отношения за пределами каждого отдельного слова естественного языка в виде ссылок «adr(...)».

Каждое слово языка имеет свое место в многомерной или древесной классификации слов и понятий на основе соответствия каждого слова вектору семантиче-

ских признаков. При этом такая иерархия может служить формой упорядочения элементов многоуровневой семантической сети, с учетом возможности реорганизации сети слов в иную частично или полностью синонимичную ей сеть (рис. 1).

Глубинные отношения тождества векторов семантических признаков в векторном представлении

Он			BNG		MALE		ACT-BNG-BNG-IDE							
							ACT		BNG		BNG		IDE	
		BNG		arg(0) = arg(0)		arg(0) = arg(0)	-		_		_	arg	arg(0) = arg(2)	
	MALE	MALE				arg(0) = arg(0)	-		-		_		_	
		ACT					arg(0) = a	arg(0)		-	_		_	
	ACT-BNG-BNG-	BNG							arg(0	= arg(0)				
	IDE	BNG									arg(0) = arg(0)		- (0)	
	IDE												$(0) = \arg(0)$	
	Text 1 СИНТАГ	4T.1	- 1-(0) -	(0)	-				-			arg	$(0) = \arg(1)$	
	Сиптап	VIDI	adr(0) =	arg(0)										
Разбил			T	ACT	-BNG-T	NC	T	1		T	1			
т азоил				ACT BNG		TNG	EXI	1	N-EXI	GETS	GETS	PART	PART	
	,		arg(0) =											
	ACT-BNG-	ACT	$= \arg(0)$	arg(1) =		arg(2) = arg(0)	-		-	_	-	-	_	
	TNG	BNG		arg(0) =	arg(0)	_	-		_	_	_	_	_	
		TNG				arg(0) = arg(0)	$ arg(0) = \\ = arg(1) $	arg(0	$0) = \arg(1)$	-	arg(0) = arg(1)	-	-	
	EXI						$ arg(0) = \\ = arg(0) $		_	arg(1) = arg(1)	_	-	-	
	N-EXI							arg(($0) = \arg(0)$	arg(1) = arg(2)) –	_	_	
	GETS									arg(0) = arg(0)		arg(2) = arg(0)	arg(2) = arg(0)	
	GETS									2() 2(arg(0) = arg(0)	-	-	
	PART										### ### ### ### ### ### ### ### ### ##	arg(0) = arg(0)	$arg(0) \neq arg(0)$	
	PART												arg(0) = arg(0)	
	СИНТАГ	ЛЫ		adr(0	0) =	adr(1) = arg(0)								
Eë				1		1				ACT-RN	G-BNG-IDE			
LC			BNG			FEM	ACT		BNG		BNG	IDE		
	BNG		arg(0) = arg(0)		_	-		-		-	arg(0) = arg(2)			
	FEM		arg($0) = \arg(0)$	-		_		_	-			
	ACT				, 5()	arg(0) = arg(0)		_		_	_			
	ACT-BNG-BNG-BNG IDE BNG								arg(0) = arg(0)	_		_	
											arg(0) = arg(0)	arg(0) = arg(0)		
		IDE											arg(0) = arg(0)	
	Text 1											arg(0	= arg(1)	
Сердце			_	DE				ACT-BNG-ANY				POS		
-			IDE			ACT	BNG		G	ANY				
	IDE		arg(0) = arg(0)		-		_		-		arg(2) = arg(2)			
	ACT-BNG-ANY BNG ANY POS				arg(0) = arg					arg(0)	_			
							arg(0) =	arg(0)	$-\operatorname{arg}(0) = \operatorname{arg}(0)$					
					-					arg(0) =	arg(0)	arg(0) = a	ra(0)	
	СИНТАГМЫ		adr(1) = arg(1), adr(0) = arg(2)								aig(0) = a	18(0)		
	Сиптагмы		adr(1) = arg(1), adr(0) = arg(2)						l					

В работе выполнен анализ проблемы представления семантической сети слов в рамках предложений естественного языка, синонимичных и частично синонимичных друг другу. Предложена модель представления вложенной сети сем многоуровневой семантической сети сем и слов естественного языка с привлечением матриц, описывающих глубинную семантику слов в предложении. Затронут вопрос построения программы, автоматически генерирующей такие матрицы на основе семантического векторизованного словаря и предполагающей вариативность интерпретаций - внутренних сверток (задания отношений тождества) элементов значения высказываний. Последнее могло бы дать возможность использовать рассматриваемую модель для моделирования процессов интерпретации и перефразирования мыслей, часто выходящих за рамки семантики исторически устоявшихся терминальных слов и выражений языка.

Библиографические ссылки

- 1. Avancini H., Lavelli A., Sebastiani F., Zanoli R. Automatic Expansion of Domain-Specific Lexicon by Term Categorization. ACM Translation on Speech and Language Processing. 2006. Vol. 3, No. 1. P. 1–30.
- 2. Сафонов К. В., Личаргин Д. В. Elaboration of a vector-based semantic classification over the words and notions of the natural language // Вестник СибГАУ. 2009. № 5 (26). С. 52–56.

- 3. Сафонов К. В., Личаргин Д. В. Разработка векторизованной семантической классификации над словами и понятиями естественного языка // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 33–37.
- 4. Сафонов К. В., Личаргин Д. В. Некоторые принципы автоматической генерации учебных материалов на основе баз знаний и лингвистической классификации // Вестник СибГАУ. 2012. № 2 (42). С. 72–77.

Reference

- 1. Avancini H., Lavelli A., Sebastiani F., Zanoli R. Automatic Expansion of Domain-Specific Lexicon by Term Categorization. *ACM Translation on Speech and Language Processing*, Vol. 3, No. 1, May 2006, p. 1–30.
- 2. Safonov K. V., Lichargin D. V. [Elaboration of a vector-based semantic classification over the words and notions of the natural language]. *Vestnik SibGAU*, 2009, vol. 26, no. 5, p. 52–56. (In Russ.)
- 3. Safonov K. V., Lichargin D. V. [Development vectorized semantic classification of words and concepts of natural language]. *Vestnik SibGAU*, 2010, vol. 30, no. 4, p. 33–37. (In Russ.)
- 4. Safonov K. V., Lichargin D. V. [Some of the principles of automatic generation of training materials based on knowledge bases and linguistic classification]. *Vestnik SibGAU*, 2012, vol. 42, no. 2, p. 72–77. (In Russ.)

© Личаргин Д. В., Сафонов К. В., Егорушкин О. И., Бачурина Е. П., 2014

УДК 62.501

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ К *H*-МОДЕЛЯМ БЕЗЫНЕРЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

А. В. Медведев

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: Saor_medvedev@sibsau.ru

Исследуется проблема моделирования дискретно-непрерывных процессов, имеющих «трубчатую» структуру в пространстве входных-выходных переменных. Моделирование процессов этого класса существенно отличается от общепринятых параметрических моделей, представляющих собой поверхности в том же пространстве. При построении обучающихся параметрических моделей «трубчатых» процессов необходимо использование соответствующих непараметрических индикаторов. Рассмотрены некоторые частные примеры моделирования «трубчатых» процессов, из которых следует, что процессы протекают в пространствах дробной размерности. Приводится случай функции многих переменных и анализируется ситуация, когда с течением времени эти переменные могут «исчезать» и «возникать» вновь. Показано, что вычисление размерности дробного пространства может осуществляться различными путями.

Ключевые слова: априорная информация, идентификация, непараметрическая модель, непараметрические алгоритмы, H-модели, пространство дробной размерности.

SOME NOTES ON H-MODELS FOR NON-INERTIA SYSTEMS WITH A DELAY

A. V. Medvedev

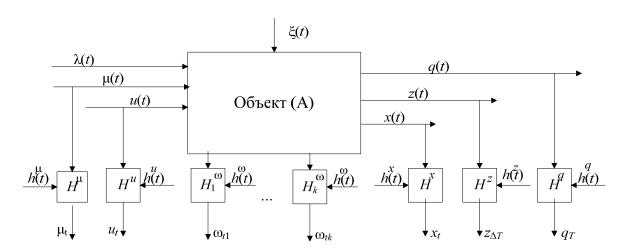
Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: Saor medvedev@sibsau.ru

The paper examines the modeling problem of discrete-continuous processes with a "tubular" structure in the space of the "input-output" variables. Modeling of processes in this class differs from the conventional parametric models represented the surface in the same space. One should apply the appropriate non-parametric indicators while building learning parametric models of the "tubular" processes. Some specific examples of "tubular" processes modeling are considered. It follows from them that the processes are in spaces of fractional dimension. The case of the function with multiple variables is given and the situation when these variables can "disappear" and "occur again" is analyzed. It is shown that the calculation of fractional dimension space can be realized in different ways.

Keywords: a priori information, identification, nonparametric model, nonparametric algorithms, H-models, space of fractional dimension.

Идентификация многих стохастических объектов часто сводится к идентификации статических систем с запаздыванием. Обусловлено это тем, что некоторые выходные переменные объекта контролируются через значительно большие интервалы времени, чем входные, и существенно превышают постоянную времени объекта. Например, ряд переменных измеряется электрическим способом (в этом случае дискретность контроля Δt может быть достаточно мала), а другие переменные контролируются в результате химического анализа или физико-механических испытаний (в этом случае дискретность контроля ΔT велика, т. е. $\Delta T >> \Delta t$).

Наиболее общая схема исследуемого дискретнонепрерывного процесса может быть представлена на рисунке, где приняты следующие обозначения: A — неизвестный оператор объекта; x(t), z(t), q(t) — выходные переменные процесса; u(t) — векторное управляющее воздействие; $\mu(t)$ — входная неуправляемая измеряемая переменная процесса; $\lambda(t)$ — входная неуправляемая неизмеряемая переменная процесса; $\xi(t)$ — векторное случайное воздействие; $\omega^i(t)$ i = 1, 2, ..., k — переменные процесса, контролируемые в том числе по длине объекта, (t) — непрерывное время; H^μ , H^u , H^x , H^z , H^q , H^ω — каналы связи, соответствующие различным переменным, включающие в себя средства контроля, приборы для измерения наблюдаемых переменных; μ_t , u_t , x_t , $z_{\Delta T}$, q_T , ω_t — означают измерение $\mu(t)$, μ



Общая схема исследуемого процесса

Отметим существенное отличие выходных переменных z(t), q(t) и x(t), представленных на рисунке. Выходная переменная x(t), равно как и входные, контролируется через интервалы времени Δt , q(t)контролируется через существенно большие интервалы времени ΔT , z – через T ($T>> \Delta T>> \Delta t$). С практической точки зрения для исследуемого процесса наиболее важным часто является контроль переменных z(t). Например, выходные переменные x(t) контролируются с помощью различного рода индукционных, емкостных и других датчиков, q(t) – на основе лабораторных анализов, а z(t) – в результате длительного химического анализа, физико-механических испытаний и др. Этим и обусловлено существенное отличие дискретности контроля выходных переменных x(t), z(t) и q(t). Особенностью здесь является то, что измеренное значение выхода объекта станет известным только через определенные промежутки времени, этим объясняется задержка в измерениях выходных переменных объекта x(t), g(t) и z(t).

В этом случае значения выходных переменных зависят от входных и $\omega(t)$ (дополнительная информация), т. е. следующим образом:

$$x(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \lambda(t), \xi(t), t). \tag{1}$$

При моделировании подобных процессов, учитывая различную дискретизацию контроля измерений x(t), q(t) и z(t), при прогнозировании q(t) и z(t) естественно использовать весь набор переменных, влияющих на прогноз x(t), q(t), z(t):

$$\hat{x}(t) = \hat{A}(u(t), \mu(t), \omega(t), t), \tag{2}$$

$$\hat{q}(t) = \hat{A}(u(t), \mu(t), \omega(t), \hat{x}(t), t), \qquad (3)$$

$$\hat{z}(t) = \hat{A}(u(t), \mu(t), \omega(t), \hat{x}(t), \hat{q}(t), t) . \tag{4}$$

Учитывая большие значения ΔT и T, значительно превышающие постоянные времени объекта, при моделировании придется учитывать, что процессы относятся к классу статических с запаздыванием, что значительно повышает их роль и значение в задачах идентификации и управления стохастическими системами.

Для дальнейшего изложения, без нарушения общности, «свернем» все входные и выходные переменные в соответствующие векторы. Тогда исследуемый объект может быть представлен статическим с запаздыванием. Такой процесс целесообразно по соответствующему каналу представить в виде

$$x(t) = f(u(t-\tau), \xi(t)), \tag{5}$$

где x(t) — выходная переменная объекта; $u(t-\tau)$ — совокупная входная переменная; τ — запаздывание; $\xi(t)$ — случайное возмущение, действующее на объект; t — непрерывное время.

Выборка наблюдений в дискретном виде может быть представлена следующим образом: u_t, x_{t+n+m} , где n — дискретность запаздывания, $n = \tau / \Delta t$;

m — задержка, вызванная длительностью контроля, $m = \Delta T/\Delta t$; $t=1,\ 2,\ ...,\ s$. Осуществляя сдвиг реализации x_t , $t=\overline{1,s}$, на (n+m) тактов, выборку наблюдений можно переписать следующим образом: $\left\{u_t,x_t,t=\overline{1,s}\right\}$ и, без нарушения общности, свести задачу идентификации к идентификации статического объекта с запаздыванием.

Идентификация в узком и широком смысле. Как было отмечено ранее, при моделировании разнообразных дискретно-непрерывных процессов в настоящее время доминирует теория идентификации в узком смысле. Ее содержание состоит в том, что на первом этапе, на основании имеющейся априорной информации, определяется параметрический класс оператора объекта A^{α} , например:

$$\tilde{x}_{\alpha}(t) = A^{\alpha}(u(t), \alpha), \qquad (6)$$

где A^{α} — параметрическая структура модели; α — вектор параметров.

На втором этапе осуществляется оценка параметров α на основе имеющейся выборки $\{x_i, u_i, i=\overline{1,s}\}$, где s — объем выборки. Успех решения задачи идентификации в этом случае существенно зависит от того, насколько «удачно» определен оператор (6).

Идентификация в широком смысле предполагает отсутствие этапа выбора параметрического класса оператора. Часто оказывается значительно проще определить класс операторов на основе сведений качественного характера, например, линейности процесса или типа нелинейности, однозначности либо неоднозначности и др. В этом случае задача идентификации состоит в оценивании этого оператора на основе выборки $\{x_i, u_i, i=\overline{1,s}\}$:

$$\tilde{x}_s(t) = A_s(u(t), \vec{x}_s, \vec{u}_s), \qquad (7)$$

где $\vec{x}_s = (x_1, x_2, ..., x_s)$, $\vec{u}_s = (u_1, u_2, ..., u_s)$ — временные векторы. Оценка оператора A_s может быть осуществлена средствами непараметрической статистики. Примечательным здесь является то, что при этом исключается этап выбора параметрической структуры. Тем самым можно утверждать, что идентификация в этом случае, а это вариант идентификации в широком смысле, является более адекватной реальным задачам практики.

Идентификация статической системы. Пусть $u=(u_1,\ \dots,u_k)\in\Omega(u)\subset R^k$, $x\in\Omega(x)\subset R^1$. Вообще говоря, каждая компонента вектора $u_i\in[a_i;b_i]$, $i=\overline{1,k}$, а $x\in[c;d]$. При исследовании реальных процессов значения коэффициентов $\left\{a_i,b_i,c,d\right\}$, $i=\overline{1,k}$, всегда известны. В технологических процессах значения этих коэффициентов регламентируются технологическим регламентом (картой). В дальнейшем, без нарушения общности, эти интервалы примем единичными [1], тогда $\Omega(u)$ — единичный гиперкуб, $\Omega_k(u)=[0;1]$, $\Omega_{k+1}(u,x)=[0;1]$, $(u,x)\in\Omega_{k+1}(u,x)$.

Задачу идентификации часто сводят к параметрической, состоящей из двух основных этапов. Первый этап — выбор (определение) параметрической модели (6) в виде $\hat{x} = \hat{f}(u,\alpha)$, где α — вектор параметров, и на втором этапе — последующая оценка параметров α на основании поступающих элементов выборки $(u_1,x_1),(u_2,x_2), \ldots,(u_s,x_s)$, т. е. получение оценки α_s . Адаптивная модель в этом случае будет выглядеть следующим образом:

$$\widehat{x}_{s}(u) = \widehat{f}(u, \alpha_{s}). \tag{8}$$

Оценка параметров α при наличии обучающей выборки может быть осуществлена методом наименьших квадратов или методом стохастических аппроксимаций. Такова общая схема решения задач параметрической идентификации. Отметим только, что наиболее «слабым» местом здесь является выбор параметрической структуры модели. Если на первом этапе допущена достаточно грубая ошибка, то в итоге полученная модель вряд ли будет удовлетворительной. Эта проблема достаточно подробно обсуждалась в [2; 3]. Там же предложен новый класс К-моделей, учитывающий в комплексе знание фундаментальных законов, другую априорную информацию об объекте, в том числе разнотипную. Обратим внимание на то, что модели класса (8) представляют собой гиперповерхности в пространстве входных-выходных переменных объекта, т. е. $(u,x) \in \Omega(u,x) \subset \mathbb{R}^{k+1}$.

Если исследуемый процесс имеет «трубчатую» структуру, то модель (8) необходимо подкорректировать следующим образом [2]:

$$\widehat{x}_{s}(u) = I_{s}(u)\widehat{f}(u,\alpha_{s}) \tag{9}$$

либо

где

$$\widehat{x}_s(u) = I_s(u) \sum_{j=1}^N \alpha_{sj} \varphi_j(u) , \qquad (10)$$

где $\phi_j(u)$ – система линейно независимых функций; индикатор $I_s(u)$ имеет вид

$$I_s(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u \in \Omega_s^H(u); \\ 0, & \text{если } u \in \Omega_s^H(u). \end{cases}$$
 (11)

Заметим лишь, что, вообще говоря, область $\Omega_s^H(u)$ нам не известна, а известна лишь выборка $\left\{x_i,u_i,i=\overline{1,s}\right\}$. Если индикатор равен нулю, то оценка $\widehat{x}(u)$, $\widehat{x}_s(u)$ не может быть вычислена, т. е. при таких значениях компонент вектора $u\in\Omega(u)$ процесс протекать не может. Если индикатор $I_s(u)$ при любом значении $u\in\Omega(u)$ равен единице, то модель (9) совпадает с (8). В качестве оценки индикатора $I_s(u)$ можно принять следующее приближение:

$$I_s(u) = \operatorname{sgn}(sc_s)^{-1} \sum_{i=1}^{s} \Phi(c_s^{-1}(x_s(u) - x_i)) \prod_{j=1}^{k} \Phi(c_s^{-1}(u^j - u_i^j)), (12)$$

$$x_s(u) = \sum_{i=1}^{s} x_i \prod_{j=1}^{k} \Phi(c_s^{-1}(u^j - u_i^j)) / \sum_{i=1}^{s} \prod_{j=1}^{k} \Phi(c_s^{-1}(u^j - u_i^j)), (13)$$

а параметр размытости c_s и колоколообразная функция $\Phi(\cdot)$ удовлетворяют условиям сходимости [4].

образом. при известном $u=u'\in\Omega(u)$ сначала строится оценка $x_s(u=u')$ по формуле (13), затем вычисляется индикатор $I_s(u)$ и только на следующем этапе используются модели (9) или (10), если индикатор оказался равным единице. Если же индикатор равен нулю, то это означает, что хотя $u' \in \Omega(u)$, но $u' \in \Omega^H(u)$, т. е. компоненты вектора $u = u' = (u'_1, ..., u'_k)$ определены неверно, иными словами, реально протекающий «трубчатый» процесс не соответствует совокупности заданных значений компонент вектора u = u'. Причины этого могут сокомпоненты TOM, что $u = u' = (u'_1, ..., u'_k)$ выбраны неверно либо измерены со значительной погрешностью типа «выброс». Конечно же, это справедливо только при условии, что располагаем представительной выборкой $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$. Следует заметить, что использование традиционных моделей типа (8) позволит получить оценку $\hat{x}(u=u')$, которая, естественно, будет далека от реальности.

Естественно считать, что процесс идентификации объекта в параметрической постановке также следует осуществлять с учетом «трубчатой» структуры объекта. Примем модель «трубчатого» процесса в виде

$$\widehat{x}(u) = I(u) \sum_{i=1}^{N} \alpha_j \varphi_j(u) , \qquad (14)$$

где $\phi_j(u)$, $j=\overline{1,N}$ — система выбранных линейно независимых функций; $I_s(u)$ — индикаторная функция (12).

Сформируем критерий оптимальности:

$$R(\alpha) = M \left\{ (x(u) - I(u) \sum_{j=1}^{N} \alpha_j \varphi_j(u))^2 \right\}.$$
 (15)

Наша цель состоит в отыскании таких $\alpha^* = (\alpha_1^*, \ \dots, \alpha_N^*)$, что

$$R(\alpha^*) = \min_{\alpha} R(\alpha). \tag{16}$$

Решение задачи (16) дается системой рекуррентных соотношений:

$$\alpha_s^l = \alpha_s^{l-1} + \gamma_s^l (x_s - I_s(u_s) \sum_{j=1}^N \alpha_{s-1}^j \varphi_j(u_s)) \varphi_j(u_s) I_s(u_s),$$

$$I = 1, \dots, N$$
(17)

В качестве оценки $I(u_n)$ примем приближения:

$$I_s(u_s) = \operatorname{sgn}(sc_s)^{-1} \sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{u_s - u_i^j}{c_s}\right).$$
 (18)

Ясно, что сходимость α_s к α_s^* следует при $s \to \infty$.

Об одной особенности моделирования «трубчатых» процессов. Приведем следующий пример, имеющий отношение к идентификации безынерционной системы. Рассмотрим следующий простой частный случай. Пусть объект описывается уравнением:

$$x(u) = f(u_1, u_2, u_3),$$
 (19)

где трехмерный вектор $u=(u_1,u_2,u_3)\in R^3$ является входной переменной, а $x\in R^1$ — выходная переменная. Традиционный путь построения модели процесса, описываемого (19), состоит в определении класса параметрических зависимостей $\hat{x}(u)=\hat{f}(u_1,u_2,u_3,\alpha)$ и последующей оценки параметров α тем или иным способом по выборке наблюдений $(u_i,x_i),\ i=\overline{1,s}$, где s — объем выборки. Проанализируем этот пример с разных точек зрения. Пусть компоненты вектора входных переменных $u=(u_1,u_2,u_3)$ стохастически никак не связаны, т. е. независимы. В этом случае естественно использовать обычный традиционный прием, описанный выше. Теперь предположим, что объективно компоненты вектора входных переменных функционально связаны, например,

$$u_2 = \varphi_1(u_1), \ u_3 = \varphi_2(u_2) = \varphi_2(\varphi_1(u_1)).$$
 (20)

Естественно, исследователь не знает о существовании зависимостей (20). В противном случае можно было бы сделать подстановку (20) в (19) и получить следующую зависимость x уже от одной переменной u_1 вида

$$x(u) = f(u_1, \varphi_1(u_1), \varphi_2(\varphi_1(u_1))). \tag{21}$$

Таким образом, зависимость (19) в приведенных выше условиях может быть сведена к одномерной зависимости x от u_1 . В случае, если зависимость u_3 от u_2 объективно отсутствует, то (19) легко приводится к виду

$$x(u) = f(u_1, \varphi_1(u_1), u_3),$$
 (22)

т. е. к двумерной зависимости x от u_1 , u_3 . Отсюда можно заключить, что при наличии функциональной зависимости между компонентами вектора и мы получаем зависимость x от u, в данном случае одно-, двух-, трехмерные. Подчеркнем еще раз, что о наличии функциональных зависимостей между компонентами вектора входных переменных исследователю не известно, просто мы проанализировали случай «Если бы...». А теперь проанализируем наиболее интересный случай, имеющий непосредственное отношение к H-процессам [1]. Пусть u_3 и u_2 , хотя и неизвестным образом, но стохастически связаны. Подчеркнем - стохастически, а не функционально. Вернемся еще раз к анализу того, что произошло. Во-первых, если компоненты вектора и независимы, то исследуемый процесс описывается функцией трех переменных. Если две компоненты вектора входных переменных и связаны функциональной зависимостью, то процесс описывается функцией двух переменных. Наконец, если две переменные связаны стохастически, то процесс описывается функцией более чем двух переменных, но менее чем трех?! Можно считать, что мы приходим к зависимости от дробного числа переменных и, следовательно, к пространству дробной размерности. Например, Б. Мондельброт в [5] замечает: «Кровеносная система человека – пульсирующая, живая – имеет размерность 2.7». Дробная размерность пространств, по видимому, впервые была отмечена в работах Хаусдорфа и Безиковича.

Рассмотрим следующую ситуацию. Из простоты соображений пусть интересующий нас процесс описывается (19).

В случае стохастической зависимости между переменными u2(u1), u3(u1) по имеющимся в наличии обучающим выборкам можно вычислить квадратичную ошибку прогноза $u_{2s}(u_1)$, $u_{3s}(u_1)$, где $u_{2s}(u_1)$, $u_{3s}(u_1)$ есть непараметрические оценки [3]:

$$\delta_{21} = \sum_{i=1}^{s} (u_2 - u_{2s}(u_1))^2 / \sigma_{u_2}^2 ,$$

$$\delta_{31} = \sum_{i=1}^{s} (u_3 - u_{3s}(u_1))^2 / \sigma_{u_3}^2 .$$
(23)

«Силу» стохастической связи λ между двумя произвольными переменными можно, например, вычислить по формуле:

$$\lambda = 1 - \delta \,, \tag{24}$$

где δ может быть равно δ_{21} либо δ_{31} .

Отсюда видно, что самая сильная стохастическая связь (функциональная) равна 1, отсутствие связи — при $\lambda=0$, а при стохастической зависимости между входными переменными $0<\lambda<1$.

Если в более общем случае такого рода процесс интерпретировать как функции многих переменных, то изменчивость этой функции во времени может быть, например, показана на нижеследующей цепочке соотношений, действующих во времени:

Поясним наши обозначения. Наиболее темным цветом ($\mathbf{u1}$) обозначены переменные, которые оказывают самое сильное влияние на \mathbf{x} (возможно, функциональная зависимость). Менее темное обозначение ($\mathbf{u1}$) говорит о более слабом влиянии переменной на \mathbf{x} (возможно, стохастическая зависимость), более слабое влияние на \mathbf{x} оказывают $\mathbf{u1}$ и $\mathbf{u1}$; $\mathbf{T}i$, где $i=\overline{1,9}$, — интервалы существования соответствующих зависимостей. Таким образом, в реально действующих процессах подобного рода роли значения переменных

существенно изменчивы. Из приведенных выше зависимостей видно, что некоторые переменные могут утрачивать свое значение, а некоторые утрачивают, а потом восстанавливаются, а некоторые новые переменные появляются впервые, как например u6, u7.

Если сохранить математический «облик» интерпретации функции многих переменных как точку многомерного пространства, то мы приходим к наличию пространства дробной размерности F^{λ} . Вычисление размерности F^{λ} можно осуществить, например, так:

$$\dim F^{\lambda} = (n+1) - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_{i,i+1} , \qquad (26)$$

где n — размерность вектора u; $\lambda_{i,i+1}$ означает «силу» стохастической связи между u_i и u_{i+1} .

В принципе, могут быть предложены и другие схемы вычисления размерности пространства. Например,

$$\dim F_1^{\lambda} = (n+1) - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_{1,i+1} , \qquad (27)$$

где $\lambda_{1,i+1}$ — зависимость всех компонент вектора u от одной компоненты u_1 .

При достаточно внимательном анализе разложения функций в ряды уместно вспомнить фразу В. И. Арнольда из замечательной книги «Теория катастроф» [6]: «Вычисления в этих прикладных исследованиях обычно проводились без общей теории за счет правильного отбрасывания одних членов ряда Тейлора и оставления других, наиболее важных. Из физиков, особенно систематически применявших теорию катастроф до ее возникновения, стоит особо выделить Л. Д. Ландау. В его руках искусство отбрасывать "несущественные" члены ряда Тейлора, сохраняя меньшие по величине "физически важные" члены, дало много включаемых в теорию катастроф результатов».

Итог статьи состоит в анализе особенностей, возникающих при моделировании процессов «трубчатой» структуры, которая имеет место всегда, если компоненты вектора входных переменных процесса стохастически зависимы. В этом случае традиционно используемые модели статических систем с запаздыванием неприменимы или могут приводить к значительным ошибкам. Наиболее интересным является тот факт, что мы приходим к необходимости введения пространства дробной размерности. Безусловно, важным является факт исчезновения и появления роли

значения некоторых входных переменных в различные периоды времени на значения выходных переменных процесса, что тесно связано не столько с пространством дробной размерности, сколько с пространством изменяющейся размерности.

Библиографические ссылки

- 1. Medvedev A. V. Nonparametric approximation in adaptive systems theory // Works of Applied Methods of Statical Analysis. Simulation and Statistical Inference. Новосибирск: СФУ, 2011.
- 2. Медведев А. В. Анализ данных в задаче идентификации // Компьютерный анализ данных моделирования. Минск : БГУ, 1995. Т. 2. С. 201–206.
- 3. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 4(30). С. 4–9.
- 4. Медведев А. В. H-модели для безынерционных систем с запаздыванием // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 5(45). С. 84–89.
- 5. Мондельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Ижевск : Ижевский ин-т компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 656 с.
- 6. Арнольд В. И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990.

References

- 1. Medvedev A. V. Nonparametric approximation in adaptive systems theory. *Works of Applied Methods of Statical Analysis. Simulation and Statistical Inference*, Novosibirsk, SFU Publ., 2011.
- 2. Medvedev A. V. [Data analysis in the identification problem]. *Kompyuternyy analiz dannyh modelirovaniya*. Minsk, BGU Publ., 1995, vol. 2, p. 201–206. (In Russ.)
- 3. Medvedev A. V. [The theory of non-parametric systems. Modeling]. *Vestnik SibGAU*. 2010, vol. 30, no. 4, p. 4–9. (In Russ.)
- 4. Medvedev A. V. [H-models for non-inertia systems with a delay]. *Vestnik SibGAU*. 2012, vol. 45, no. 5, p. 84–89. (In Russ.)
- 5. Mondelbrot B. *Fraktalnaya geometriya prirody* [Fractal Geometry of Nature]. Moscow Izhevsk, Izhevskiy institut kompyuternyh issledovaniy, NITS "Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika" Publ., 2010, 656 p.
- 6. Arnold V. I. *Teoriya katastrof* [Catastrophe Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1990.

© Медведев А. В., 2014

.

¹ Здесь речь идет о теории упругости.

УДК 629.78.001.5

ХИМИКО-КИНЕТИЧЕСКИЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ

Ц. Г. Надараиа¹, Л. А. Бабкина², И. Я. Шестаков², А. А. Фадеев²

¹OOO «KBOHT»

Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 75 E-mail: svoy_2010@list.ru

² Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: yakovlevish@mail.ru

Рассматривается энергетическая установка, совмещающая химические и кинетические накопители энергии. Маховичный накопитель выполнен в виде диска с пазами, в которых установлены аккумуляторные батареи. Установка снабжена гистерезисным двигателем на периферии маховика и бесколлекторным двигателем в центре. Рассмотрены способы восстановления кинетической энергии механического накопителя. Проведено численное исследование напряженно-деформированного состояния элементов конструкции аккумуляторной батареи под действием центробежной силы в пакете конечно-элементного анализа SolidWorks Simulation.

Ключевые слова: энергетическая установка, накопитель энергии, вращающиеся аккумуляторы.

CHEMICAL AND KINETIC ENERGY STORAGE DEVICE

C. G. Nadaraia¹, L. A. Babkina², I. Y. Chestakov², A. A. Fadeev²

1 "CVONT" LLC

75, Svobodny prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
E-mail: svoy_2010@list.ru

² Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: yakovlevish@mail.ru

Energy installation which is combined chemical and kinetic energy storage is disscussed. Flywheel storage is executed in the form of a disk with the grooves in which batteries are installed. The installation is equipped with hysteresis engine on the periphery of the flywheel and brushless the engine in the center. The ways how to get the kinetic energy of a mechanical drive are discussed. Numerical investigation of the stress-strain state of structural elements rechargeable batteries under the action of centrifugal force in the package finite element analysis SolidWorks Simulation has been carried out.

Keywords: power unit, energy storage rotating batteries.

Накопители энергии играют важную роль для транспортных систем, летательных аппаратов, источников аварийного и бесперебойного питания систем связи и телекоммуникаций, для атомных, ветровых, солнечных электростанций.

В технике широко применяются химические накопители энергии, в частности электрохимические аккумуляторы [1]. Количество накапливаемой энергии в аккумуляторах прямо пропорционально массе активных компонентов. Масса всего аккумулятора находится в статическом состоянии, поэтому ее кинетическая энергия относительно данного объекта равна нулю.

Известные механические (кинетические) накопители энергии [2–4] представляют собой быстровращающийся маховик различной формы. Количество запасённой энергии в кинетическом накопителе прямо

пропорционально моменту инерции вращающегося тела, разности квадратов угловой скорости вращения маховика.

Из-за высокой скорости вращения маховик и электропривод помещают в герметичную камеру с пониженным давлением воздуха или гелия, что приводит к ухудшению охлаждения электропривода и увеличению эксплуатационных расходов, связанных с поддержанием вакуума. Установка электропривода в отдельную герметичную камеру увеличивает габариты устройства, возникает необходимость применять уплотнительные устройства в подвижном соединении, что усложняет кинетический накопитель энергии.

Известен ёмкостно-кинетический накопитель энергии [5], содержащий конденсаторную батарею, включённую в цепь электрической машины постоянного тока, маховик, вал которого соединён с валом

электрической машины через муфту сцепления и механическую передачу, причём конденсаторная батарея установлена вдоль внутренней периферической поверхности маховика, а выводы конденсаторной батареи с помощью щёток подключены к контактным кольцам, которые смонтированы на валу маховика.

Недостатками данного устройства являются: сложность, громоздкость конструкции из-за наличия муфты и зубчатой передачи; массы электрической машины, муфты и зубчатой передачи не выполняют функции кинетического накопителя энергии. Поэтому упрощение конструкции, уменьшение массогабаритных показателей накопителей энергии является актуальной проблемой.

В данной работе предлагается совместить химический и кинетический накопители энергии в одном устройстве (рис. 1).

Накопитель содержит аккумуляторную батарею 1, постоянные магниты 2 бесколлекторного генератора, маховик 3, на внутренней периферической поверхности которого установлены аккумуляторные батареи 1, гистерезисный двигатель, магнитные кольца 4 которого расположены на наружной периферической поверхности маховика 3, статорные обмотки 5 гистерезисного двигателя установлены в неподвижном корпусе 6. В центре корпуса 6 имеется ось 7, на которой закреплены контактные кольца 8, вокруг которых вращаются щёточно-контактные аппараты 9, установленные на маховике 3. Статорные обмотки 10 бесколлекторного генератора расположены на маховике 3. Статорные обмотки 5. 10 гистерезисного двигателя и бесколлекторного генератора соединены с блоком коммутации 11, который через щёточно-контактные аппараты 9 и контактные кольца 8 подключён к электромеханической системе 12.

Химико-кинетический накопитель энергии работает следующим образом. От стационарного источника тока подается напряжение на статорные обмотки 5 гистерезисного двигателя. Маховик 3 раскручивается до рабочей частоты вращения n_2 , в результате чего вращающиеся массы накапливают кинетическую энергию. Во время работы химико-кинетического накопителя энергия заряженных аккумуляторных батарей 1 через блок коммутации 11 щеточноконтактного аппарата 9 и контактных колец 8 подается в электромеханическую систему 12. По мере расходования энергии аккумуляторных батарей происходит их подзарядка от статорных обмоток 10 через блок коммутации 11. При этом работает бесколлекторный генератор за счет наведения ЭДС в статорных обмотках 10 при вращении их вокруг постоянных магнитов 2, расположенных на оси 7. В результате кинетическая энергия вращающихся масс преобразуется в электрическую энергию. Накопленная кинетическая энергия, преобразованная с помощью бесколлекторного генератора в электрическую, может возвращаться через блок коммутации 11 щеточно-контактного аппарата 9 и контактных колец 8 электромеханической системы 12. По мере расходования кинетической энергии частота вращения маховика 3 снижается до опорного числа оборотов n_1 . Восстановление частоты вращения до рабочей частоты может осуществляться путем использования энергии торможения (в транспортных средствах) или энергии электростатических зарядов, образующихся на летательных аппаратах, или преобразования тепловой (кинетической) энергии отработавшего рабочего тела на двигателях в электрическую, или от стационарных источников тока. Кинетическую энергию, запасённую маховиком, определяют по известным формулам.

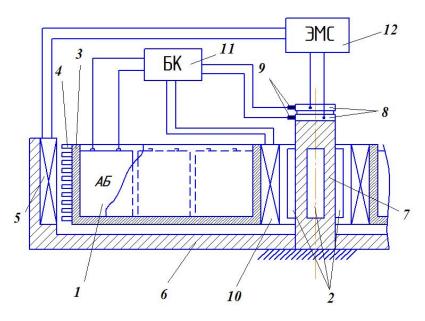


Рис. 1. Химико-кинетический накопитель энергии

Химико-кинетический накопитель имеет более широкие функциональные возможности по сравнению с отдельно взятыми маховиком и аккумуляторной батареей. В электромеханическую систему 12 энергия может подаваться или от аккумуляторных батарей 1, или от статорных обмоток 10 бесколлекторного генератора после преобразования кинетической энергии маховика 3 в электрическую, или одновременно от химического и кинетического накопителей энергии. Запасы энергии аккумуляторных батарей 1 могут пополняться или от электромеханической системы 12 или от статорных обмоток 10 бесколлекторного генератора, используя кинетическую энергию маховика 3.

В химико-кинетическом накопителе энергии отсутствуют муфта и редуктор, что приводит к уменьшению массы и габаритов накопителя. Массы магнитных колец 4 гистерезисного двигателя и статорные обмотки 10 бесколлекторного генератора вращаются вместе с маховиком 3 и тем самым вносят вклад в кинетический накопитель энергии.

Гистерезисный электродвигатель предназначен для разгона маховика и пополнения его кинетической энергии после её использования. За счет расположения магнитных колец гистерезисного двигателя на периферии маховика требуется значительно меньшее значение электромагнитной силы за счёт большого плеча действия этой силы, кроме того, при отсутствии напряжения на статорных обмотках такой двигатель не создаёт тормозящий момент.

Бесколлекторный генератор работает постоянно, через щёточно-контактный аппарат и блок коммутации пополняет запасы электрической энергии аккумуляторной батареи или отдаёт энергию в электромеханическую систему.

На рис. 2 аккумуляторные батареи (АБ) выполнены в виде секторов с однорядным расположением в маховике. На рис. 3 аккумуляторные батареи выполнены в виде колец и расположены в два ряда.

На рис. 4 аккумуляторы выполнены в виде секторов и расположены в три ряда. Данная конструкция предназначена для работы на больших скоростях вращения. При таких условиях необходимо учитывать центробежную силу. Для этого проведено численное исследование напряженно-деформированного состояния элементов конструкции маховика под действием центробежной силы в пакете конечно-элементного анализа SolidWorks Simulation. Созданная трехмерная геометрическая модель представлена на рис. 5. Конечно-элементная модель с расчетной схемой нагружения и результаты расчета (эпюра эквивалентных напряжений, эпюра перемещений, эпюра линейной деформации) представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

Модель подобной конструкции была создана и испытана при числе оборотов 3000 об/мин. Электрическое напряжение литий-ионных аккумуляторных батарей при испытаниях увеличилось на 2–5 %, целостность корпуса батарей не нарушалась. Использование кинетической энергии вращающихся АБ по ориентировочным расчётам позволит сократить массу накопителей энергии на 5–7 %.

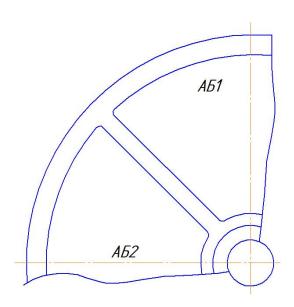


Рис. 2. АБ в виде секторов

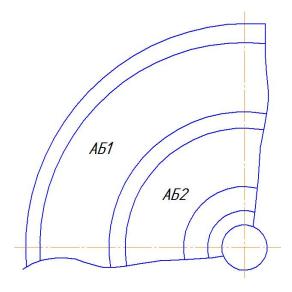


Рис. 3. АБ в виде колец в два ряда

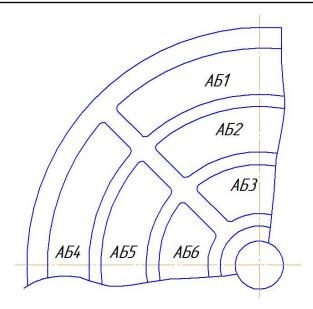


Рис. 4. АБ в виде секторов в три ряда

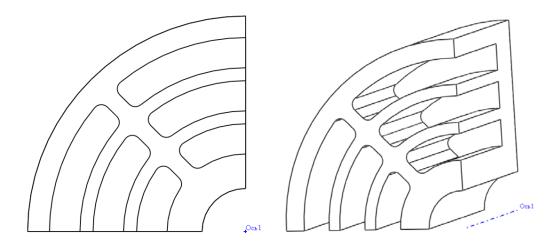


Рис. 5. Трехмерная геометрическая модель маховика

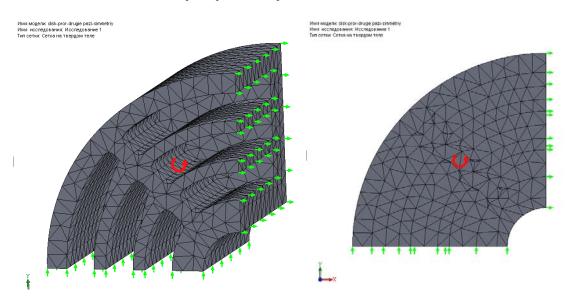


Рис. 6. Конечно-элементная модель маховика

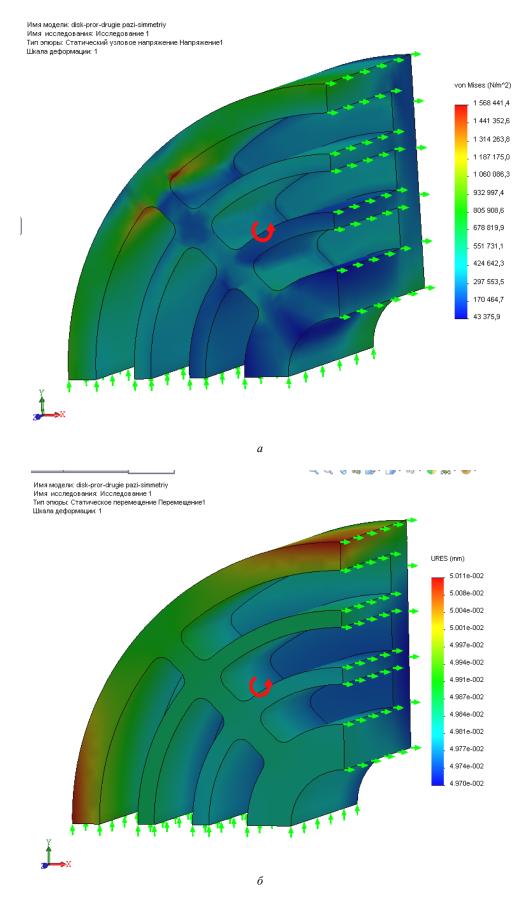


Рис. 7. Результаты расчета маховика: a — эпюра эквивалентных напряжений; δ — эпюра перемещений; ϵ — эпюра линейных деформаций (начало)

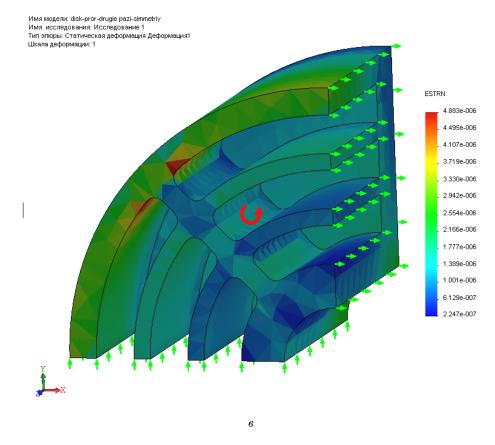


Рис. 7. (Окончание)

Библиографические ссылки

- 1. Хрусталёв Д. А. Аккумуляторы. М. : Изумруд, 2003. 224 с.
- 2. Гулиа Н. В. Накопители энергии. М. : Наука, 1980. С. 68–70.
- 3. А. с. 544049 SU, МПК 7 H 02 К 7/02. Электромаховичный аккумулятор / Н. В. Гулиа. № 2082809/07 ; заявл. 11.12.74; опубл. 25.01.77, Бюл. № 3. 3 с.
- 4. Пат. 2246034 RU, МПК⁷ F 03 G 3/08. Маховичный накопитель / Гулиа Н. В.. № 2003123507/06 ; заявл. 05.01.2001 ; опубл. 10.02.2005, Бюл. № 4. 8 с.
- 5. Пат. 2074475 RU, МПК⁷ H 02 J 15/00. Ёмкостнокинетический накопитель электроэнергии / Поляшов Л. И., Иванов А. М., Герасимов А. Ф. № 94028981/07; заявл. 01.08.1994; опубл. 27.02.1997.

References

- 1. Hrustaljov D. A. *Akkumuljatory* [Batteries]. Moscow, Izumrud Publ., 2003, 224 p.
- 2. Gulia N. V. *Nakopiteli energii* [Energy storage]. Moscow, Nauka Publ., 1980, p. 68–70.
- 3. Gulia N. V. *Elektromahovichnyj akkumuljator* [Elektromahovichnogo battery]. Patent RF, no. 544049, 1977.
- 4. Gulia N. V. *Mahovichnyj nakopitel'* [Flywheel storage]. Patent RF, no. 2246034, 2001.
- 5. Poljashov L. I., Ivanov A. M., Gerasimov A. F. *Jomkostno-kineticheskij nakopitel' elektroenergii* [Capacitive-kinetic power storage]. Patent RF, no. 2074475, 1997.

© Надараиа Ц. Г., Бабкина Л. А., Шестаков И. Я., Фадеев А. А., 2014 УДК 004.932

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ РУК НА ОСНОВЕ СКЕЛЕТНОЙ МОДЕЛИ КИСТИ РУКИ

А. В. Носов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31 E-mail: alexander@nosov.org

Рассматривается задача распознавания жестов кисти руки по статическому изображению. Предложен метод сегментации кисти руки, основанный на цветовой модели кожи в цветовом пространстве YCrCb. Приведены понятия «непрерывный скелет многоугольной фигуры», «радиальная функция скелета» и «максимальный пустой круг». Предложен метод распознавания жестов, основанный на анализе формы непрерывного скелета кисти руки и выделении признаков, классифицирующих образ жеста. Введено понятие центра ладони и предложен метод ее вычисления, основанный на непрерывном скелете ладони. Предложен метод вычисления координат начала и кончиков пальцев на основе непрерывного скелета и значения его радиальной функции.

Ключевые слова: обработка изображений, распознавание жестов рук, сегментация изображений, непрерывный скелет.

ALGORITHM OF HAND GESTURE RECOGNITION BASED ON SKELETON MODEL OF HAND

A. V. Nosov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: alexander@nosov.org

The task of hand gesture recognition in the context of image is considered in this article. Hand segmentation method, based on analysis color skin in the YCrCb color model is used. Following terms are defined: "Topological skeleton of polygonal figure", "radial function of topological skeleton", "maximum empty circle". Gestures recognition method based on the topological skeleton analysis and extraction essential for recognition features is offered. Center palm term is introduced and its calculation method based on the topological skeleton is offered. Moreover this article describes fingers origin and finger-tips coordinates calculation method based on the topological skeleton and its radial function value.

Keywords: image processing, hand gesture recognition, image segmentation, topological skeletons.

В области машинного зрения одной из перспективных задач является задача распознавания жестов рук. О важности данной задачи говорит большое количество работ в данной области [1–5]. Практическое применение технологии распознавания жестов рук включает в себя приложения виртуальной реальности, распознавания языка глухонемых, человекомашинного взаимодействия и др. Задачу распознавания жестов можно разделить на два этапа: локализация кисти руки и распознавание образа жеста. Оба этапа являются сложными и трудоемкими задачами.

В большинстве случаев жесты классифицируют на два типа: статические и динамические. Под статическим жестом понимается состояние ладони в определенный момент времени. Статические жесты иногда называют позами, их распознавание происходит на статическом изображении. Динамические жесты являются последовательностью статических жестов, и

распознавание их происходит на видеопоследовательности.

В данной статье рассматривается задача распознавания жестов кисти руки по статическому изображению. Для решения поставленной задачи в статье предлагается использовать метод сегментации, основанный на цветовой модели кожи, и метод распознавания, основанный на анализе формы кисти руки и выделении признаков, классифицирующих образ жеста. Анализ формы выполняется на основе непрерывного скелета. Скелет ладони позволяет анализировать направление жеста в пространстве, определить состояние пальцев (разжаты или сжаты в кулак). Инвариантные признаки являются дескрипторами формы ладони, позволяющими в быстрой степени производить поиск схожих жестов по имеющейся базе данных эталонных жестов. Предлагаемый алгоритм работает с силуэтом кисти руки, не учитывая текстуру ладони, что позволяет распознавать жесты людей различных рас и работать с изображениями низкого качества, полученными с веб-камер или в условиях слабой освещенности.

Сегментация по цвету кожи [6-8] представляет собой преобразование RGB-изображения в другое цветовое пространство, в котором различные цвета кожи расположены близко друг к другу. Чем ближе цвета кожи лежат друг к другу, тем качественнее будет проведена сегментация. Лучшим для сегментации кожи является пространство YCrCb [6]. Переход в пространство YCrCb из пространства RGB осуществляется следующим способом:

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,169 & -0,331 & 0,500 \\ 0,500 & -0,419 & -0,081 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}, \tag{1}$$

где Y – яркостная компонента; Cr и Cb – хроматические компоненты.

Уравнения линий, определяющих границы цвета кожи, представлены ниже:

$$\begin{cases} Cr \ge -2(Cb + 24); \\ Cr \ge -4(Cb + 32); \\ Cr \ge -(Cb + 17); \\ Cr \ge 25(Cb + Q_1); \\ Cr \ge Q_3; \end{cases}$$

$$\begin{cases} Cr \le \frac{220 - Cb}{6}; \\ Cr \le \frac{4}{3}(Q_2 - Cb); \\ Cr \ge 0, 5(Q_4 - Cb), \end{cases}$$
 (2)

где $Q_1,\ Q_2,\ Q_3$ и Q_4 являются вспомогательными переменными, которые вычисляются по формулам

$$\begin{cases} Y > 128, Q_1 = -2 + \frac{256 - Y}{16}; Q_2 = -20 - \frac{256 - Y}{16}; Q_3 = 6; Q_4 = -8; \\ Y \le 128, \qquad Q_1 = 6; Q_2 = 12; Q_3 = 2 + \frac{Y}{32}; Q_4 = -16 + \frac{Y}{16}. \end{cases} \tag{3}$$

В большинстве случаев после бинаризации на изображении образуются помехи в виде бинарного шума. Уменьшить их влияние можно путем применения к бинарному изображению морфологических операций «расширение» и «сужение».

Данный метод сегментации находит области, имеющие цвет, схожий с цветом кожи. Его хорошо применять для локализации рук, лиц и т. д. Однако есть вероятность появления нежелательных объектов (стены, одежда и т. п.), имеющих подобный цвет. Результат работы данного алгоритма представлен на рис. 1.

На основе бинарного изображения, полученного на этапе сегментации, можно построить скелет руки. Для определения скелета используется понятие максимального пустого круга.

Определение 1. Для многоугольной фигуры F максимальным пустым кругом будем называть всякий круг B, полностью содержащийся внутри фигуры F, такой, что любой другой круг B', содержащийся внутри фигуры F, не содержит в себе B [1].

Используя понятие максимального пустого круга, определим скелет следующим образом.

Определение 2. *Скелетом* многоугольной фигуры F является множество центров ее максимальных пустых кругов.

На скелете определена радиальная функция R(x, y), ставящая в соответствие каждой точке скелета (x, y) значение радиуса максимального пустого круга с центром в этой точке.

Геометрически скелет многоугольной фигуры представляет собой граф, состоящий из вершин — точек на плоскости и ребер — линий, соединяющих некоторые пары вершин. Причем ребром этого графа может являться либо отрезок, либо дуга параболы [1]. Степень любой вершины в таком графе будет равна 1, 2 или 3.

Существующие эффективные алгоритмы [1; 2] позволяют выполнять построение скелета за время $O(N\log N)$, где N – число вершин в многоугольнике. Построение скелета плоской фигуры подробно описано в статье [2]. В связи с тем, что скорость построения скелета напрямую зависит от количества углов многоугольной фигуры, для ускорения построения скелета можно применить аппроксимацию этой фигуры.

Суть алгоритмов аппроксимации заключается в том, чтобы по заданной многоугольной фигуре получить другую фигуру с меньшим числом вершин. Наиболее популярным и быстрым в исполнении является алгоритм Дугласа—Пекера. Данный алгоритм с указанной точностью позволяет аппроксимировать ломаную или многоугольную фигуру. Алгоритм можно представить в виде нескольких шагов:

Шаг 1. Вычисляется максимальное расстояние между вершинами исходной фигуры. Эти вершины помечаем как M и N.

Шаг 2. Исходная фигура разбивается на две ломаные так, что первая и последняя вершина для каждой ломаной будет лежать на M и N.

Шаг 3. Для каждой ломаной вычисляется максимальное расстояние от отрезка MN до вершины ломаной. Данное расстояние помечаем H, а вершину K.

Шаг 4. Если H меньше или равно заданной точности E, то из текущей ломаной удаляем все вершины, лежащие между M и N. Иначе для ломаных M...K и K...N повторяются аналогичные действия с шага 2 по шаг 4.

На рис. 2 представлена демонстрация алгоритма Дугласа—Пекера и скелеты исходного и аппроксимированного изображения. Внешне исходное и аппроксимированное изображения практически идентичны. Однако контур исходного изображения имеет 74 вершины, а аппроксимированного — 25 вершин, при этом точность аппроксимации 2 пикселя.

После построения скелета обычно выполняется его дополнительная обработка, называемая стрижкой [1], с целью удаления малозначимых и шумовых ветвей.

Демонстрация процесса построения скелета представлена на рис. 3.

Скелет ладони позволяет анализировать направление жеста в пространстве и определить состояние пальцев. Ключевыми точками скелета ладони будем

называть точки начала и конца пальца и точку центра кисти руки.

Каждый палец может принимать два условных состояния: сжатый в кулак или разжатый. Все ветви скелета, соответствующие пальцу, оканчиваются вершиной степени 1. Ветвь пальца можно разделить на две части: палец и пясть. Для классификации ветвей пальцев используется набор эвристических правил:

- 1. Ветвь пальца лежит на графе между вершинами со степенями 1 и 3.
- 2. Радиальная функция ветви на вершине степени 1 увеличивается более чем в 2,5 по сравнению с вершиной степени 3.
- 3. Радиальная функция начинает резко расти, т. е. частные производные R' больше заданного порога (экспериментально было получено число 0,5).

Первая точка на ветви, где производная радиальной функции превышает заданный порог, является точкой конца пальца.

Центром ладони будем считать точку, лежащую на скелете ладони, радиальная функция которой принимает максимальное значение. На рис. 4 демонстрируется результат вычисления ключевых точек на изображении.

Для распознавания простого, ограниченного набора жестов достаточно составить набор эвристических правил, основанных на следующих данных: количество пальцев, их длина, количество циклов в графе и их габариты. В более сложных случаях набора эвристических правил мало и для распознавания жестов применяются дескрипторы формы кисти руки, состоящие из определенных инвариантных признаков.

Дескриптором кисти руки является вектор признаков, позволяющих с определенной точностью определить состояние руки. Дескриптор кисти руки должен быть инвариантен к масштабированию и вращению. Составляющие признаки дескриптора вычисляются из силуэта кисти руки, полученного на этапе сегментации и из его скелета.

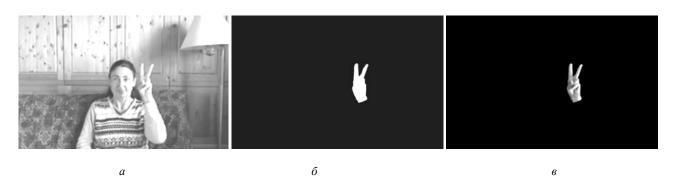


Рис. 1. Результат сегментации изображения: a — исходное изображение; δ — отсегментированное бинарное изображение; ϵ — отсегментированное изображение

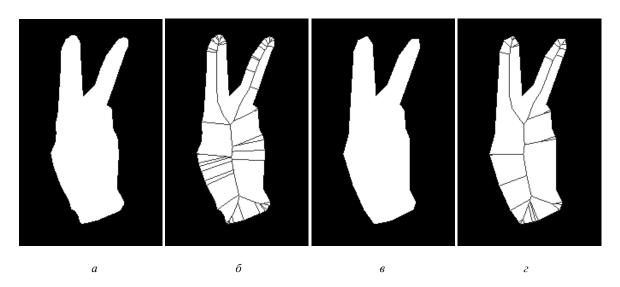


Рис. 2. Скелеты исходного и аппроксимированного изображения: a – исходное изображение; δ – скелет исходного изображения; ε – аппроксимированное изображение; ε – скелет аппроксимированного изображения

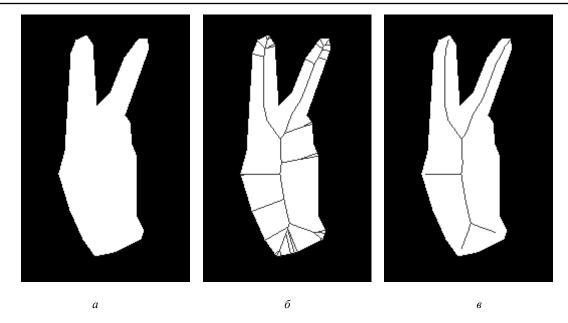


Рис. 3. Процесс построения скелета: a – исходное изображение; δ – скелет исходного изображения; ϵ – скелет после стрижки

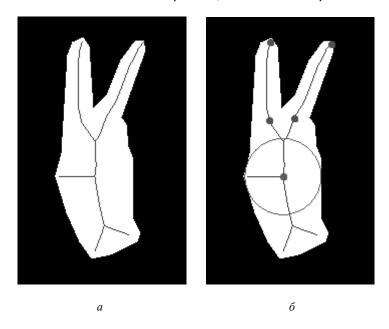


Рис. 4. Определение ключевых точек: a – скелет исходного изображения; δ – скелет и ключевые точки на нем

На основе скелета и его ключевых точек определяется набор параметров:

- 1. Длина пальцев (длина ветки от начала до конца пальца).
- 2. Средняя толщина пальцев (среднее значение радиальной функции на ветке скелета, принадлежащей пальцу).
- 3. Направление пальцев (вектор, начало которого является концом пальца, а конец началом пальца).
 - 4. Длина циклов скелета.

Распознавание жестов представляет собой поиск наиболее схожих жестов в базе данных. Тип жеста в базе данных, параметры которого наиболее близки

с распознаваемым жестом, будет являться результатом распознавания.

В некоторых случаях два разных жеста могут иметь схожий скелет, поэтому для более точного распознавания предлагается использовать моменты Hu [9]. Моменты Hu инвариантны к масштабированию и вращению и являются хорошим дескриптором для распознавания жестов. Для вычисления моментов Hu необходимо вычислить дискретные, центральные и нормализованные моменты. Дискретные моменты вычисляются на основании силуэта руки, полученного на этапе сегментации. На данном этапе изображение представляет собой двумерную функцию интенсивно-

сти I(x, y), где ненулевые значения пикселей принадлежат кисти руки. Дискретные моменты порядка (p+q) вычисляются по формуле (4), где M и N являются шириной и высотой изображения соответственно:

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q I(x, y).$$
 (4)

Центральные моменты инвариантны к перемещению. Моменты порядка (p+q) вычисляются на основе дискретных моментов по формуле (5), где \overline{x} и \overline{y} являются центром тяжести отсегментированного изображения:

$$\mu_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (x - \overline{x})^p (y - \overline{y})^q I(x, y),$$

$$\overline{x} = m_{10}/m_{00} \quad \overline{y} = m_{01}/m_{00}.$$
(5)

Точка с координатой $(\overline{x}, \overline{y})$ является центром масс изображения. Нормализованные моменты являются инвариантными к масштабированию и вычисляются по формуле (6), где $\gamma = 1 + (p+q)/2$:

$$\eta_{pq} = \mu_{pq} / \mu_{pq}^{\gamma} . \tag{6}$$

Семь значений моментов Hu ϕ_1 – ϕ_7 вычисляются по формулам (7). Моменты Hu инвариантны κ вращению и масштабированию:

$$\begin{split} \phi_1 &= \eta_{20} - \eta_{02}; \\ \phi_2 &= \left(\eta_{20} - \eta_{02}\right)^2 + 4\eta_{11}^2; \\ \phi_3 &= \left(\eta_{30} - 3\eta_{12}\right)^2 + \left(3\eta_{21} - \eta_{02}\right)^2; \\ \phi_4 &= \left(\eta_{30} + \eta_{12}\right)^2 + \left(\eta_{21} + \eta_{03}\right)^2; \\ \phi_5 &= \left(\eta_{30} - 3\eta_{12}\right) \left(\eta_{30} + \eta_{12}\right) \left[\left(\eta_{30} + \eta_{12}\right)^2 - 3\left(\eta_{21} + \eta_{03}\right)^2 \right] + \\ &+ \left(3\eta_{21} - \eta_{03}\right) \left(\eta_{21} + \eta_{03}\right) \left[3\left(\eta_{30} + \eta_{12}\right)^2 - \left(\eta_{21} + \eta_{03}\right)^2 \right]; \\ \phi_6 &= \left(\eta_{20} - \eta_{02}\right) \left[\left(\eta_{30} + \eta_{12}\right)^2 - \left(\eta_{21} + \eta_{03}\right)^2 \right] + \\ &+ 4\eta_{11} \left(\eta_{30} + \eta_{12}\right) \left(\eta_{21} + \eta_{03}\right); \\ \phi_7 &= \left(3\eta_{21} - \eta_{03}\right) \left(\eta_{30} + \eta_{12}\right) \left[\left(\eta_{30} + \eta_{12}\right)^2 - 3\left(\eta_{21} + \eta_{03}\right)^2 \right] - \\ &- \left(\eta_{30} - 3\eta_{12}\right) \left(\eta_{21} + \eta_{03}\right) \left[3\left(\eta_{30} + \eta_{12}\right)^2 - \left(\eta_{21} + \eta_{03}\right)^2 \right]. \end{split}$$

Для проведения исследований был разработан программный продукт, позволяющий локализовать кисть руки методом цветовой сегментации и распознавать жесты на основе скелетной модели руки. В таблице приведены результаты истинного и ложного распознавания жестов рук на основе модели непрерывного скелета, на основе аппроксимированного скелета и на основе аппроксимированного скелета + моментов Ни. Изображения тестировались на компьютере с процессором Intel(R) Core(TM) i5 750 2.67 GHz. При тестировании использовалась база динамических жестов соревнования ChaLearn Gesture Challenge [3]. Данная база состоит из набора независимых пакетов. Каждый из пакетов содержит по 10 обучающих жестов и 30-40 контрольных видео по несколько жестов в каждом. Все изображения были размером 230×240 пикселей.

Оценка методов распознавания жестов рук

$N_{\underline{0}}$	Непре	рывный сн	селет	Аппроксимированный скелет			Аппроксимированный скелет +			
							моменты Ни			
	Истина, %	Ложь, %	Время, мс	Истина, %	Ложь, %	Время, мс	Истина, %	Ложь, %	Время, мс	
"0"	53,5	32,5	6,8	59,4	26,6	7,2	87,1	5	10,5	
"1"	60,8	28,1	7	66,6	21,5	7,4	92,9	3,3	9,2	
"2"	53,7	28,9	6,3	59,2	23,9	6,6	86,7	3,1	8,6	
"3"	57,7	33,8	6,9	64,5	28,3	7,4	93,2	7,7	10,4	
"4"	58,8	28,6	4,1	64,3	21,8	4,6	90,4	2,3	7,7	
"5"	58,7	31,5	4,7	65,4	24,9	5	93,5	3,9	8	
"6"	60,4	30,3	6	66,4	23,9	6,5	93,3	6,6	9,3	
"7"	53,6	31,8	5	58,9	25,6	5,6	87,9	4,3	7,2	
"8"	56,4	33,8	5,9	63,1	28,6	6,4	87,9	8	8,7	
"9"	53	30	3,7	59,2	25	4,1	87,8	6,8	6,2	

Библиографические ссылки

- 1. Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М.: Физматлит, 2009.
- 2. Местецкий Л. М., Рейер И. Непрерывное скелетное представление изображения с контролируемой

точностью // International Conference Graphicon. M., 2003. C. 51–54.

- 3. ChaLearn Gesture Dataset (CGD2011). ChaLearn, California, 2011 [Электронный ресурс]. URL: http://gesture.chalearn.org.
- 4. Gudmundsson S. A. [et al.] Model-Based Hand Gesture Tracking in ToF Image Sequences // 6th Intern.

- Conf. on Articulated motion and deformable objects (AMDO), 2010. P. 118–127.
- 5. Suryanarayan P., Subramanian A., Mandalapu D. Dynamic Hand Pose Recognition Using Depth Data // 20th Intern. Conf. on Pattern Recognition (ICPR), 2010. P. 3105–3108.
- 6. Phung S. L., Bouzerdoum A., Chai D. Skin Segmentation Using Color Pixel Classification: Analysis and Comparison // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2005. Vol. 27. P. 148–154.
- 7. Siddharth J., Gaurav S., Face detection // EE368: Digital Image Processing. 2003. P. 101–112.
- 8. Зотин А. Г., Носов А. В., Бузаев Д. В. Анализ пригодности методов сегментации для локализации объектов на основе цветовых и структурных признаков // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 1(41). С. 23–28.
- 9. Hu MK. Visual Pattern Recognition by Moment Invariant. IRE Trans. Info. 1962. Theory 8 (2). P. 179–187.

References

1. Mesteckij L. M. *Nepreryvnaja morfologija binarnyh izobrazhenij: figury, skelety, cirkuljary* [Continuous morphology of binary images: figures, skeletons, circulars]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009.

- 2. Mesteckij L. M., Rejer I. [Continuous skeletal representation of the image with controlled accuracy]. *International Conference Graphicon*. Moscow, 2003, p. 51–54.
- 3. ChaLearn Gesture Dataset (CGD2011). ChaLearn, California, 2011, Available at URL: http://gesture.chalearn.org (accessed 5 February 2014).
- 4. Gudmundsson S. A., Sveinsson J. R., Pard'as M. et al. Model-Based Hand Gesture Tracking in ToF Image Sequences. 6th International Conference on Articulated motion and deformable objects (AMDO), 2010, p. 118–127.
- 5. Suryanarayan P., Subramanian A., Mandalapu D. Dynamic Hand Pose Recognition Using Depth Data. 20th International Conf. on Pattern Recognition (ICPR), 2010, p. 3105–3108.
- 6. Phung S. L., Bouzerdoum A., Chai D. Skin Segmentation Using Color Pixel Classification: Analysis and Comparison. *IEEE Trans.* Pattern Anal. Mach. Intell. 2005. January. Vol. 27, p. 148–154.
- 7. Siddharth J., Gaurav S. Face detection. *EE368: Digital Image Processing*. 2003, p. 101–112.
- 8. Zotin A. G., Nosov A. V., Buzaev D. V. [Suitability analysis segmentation methods for localization of objects based on the color and structural features]. *Vestnik Sib-GAU*. 2012, vol. 41, no. 1, p. 23–28. (In Russ.)
- 9. Hu MK. Visual Pattern Recognition by Moment Invariant. IRE Trans. Info. 1962, Theory 8 (2), p. 179–187.

© Носов А. В., 2014

УДК 539.3

К РАСЧЕТУ ПЛАСТИН В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАГРУЗКИ ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ В ФУНКЦИЯХ НАПРЯЖЕНИЙ

Р. А. Сабиров

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: rashidsab@mail.ru

Разработан вариационно-разностный метод расчета напряженного состояния пластинок в условиях плоской задачи теории упругости в функциях напряжений. Для решения температурной задачи применяется метод устранения деформаций С. Тимошенко. Получен функционал в функциях напряжений с учетом температурного члена, что освобождает от вычисления перемещений и деформаций. Особенностью разработанного алгоритма расчета является использование для формирования коэффициентов системы разрешающих уравнений и ее правой части первой и второй вариаций данного функционала. Это дает простой и универсальный алгоритм вычислений — применяются одни и те же процедуры в программных модулях. Конечно-разностная дискретизация континуальной задачи позволяет решать задачи большой размерности. Напряжения на контуре известны априори; в области пластинки уравнения неразрывности обеспечиваются при достаточно редких конечно-разностных сетках, экономится время счета и ресурсы оперативной памяти. Составлена программа расчета на основе пакета Марle; приведен пример расчета свободной пластинки при неравномерном нагреве.

Ключевые слова: плоская задача теории упругости, функционал Кастилиано, вариационно-разностный метод, функция напряжений.

TO CALCULATION OF PLATES IN THE CONDITIONS OF THE FLAT TENSION ON TEMPERATURE LOADINGS WITH THE HELP OF THE VARIATION AND DIFFERENTIAL METHOD IN TENSION FUNCTIONS

R. A. Sabirov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: rashidsab@mail.ru

The variation and differential method of calculation of plates tension in the conditions of a flat task of the elasticity theory in functions of tension is developed. The method of elimination of deformations of S. Tymoshenko is applied to the solution of a temperature task. The functionality in functions of tension, taking into account the temperature member that exempts from calculation of deformations, is received. The feature of the developed algorithm of calculation is the usage of the allowing equations and its right part of the first and second variations of this functionality for formation of coefficients of the system. It gives a universal algorithm of calculations when the same procedure in program modules is applied. The finite-differential discretization sampling of a continual task allows to solve problems of a big dimension. Tension on a contour is known a priori; in the field of a plate the equation of continuity is provided at rather rare finite-differential grids, the counting duration and resources of memory is small. The calculation program on the basis of a Maple package is made; the example of calculation of a free plate is given at uneven heating.

Keywords: flat task of the theory of elasticity, Kastiliano's functionality, variation and differential method, function of tension.

Одной из причин появления напряжений в теле является неравномерное его нагревание. Температура как в земных условиях, так и в космическом пространстве изменяется ежесекундно. Опасные напряженные состояния возникают необязательно при высоких или низких температурах; опасными должны быть неравномерные изменения температурных воздействий как по области конструкций, так и по времени. Важным случаем температурного воздействия являются моменты входа аппарата и пластин солнечных батарей в тень Земли и выхода из тени. Также в период эксплуатации системы конструкций действует постоянное многоцикловое неравномерное нагревание и охлаждение. Возможны явления усталости материалов, приводящие к локальным разрушениям при сравнительно низком уровне напряжений. Казалось бы, изменения температуры действуют постоянно, а учету дополнительных температурных напряжений, с целью их добавления к напряжениям от силовых факторов, уделяется второстепенное значение (конечно, за исключением оригинальных конструкций). Подход к анализу конструкций односторонний, ограниченный, с пренебрежением к дополнительным факторам, дающим дополнительные напряжения от изменения температуры, а в какие-то моменты они могут проявиться и как основные напряжения, может привести к исключительным нештатным ситуациям. Поэтому работу, посвященную разработке метода расчета конструкций, в частности тонких пластинок, на температурные воздействия с целью исследования напряженного состояния, следует считать актуальной. Таким образом, требуется разработать подход к решению задач оценки напряженного состояния свободных от закреплений прямоугольных пластин на нагрузки, возникающие при воздействии стационарного тепло-

вого потока (температура является функцией координат).

Для решения задачи воспользуемся методом устранения деформаций [1; 2]. В этом методе для изотермического нагружения объемные и поверхностные силы определяются через температурное поле T(x,y,z) исходной температурной задачи. Известно, что модуль упругости стали при нагревании уменьшается [2], а модули упругости сплавов при нагревании как уменьшаются, так и увеличиваются (причем в 1,5–2 раза) [3]. Чтобы в разрешающие уравнения не входили упругие постоянные материала [1], краевую задачу формулируют в напряжениях.

Определенное научное содержание работы заключается:

- в полученном выражении функционала Кастилиано в функциях напряжений, учитывающем изменение температуры;
- алгоритме формирования разрешающей системы уравнений и ее правой части с использованием первой и второй вариаций функционала;
 - составленной программе расчета;
- расчете напряженного состояния пластинки при неравномерном нагреве.

Рассмотрим вариационную формулировку [4], для которой получим функционал Кастилиано с учетом изменения температуры. В первую очередь, из уравнений равновесия для плоской задачи теории упругости [5] получим вариационное уравнение

$$-\iint_{S} \left(\sigma_{x} \delta \varepsilon_{x} + \tau_{xy} \delta \gamma_{xy} + \sigma_{y} \delta \varepsilon_{y}\right) dx dy + \iint_{S} \left[X \delta u + Y \delta v\right] dx dy +$$

$$+ \int_{y=0}^{y=b} \left(\sigma_{x}^{*} \delta u + \tau_{xy}^{*} \delta v\right) dy \Big|_{x=0}^{x=a} + \int_{x=0}^{x=a} \left(\sigma_{y}^{*} \delta v + \tau_{yx}^{*} \delta u\right) dx \Big|_{y=0}^{y=b} = 0, (1)$$

где σ_x , τ_{xy} , σ_y — компоненты тензора напряжений; $\delta \varepsilon_x$, $\delta \gamma_{xy}$, $\delta \varepsilon_y$ — вариации компонент тензора деформаций; X,Y — объемные силы; δu , δv — вариации вектора перемещений; S — площадь пластинки; σ_x^* , τ_{xy}^* , σ_y^* , τ_{yx}^* — заданы на контуре напряжения. Добавив в (1) закон Гука [2], точнее, вариации деформаций, выраженные через вариации напряжений,

$$\delta \varepsilon_x = \frac{1}{E} (\delta \sigma_x - \mu \delta \sigma_y) + \delta(\alpha T), \qquad (2)$$

$$\delta \varepsilon_y = \frac{1}{F} (\delta \sigma_y - \mu \delta \sigma_x) + \delta(\alpha T) , \qquad (3)$$

$$\delta \gamma_{xy} = \frac{2(1+\mu)}{E} \, \delta \tau_{xy} \,, \tag{4}$$

получим интегральное тождество, содержащее член $\alpha T = \alpha T(x,y)$. Из преобразованного уравнения (1) вынесем оператор δ :

$$\delta \left\{ -\iint_{S} \frac{1}{2E} \left[\sigma_{x}^{2} - 2\mu \sigma_{x} \sigma_{y} + \sigma_{y}^{2} + \right. \right. \\ \left. + 2(1+\mu) \tau_{xy}^{2} + 2E\alpha T(\sigma_{x} + \sigma_{y}) \right] dx dx + \\ \left. + \iint_{S} \left[Xu + Yv \right] dx dy + \int_{y=0}^{y=b} \left(\sigma_{x}^{*} u + \tau_{xy}^{*} v \right) dy \right|_{x=0}^{x=a} + \\ \left. + \int_{x=0}^{x=a} \left(\sigma_{y}^{*} v + \tau_{yx}^{*} u \right) dx \right|_{y=0}^{y=b} \right\} = 0.$$
 (5)

Тогда (5) примет вид
$$\delta \Theta = 0$$
, (6)

где Э – выраженный в напряжениях функционал Лагранжа:

$$\Im = -\iint_{S} \frac{1}{2E} \left[\sigma_{x}^{2} - 2\mu \sigma_{x} \sigma_{y} + \sigma_{y}^{2} + \right. \\
+ 2(1+\mu) \tau_{xy}^{2} + 2E\alpha T(\sigma_{x} + \sigma_{y}) \left] dx dx + \right. \\
+ \iint_{S} \left[Xu + Yv \right] dx dy + \int_{y=0}^{y=b} \left(\sigma_{x}^{*} u + \tau_{xy}^{*} v \right) dy \bigg|_{x=0}^{x=a} + \left. + \int_{x=0}^{x=a} \left(\sigma_{y}^{*} v + \tau_{yx}^{*} u \right) dx \right|_{y=0}^{y=b} .$$
(7)

Рассмотрим вариант исключения из выражения (7) объемных сил X, Y и интегралов на контуре. Для этого формально умножим уравнения равновесия бесконечно малого элемента на перемещения u = u(x, y) и v = v(x, y):

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} u + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial v} u + Xu = 0, \qquad (8)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} v + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} v + Yv = 0.$$
 (9)

Из (8) и (9) перенесем в левую часть произведения объемных сил на перемещения, сложим их и проинтегрируем:

$$\iint_{S} (Xu + Yv) dx dy = -\iint_{S} \left(\frac{\partial \sigma_{x}}{\partial x} u + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} u + \frac{\partial \sigma_{y}}{\partial y} v + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} v \right) dx dy . \tag{10}$$

Интегрирование по частям в правой части (10) по типу

$$\frac{\partial}{\partial x}(\sigma_x u) = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} u + \sigma_x \frac{\partial u}{\partial x},$$

$$\frac{\partial}{\partial y}(\tau_{yx} u) = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} u + \tau_{yx} \frac{\partial u}{\partial y} ...$$
(11)

даёт равенство

$$\iint_{S} (Xu + Yv) dx dy = \iint_{S} \left(\sigma_{x} \frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yx} \frac{\partial u}{\partial y} + \sigma_{y} \frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) dx dy - - \int_{y=0}^{y=b} \left(\sigma_{x}^{*} u + \tau_{xy}^{*} v \right) dy \Big|_{x=0}^{x=a} - \int_{x=0}^{x=a} \left(\sigma_{y}^{*} v + \tau_{yx}^{*} u \right) dx \Big|_{y=0}^{y=b}, \tag{12}$$

которое с учетом геометрических уравнений Коши приводит к

$$\iint_{S} (Xu + Yv) dx dy = \frac{1}{E} \iint_{S} \left[\sigma_{x}^{2} - 2\mu \sigma_{x} \sigma_{y} + \sigma_{y}^{2} + 2(1 + \mu) \tau_{yx}^{2} \right] dx dy - \frac{\int_{y=0}^{y=b} \left(\sigma_{x}^{*} u + \tau_{xy}^{*} v \right) dy}{\int_{x=0}^{x=a} - \int_{x=0}^{x=a} \left(\sigma_{y}^{*} v + \tau_{yx}^{*} u \right) dx} \Big|_{y=0}^{y=b}.$$
(13)

Подставив (13) в (7), получим искомое выражение энергии деформирования пластинки в напряжениях, называемое функционалом Кастилиано:

$$\Im_{K}(\sigma_{x},\sigma_{y},\tau_{xy}) = \iint_{S} \frac{1}{2E} \left[\sigma_{x}^{2} - 2\mu\sigma_{x}\sigma_{y} + \sigma_{y}^{2} + 2(1+\mu)\tau_{xy}^{2} + 2E\alpha T(\sigma_{x} + \sigma_{y})\right] dxdx, \tag{14}$$

где E = E(x,y) — модуль упругости; $\mu = \mu(x,y)$ — коэффициент Пуассона; $\alpha = \alpha(x,y)$ — коэффициент линейного температурного расширения материала; T = T(x,y) — температурное поле. С приложением функционала Кастилиано краевая задача формулируется так, что из всех возможных напряженных состояний действительное напряженное состояние сообщает функционалу (14) максимальное значение [5].

Введем в функционал (14) функцию напряжений $\varphi(x, y)$ (функцию Эри [6]) без учета объемных сил:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \qquad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \qquad \tau_{yx} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y},$$

определяющую искомый функционал

$$\Im_{K}(\varphi) = \iint_{S} \frac{1}{2E} \left[\left(\frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x^{2}} \right)^{2} - 2\mu \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial y^{2}} + \left(\frac{\partial^{2} \varphi}{\partial y^{2}} \right)^{2} + \right. \\
\left. + 2(1 + \mu) \left(\frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x \partial y} \right)^{2} + 2E\alpha T \left(\frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial y^{2}} \right) \right] dx dy, \quad (15)$$

и сформулируем для краевой задачи с учетом температурного члена, что из всех возможных напряженных состояний находящейся в равновесии пластинки действительное напряженное состояние сообщает (15) стационарное значение.

Чтобы найти напряженное состояние пластинки для формирования разрешающей системы уравнений и ее правой части, предлагается прием использования первой и второй вариаций (15):

$$\delta \Im_{K}(\varphi(x,y)) = \iint_{S} \frac{1}{E} \left[\frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta \varphi}{\partial x^{2}} - \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta \varphi}{\partial y^{2}} \right] + \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial y^{2}} \frac{\partial^{2} \delta \varphi}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial y^{2}} \frac{\partial^{2} \delta \varphi}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial y^{2}} \frac{\partial^{2} \delta \varphi}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta \varphi}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta \varphi}{\partial y^{2}} \right] dxdy; \quad (16)$$

$$\delta_{2}(\delta_{1} \Im_{K})) = \iint_{S} \frac{1}{E} \left[\frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x^{2}} - 2\mu \left(\frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial y^{2}} \right) + \frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial y^{2}} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial y^{2}} + 2(1 + \mu) \frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x \partial y} \right] dxdy, \quad (17)$$

аппроксимации которых легли в основу предлагаемого алгоритма решения задачи.

Применим вариационно-разностную постановку. Выберем на области пластинки (рис. 1) прямоугольную равномерную сетку $\omega_{ij} = \left\{ (x_i = i \lambda_x, \ y_j = j \lambda_y), i = 0, \ 1, ..., m, \ j = 0, \ 1, ..., n \right\}$ на отрезках $[0, l_x]$ и $[0, l_y]$. Здесь $x = x_i$ и $y = y_j$ — узлы сетки; $\lambda_x = l_x \ / m$ и $\lambda_y = l_y \ / n$ — шаг сетки, а l_x и l_y — размеры пластинки по направлениям осей координат x и y. Введем сетку с узлами ξ , η :

$$\omega_{\xi\eta} = \left\{ (x_{\xi} = \lambda_x / 2 + i\lambda_x, \ y_j = \lambda_y / 2 + j\lambda_y), \\ i = 0, \ 1, \dots, \ m-1, \ j = 0, \ 1, \dots, \ n-1 \right\}.$$

Континуальную область в (16) и (17) заменим дискретной. Тогда:

$$\delta_{2}(\delta \Theta_{K})) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{E_{i,j}} \left[\frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x^{2}} - \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x^{2}} - \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x^{2}} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial y^{2}} \right] + \frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial y^{2}} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial y^{2}} \right]_{i,j} S_{i,j} + \sum_{i=1}^{m} \sum_{\eta=1}^{n-2} \left[(1+\mu) \frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x \partial y} \right]_{j,\eta} S_{i,\eta} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n} \sum_{\xi=1}^{n-2} \left[(1+\mu) \frac{\partial^{2} \delta_{2} \varphi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x \partial y} \right]_{j,\xi} S_{j,\xi};$$

$$\delta \Theta_{K}(\delta_{1} \varphi(x,y)) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \left[\alpha T \left(\frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} \delta_{1} \varphi}{\partial y^{2}} \right) \right]_{i,j} S_{i,j}. \quad (19)$$

Здесь площадки интегрирования $S_{\alpha,\beta}$ равны: $\lambda_x \lambda_y$ — во внутренних узлах области; $\lambda_x \lambda_y / 2$ — в узлах, расположенных на контуре; $\lambda_x \lambda_y / 4$ — в узлах, расположенных в углах пластинки. Дифференциальные операторы в (18) и (19) заменяются конечноразностными аналогами:

$$\left(\frac{\partial^{2} \delta_{k} \varphi}{\partial x^{2}}\right)_{i,j} = \frac{\delta_{k} \varphi_{i+1,j} - 2\delta_{k} \varphi_{i,j} + \delta_{k} \varphi_{i-1,j}}{\lambda_{x}^{2}},
\left(\frac{\partial^{2} \delta_{k} \varphi}{\partial y^{2}}\right)_{i,j} = \frac{\delta_{k} \varphi_{i,j+1} - 2\delta_{k} \varphi_{i,j} + \delta_{k} \varphi_{i,j-1}}{\lambda_{y}^{2}},
\left(\frac{\partial^{2} \delta_{k} \varphi}{\partial x \partial y}\right)_{i,\eta} = \frac{-\delta_{k} \varphi_{i+1,j+1} + \delta_{k} \varphi_{i-1,j+1} - \delta_{k} \varphi_{i-1,j} + \delta_{k} \varphi_{i+1,j}}{2\lambda_{x} \lambda_{y}},
\left(\frac{\partial^{2} \delta_{k} \varphi}{\partial x \partial y}\right)_{j,\xi} = \frac{-\delta_{k} \varphi_{i+1,j+1} + \delta_{k} \varphi_{i,j+1} - \delta_{k} \varphi_{i,j-1} + \delta_{k} \varphi_{i+1,j-1}}{2\lambda_{x} \lambda_{y}},
(k = 1, 2).$$

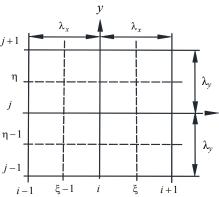


Рис. 1. Конечно-разностная сетка, нанесенная на область пластинки

Для задания функции ф на контуре пластинки используем «рамную аналогию» [5; 6].

Построим алгоритм формирования системы уравнений и правой части. Пусть функционал (15) в дискретной форме содержит вектор p переменных

 $\overline{\phi} = (\phi_1, \phi_2, ..., \phi_p)$. Тогда (18) содержит вариации вектора $\delta_1 \overline{\phi} = (\delta_1 \phi_1, \delta_1 \phi_2, ..., \delta_1 \phi_p)$ и $\delta_2 \overline{\phi} = (\delta_2 \phi_1, \delta_2 \phi_2, ..., \delta_2 \phi_p)$. Элемент матрицы a_{ij} системы линейных алгебраических уравнений вычисляется как

$$a_{ij} = \delta^{2} \Im_{K} (\delta_{1} \overline{\varphi}, \delta_{2} \overline{\varphi}) = \delta_{2} (\delta_{1} \Im_{K} (\delta_{1} \overline{\varphi}, \delta_{2} \overline{\varphi})) =$$

$$= \sum_{k=1}^{p} \frac{\partial}{\partial \varphi_{k}} \left(\sum_{l=1}^{p} \frac{\partial \Im_{K} (\delta_{1} \overline{\varphi}, \delta_{2} \overline{\varphi})}{\partial \varphi_{l}} \delta_{1} \varphi_{l} \right) \delta_{2} \varphi_{k},$$

$$\delta_{2} \varphi_{k} = \begin{cases} 1, & \text{при } k = i \\ 0, & \text{при } k \neq i \end{cases}, \quad \delta_{1} \varphi_{l} = \begin{cases} 1, & \text{при } l = j \\ 0, & \text{при } l \neq j \end{cases},$$

$$i = 1, 2, ..., p; \quad j = 1, 2, ..., p. \tag{22}$$

Цикл (22) из равенства (21) формирует квадратную симметричную относительно главной диагонали матрицу. Соответственно, вектор правой части определяется из (19) циклом

$$b_{i} = \delta_{1} \Im_{\Pi}(\delta_{1}\overline{\varphi}) = \sum_{l=1}^{p} \frac{\partial \Im_{\Pi}(\delta_{1}\overline{\varphi})}{\partial \varphi_{l}} \delta_{1} \varphi_{l} ;$$

$$i = 1, 2, ..., p; \quad \delta_{1} \varphi_{l} = \begin{cases} 1, & \text{при } l = i \\ 0, & \text{при } l \neq i \end{cases} .$$

$$(23)$$

В контурных узлах значения функций Эри известны. В законтурных узлах ф вычисляется по формуле $d\phi/dv=N$, где ν — нормаль к контуру рамы, окаймляющей собственно пластинку; N — продольное усилие в раме.

Для расчета пластинки на температурные нагрузки составлена программа расчета на основе пакета Марlе. Приведем пример тестового расчета пластинки на изменение температуры по закону $T(x,y) = T(2y/l_y)^2$ — такое распределение температуры рассматривается для балок в [1; 2; 7]. Пластинка квадратная в плане размерами $l_x = 0,2$ м и $l_y = 0,2$ м. Конечноразностную сетку примем с шагом 40×40 . Модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона 0,5.

График распределения установившейся температуры в пластинке по заданному закону приведен на рис. 2.

Эпюры напряжений приведены на рис. 3. Для удобства анализа напряженного состояния разделим значения напряжений, приведенных в эпюрах, на введенный в расчет модуль Юнга. Наибольшие нормальные напряжения $\sigma_x = -(2/5)E\alpha T$ действуют в области $y = \pm l_y/2$, а растягивающие напряжения $\sigma_x = (1/10)E\alpha T$ возникают в окрестности y = 0. В более нагретых местах возникают сжимающие температурные напряжения σ_x . Условия равновесия элементов пластинки диктуют проявление и растягивающих напряжений σ_x . На свободных кромках $x = l_x$ и x = 0 напряжения $\sigma_x = 0$.

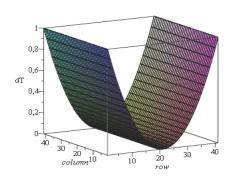


Рис. 2. Эпюра температурного воздействия — график установившейся температуры в пластинке. Множитель T

Нормальные напряжения σ_y , наоборот, достигают наибольших сжимающих значений на кромках $x=l_x$ и x=0, а растягивающих значений — в средней зоне области пластинки. Условия неразрывности деформаций требуют возникновения этих напряжений. Порядок напряжений σ_y такой же, как порядок напряжений σ_x .

Касательные напряжения достигают значений $au_{xy}=\pm(3/40)E\alpha T$; наибольшие значения приобретают в областях $y=\pm l_y/4$, $x=\pm l_x/4$.

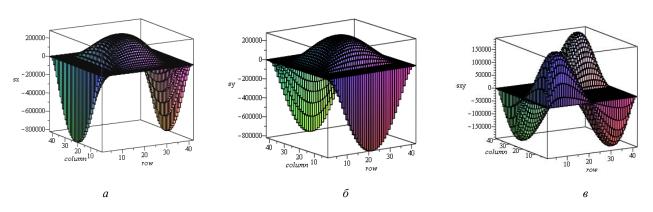


Рис. 3. Эпюры нормальных и касательных напряжений в пластинке: $a-\sigma_x$; $\delta-\sigma_y$; $\epsilon-\tau_{xy}$ (здесь размерность кГ/см²; множитель αT)

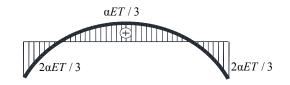


Рис. 4. Эпюра напряжения σ_x в поперечном сечении стержня, полученная методом сопротивления материалов

Характер распределения напряжений σ_x согласуется с характером распределения аналогичного напряжения в стержне температурной задачи, рассмотренной в [7]. Распределение напряжений показано на рис. 4 для стержня шириной $b=l_y$. Эпюра нормальных напряжений в стержне во всех поперечных сечениях, включая и контур, постоянная. В стержне действие напряжений σ_y и касательных напряжений τ_{xy} не учитывается.

Таким образом, применение подхода к решению краевой задачи с использованием первой и второй вариаций функционала Кастилиано с конечноразностной аппроксимацией позволили создать универсальный алгоритм расчета напряженного состояния пластинок на температурные воздействия; расчеты напряженного состояния пластинки были выполнены на различных сетках; исследования сходимости решений в напряжениях от сгущения сетки показали достаточность редкой сетки 6×6 (т. е. наблюдается достаточно хорошая сходимость напряжений в зависимости от сгущения сетки к напряжениям напряженного состояния, обеспечивающего неразрывность деформаций в дискретной задаче); характер распределения напряжений σ_x согласуется с характером распределения аналогичного напряжения в балках; скромность требуемых ресурсов для реализации позволяет внедрить методику решения рассмотренной плоской задачи в учебный курс теории упругости как добавление к традиционно используемой дифференциальной формулировке краевой задачи в виде бигармонического уравнения неразрывности деформаций.

Библиографические ссылки

- 1. Тимошенко С. П. Теория упругости. Л. ; М. : ОНТИ. 1937. 451 с.
- 2. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 576 с.

- 3. Механические свойства материалов с эффектом памяти при сложном температурно-силовом воздействии и ортогональном нагружении : монография / под ред. И. Н. Андронова. Ухта : УГТУ, 2010. 191 с.
- 4. Ланцош К. Вариационные принципы механики : пер. с англ. М. : Мир, 1965. 408 с.
- 5. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности : пер. с англ. М. : Мир, 1987. 542 с.
- Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир. 1975.
- 7. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986. 560 с.

References

- 1. Timoshenko S. P. *Teorija uprugosti* [Theory of elasticity]. Leningrad–Moscow, ONTI Publ., 1937, 451 p.
- 2. Timoshenko S. P., Gud'er Dzh. *Teorija uprugosti* [Theory of elasticity]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 576 p.
- 3. Mekhanicheskie svojstva materialov s jeffektom pamjati pri slozhnom temperaturno-silovom vozdejstvii i ortogonal'nom nagruzhenii [Mechanical properties of materials with effect of memory at difficult temperature and power influence and orthogonal loading]. Uhta, UGTU Publ., 2010, 191 p.
- 4. Lancosh K. *Variatsionnye printsipy mekhaniki* [Variation principles of mechanics]. Moscow, Mir Publ., 1965, 408 p.
- 5. Vasidzu K. *Variatsionnye metody v teorii uprugosti i plastichnosti* [Variational methods in elasticity and plasticity]. Moscow, Mir Publ., 1987, 542 p.
- 6. Novackij V. *Teorija uprugosti* [Elasticity theory]. Moscow, Mir Publ., 1975, 872 p.
- 7. Birger I. A., Mavljutov R. R. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 560 p.

© Сабиров Р. А., 2014

УДК 004.652

ОБРАБОТКА БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПАНИЯХ

А. С. Соболь

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: alexander.so8ol@gmail.com

Анализируются вопросы обработки больших данных на примере задачи о сборе, хранении и анализе информации SIEM-системой посредством СУБД. Основной проблемой при решении задачи является невозможность обработки всех событий в реальном времени при использовании SIEM-системы в вычислительной территориально распределённой сети оператора. В ходе решения задачи формализуются требования к аппаратной платформе, на которой будет работать СУБД SIEM-системы. Выбирается СУБД, оптимально подходящая для решения задачи. Описываются этапы настройки и оптимизации СХД и СУБД для работы с большими данными в целом и для SIEM-системы в частности. Приводятся результаты и скорость работы готового решения в среде «частного облака». Демонстрируется, что правильный выбор и настройка СХД и СУБД могут дать увеличение производительности SIEM-системы в области анализа данных и формирования отчётности в разы, в сравнении со штатными настройками СХД и СУБД, поставляемой «из коробки».

Ключевые слова: СУБД, «облачные» вычисления, большие данные, бизнес-аналитика, СХД.

PROCESSING OF BIG DATA IN THE TELECOMMUNICATION COMPANIES

A. S. Sobol

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: a1exander.so8ol@gmail.com

The article analyses such issues as processing "big data" by the example of the problem of collecting, storing and analyzing information in SIEM system through database. The major problem is impossibility of processing all events in real time by using a SIEM system in computational geographically distributed operator network. In the course of solving the problem, the requirements for hardware platform are formalized on the database of SIEM system. The DBMS is selected as optimally suitable for solving the problem. The steps to configure and optimize the storage and use of DBMS to work with "big data" as a whole and SIEM system as the particular are described. The result and the performance of the working solution are provided in the "private cloud" environment. The correct choice and configuration of the storage and use of DBMS can provide performance of SIEM system in data analysis and reporting, that gains of many times in comparison with the standard settings for storage and use of DBMS, that came out of the box.

Keywords: DBMS, Cloud computing, Big Data, BI, SAN.

Технологии больших данных успешно реализуются в различных индустриях, таких как банки, телеком, ритейл, энергетика, медицина и управление городской инфраструктурой. В секторе телекоммуникаций более 45 % компаний ведут активные проекты с участием больших данных [1]. Основными задачами в данном секторе являются бизнес-аналитика, «умные» маркетинговые кампании, выявление мошенничества, улучшения качества связи. Интересно, что при всем разнообразии задач вендорские решения в сфере больших данных пока не приобрели ярко выраженной отраслевой направленности. Рынок находится не просто на стадии активного формирования, а в самом начале этой стадии.

Под задачами выявления мошенничества в первую очередь понимаются задачи, связанные с анализом поступающей информации от различных систем (таких как DLP, IDS, антивирусов, файерволов, маршрутизаторов) для дальнейшего выявления отклонения от норм по каким-либо критериям и с последующей генерацией инцидентов.

Сама по себе данная задача не является наукоёмкой и решается при помощи SIEM-систем (Security Information and Event Management — система сбора и корреляции событий). Основная проблема заключается в том, что при расширении информационной инфраструктуры (равно как и при перенаправлении потока событий на SIEM-систему с других ИС) количество событий, генерируемое в единицу времени, возрастает, что в итоге сказывается на увеличении времени обслуживания БД в общем и ведет к пропуску какихлибо важных инцидентов безопасности в частности, что, в свою очередь, недопустимо.

В статье ставится задача проанализировать объём, источники и типы генерируемых событий информационной инфраструктурой, сформулировать критерии к аппаратно-программной части комплекса и настроить СУБД и систему хранения данных (СХД) таким образом, чтобы SIEM-система при помощи данной СУБД могла обеспечивать обработку всех событий в режиме реального времени.

Для определения размера СХД необходимо оценить объём занимаемого места одним событием, а также частоту поступления событий. Все поступающие события в рамках данной задачи будут разделены на две группы: неочищенные и структурированные. Большинство событий поступает по общепринятому стандарту SYSLOG. Размер записи по данному стандарту в соответствии со спецификацией RFC 3164 не может превышать 1024 байта [2]. Однако это применимо лишь к неочищенным событиям. На практике структурированные события могут превышать 5000 байт. В рамках данной задачи опытным путём при помощи инструментов, как WireShark, **TCPdump** и EtherPeek, определено, что неочищенные события в среднем занимают порядка 500 байт дискового пространства, структурированные – порядка 1600 байт.

При среднем количестве, равном 12 000 (для примера система управления интернет-рекламой в среднем генерирует порядка 50 000 событий в секунду) событий в секунду, количество генерируемых событий в день будет равняться 1 036 800 000.

Таким образом, неочищенные события в день будут занимать порядка 500 ГБ, структурированные 1,5 ТБ. Данные такого вида легко сжимаемы, поэтому конечный вариант сжатых данных при коэффициенте сжатия, равном десяти, будет составлять 50 и 150 ГБ соответственно. Наконец, определим, сколько всего необходимо пространства на СХД: для этого согласно ТЗ экстраполируем получившиеся данные на шесть месяцев и высчитаем доли, занимаемые в общем объёме неочищенными и структурированными событиями. Неочищенные события составляют приблизительно треть от общего числа генерируемых событий. Таким образом, для хранения событий в течение 180 дней необходимо хранилище, объёмом не менее 21 ТБ.

Зная общую потребность в объёме и информацию о частоте поступления событий, определим требования к аппаратной части комплекса. Ключевую роль здесь играет производительность СХД. Синтетические тесты показали, что производительности в 15 000–17 000 IOPS будет вполне достаточно для данной системы.

Традиционно, чтобы обеспечить гибкость своих ИТ-решений, компаниям приходилось постоянно обновлять свои аппаратные комплексы. Результатом таких решений на сегодняшний день являются имею-

щиеся в наличии множественные «малые» хранилища данных следующих форматов:

- SATA-массивы + аппаратный/программный RAID;
- SAS-массивы + аппаратный RAID;
- SAS-массивы + Flash (SSD) + аппаратный RAID.

На данном этапе важно понимать, что объёмы информации согласно закону Мура постоянно растут, а, соответственно, вычислительных мощностей со временем понадобится гораздо больше. Соответственно, при выборе СХД нужно ориентироваться на наличие у СХД такого функционала, как Tiering (перемещение данных между дисками и/или дисковыми массивами различных классов стоимости и производительности) и Thin provisioning (динамические тома). Для экономии места также желательно, чтобы СХД обладала функцией дедупликации.

Исходя из этих требований, становится очевидным, что традиционные решения «малых» хранилищ данных не подходят для решения этой задачи. Массивы начального уровня с одним контроллером также не обеспечат достаточный уровень производительности. К тому же данные решения слабо защищены от сбоев. Наиболее логичным выбором в данной ситуации является выбор СХД в сегменте Mid-Range: многоконтроллерные модульные конструкции из множества дисковых полок.

Следующий вопрос — количество, типы дисков и их соотношение в СХД. Одним из определяющих факторов является то, что частота перезаписи достаточно мала (в среднем не более 3–4 раз в год), в то время как циклов чтения, наоборот, может быть неограниченное количество (это связано с характером системы, а именно, постоянные выборки из уже имеющихся данных в рамках задачи анализа).

Учитывая наличие функционала перемещения данных между дисками и/или дисковыми массивами, наиболее рациональным решением с точки зрения цена/производительность является установка в СХД трёх типов дисков: твердотельных (маленьких по объёму, но быстрых), классических с большим RPM (средние по объёму и скорости) и классических большеобъёмных дисков (большой объём, маленькая скорость) в соотношении 1/3/2.

Хорошим вариантом Mid-Range сегмента является СХД 3PAR 7200, которая и будет использоваться для тестирования и дальнейшей настройки в данной статье.

При решении задачи стоит уделить внимание не только настройке СУБД, но и настройке СХД. Основной проблемой при настройке СХД является нахождение оптимального баланса между твердотельными (SSD) и обычными жёсткими дисками. Твердотельные накопители обладают достаточной скоростью чтения/записи, но при этом дороги и менее долговечны. Дополнительным фактором является тот факт, что общий эффективный объём массива (исходя из ТЗ, логи должны храниться шесть месяцев) с учётом 20 % запаса должен составлять не менее 25 ТБ. При этом необходимо понимать, что чтобы добиться такого эффективного объёма, номинальный объём должен быть ещё больше, в зависимости от уровня RAID (отказоустойчивого массива независимых дисков), в котором будет создан массив.

Опытным путём было установлено, что для обеспечения необходимой скорости чтения/записи при экономии места структура массива должна быть построена по типу RAID 6 — она не намного медленнее RAID 5, но гораздо более экономична.

Для реализации задачи было решено отказаться от СУБД, с которой по умолчанию работала SIEM-система, и выбрать наиболее подходящую. Среди критериев отбора были выделены следующие:

- наличие системы полнотекстового поиска;
- поддержка индексов;
- поддержка CAS (сотраге and set сравнение с обменом) инструкции, необходимой для гарантии отказа в изменении объекта, если с момента последнего чтения объект был изменен другим клиентом;
- наличие инструментов массово-параллельной обработки данных.

Из списка NoSQL СУБД была выбрана MongoDB. Основным фактором выбора данной СУБД, с учётом использования в качестве серверной составляющей blade-центра, явилась поддержка вычислительной парадигмы, известной как MapReduce. Преимущество MapReduce заключается в том, что она позволяет распределённо производить операции предварительной обработки и свертки. Операции предварительной обработки работают независимо друг от друга и могут производиться параллельно (хотя на практике это ограничено источником входных данных и/или количеством используемых процессоров). МарReduce может быть применена к большим объемам данных, которые могут обрабатываться большим количеством серверов [3].

При работе с MongoDB использовался С#-драйвер – NoRM, поддерживающий LINQ (набор функций, значительно расширяющий синтаксис языка С#).

К самой СУБД были применены оптимизационные алгоритмы чтения и записи, которые в первую очередь повысили производительность, а также позволили снизить нагрузку на аппаратную часть. Среди решений по оптимизации чтения стоит отметить:

- размещение индексов в кэше, а точнее на SSDдисках;
- использование bloom-фильтров совместно с 10-битными строками с целью уменьшения ложного поиска; примером использования может служить конструкция следующего вида: SELECT x WHERE q = = 10 AND y < 100;
- отказ от использования множества фильтров в целях уменьшения времени отклика;
 - использование вторичных индексов.

Под оптимизацией записи в первую очередь понимались меры, направленные на увеличение времени жизни твердотельных накопителей. Было включено журналирование и выделено под него порядка 40 % объёма всех SSD-дисков. Для уменьшения фрагментирования размеры страниц БД были уменьшены.

Из минусов данной СУБД следует отметить невозможность работы с LSM-tree (Log-Structured Merge Trees) индексированием. Вместо него используется В-tree индексирование. Недостатками В-tree структуры построения индексов по сравнению с LSM-tree

в данном случае является трудоемкость балансировки дерева при добавлении нового значения в индекс и относительно большая ресурсоемкость, так как индекс хранится в оперативной памяти.

Тестирование производительности происходило следующим образом: СУБД SIEM-системы начинала обрабатывать события. Параллельно запускался инструмент генерации отчётов об инцидентах; результатом считалось то количество обработанных событий в секунду, которое не попадало в очередь, ожидая обработки. Сравнивалась производительность СУБД SIEM-системы до оптимизации СХД и СУБД и после. Замеры производились в трёх состояниях:

- 1) СХД не оптимизирована, «коробочная» версия СУБД;
- 2) СХД оптимизирована, «коробочная» версия СУБД:
- 3) СХД оптимизирована, оптимизированная СУБД MongoDB.

В среднем решение «из коробки» способно обрабатывать порядка 3500 событий, промежуточная версия с оптимизированной СХД способна справиться с 13 000 событий. Версия с изменённой СУБД смогла показать результат в 16 200 событий в секунду. Стоит отметить, что данную производительность не стоит считать максимальной, так как в данных условиях сгенерировать большее число событий не представилось возможным.

В целом результаты тестирования показали, что правильный выбор и настройка СХД и СУБД может дать увеличение производительности SIEM-системы в области обработки данных в разы, в сравнении со штатными настройками СХД и СУБД, поставляемой «из коробки». Использование парадигм «частного облака», таких как объединение ресурсов, эластичность и унифицированность, использованных в реализации задачи, гарантирует лёгкое масштабирование аппаратных ресурсов, необходимых для бесперебойной работы SIEM-системы.

Конечным результатом стала рабочая программноаппаратная платформа с SIEM-системой, способная обрабатывать большие данные в режиме реального времени, снизив тем самым риск пропуска значимых инцидентов до нуля.

Библиографические ссылки

- 1. Tadviser. Государство. Бизнес. ИТ [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/images/3/3d/Cnews_infa_bigdata_4.jpg (дата обращения: 15.04.2014).
- 2. Internet Engineering Task Force [Электронный pecypc]. URL: http://www.ietf.org/rfc/rfc3164.txt (дата обращения: 15.04.2014).
- 3. Tadviser. Государство. Бизнес. ИТ [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:МарReduce (дата обращения: 15.04.2014).

References

- 1. *Tadviser. Gosudarstvo. Biznes. IT* [Tadviser. Government. Business. IT]. Available at: http://www.tadviser.ru/images/3/3d/Cnews_infa_bigdata_4.jpg/. (accessed 15.04.2014).
- 2. Internet Engineering Task Force. Available at: http://www.ietf.org/rfc/rfc3164.txt (accessed 15.04.2014).
- 3. *Tadviser. Gosudarstvo. Biznes. IT* [Tadviser. Government. Business. IT]. Available at: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B 4%D1%83%D0%BA%D1%82:MapReduce. (accessed 15.04.2014).

© Соболь А. С., 2014

УДК 658.512.001.56

СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА МУЛЬТИВЕРСИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Е. В. Соловьев

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: blackdeathangel@rambler.ru

Описывается мультиверсионное программное обеспечение и его применение для обеспечения работы системы обработки данных реального времени. Данная методология основывается на введении программной избыточности и позволяет существенно повысить уровень надежности программного обеспечения. В качестве примера реального применения программного обеспечения подобного типа была выбрана система управления системой обработки данных реального времени долговременной орбитальной станции. На основании имеющихся данных о системе управления долговременной орбитальной станции была разработана тестовая задача, представляющая собой план полета из последовательности режимов работы станции с заданными ограничениями. Проведены эксперименты с помощью стандартного алгоритма муравьиной колонии на разработанной тестовой задаче.

Ключевые слова: оптимизация, муравьиные алгоритмы, мультиверсионное программное обеспечение, системы реального времени.

THE SYSTEM OF FORMATION OF THE COMPOSITION MULTIVERSIONED VIEWS OF THE SOFTWARE IN REAL TIME

Y. V. Solovyev

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: blackdeathangel@rambler.ru

The article describes software multiversioned views and its application to ensure that the system is processing real-time data. This methodology is based on the introduction of software redundancy and allows to significantly increase the reliability of the software. As a practical example of application software of this type management system, the data processing system of real-time long-term orbital station was chosen. Based on the available data about the long-term orbital station to the task of representing the flight plan from a sequence of modes of operation of the station, with specified restrictions was developed. The experiments were conducted using standard ant colony algorithm developed on the test task.

Keywords: optimization, ant algorithms, multiversioned views software, real time systems.

В современном мире огромное значение приобрела вычислительная техника и в особенности программное обеспечение (ПО), осуществляющее на ней свою работу. В настоящее время благодаря развитию технологий и улучшению аппаратных средств влияние программного обеспечения на надежность и стоимость вычислительных систем значительно возросло. Любое современное программное обеспечение можно считать сложной системой. Существует особый класс ПО, критичный ко времени выполнения системы реального времени. Данный класс ПО является одним из самых сложных и важных типов ПО, так как чаще всего данное ПО задействовано в управлении объектами, выход из строя которых может привести к значительным экономическим потерям, физическим повреждениям или создавать угрозу человеческой жизни. Поэтому большое значение имеют механизмы, способные повысить надежность подобных систем.

Для систем, критических по надежности, используются специальные методы программирования, гарантирующие безопасность, защищенность и безотказность программных систем. Один из подходов для создания высоконадежного ПО, устойчивого к сбоям, заключается в использовании отказоустойчивых архитектур. Отказоустойчивые архитектуры – это архитектуры аппаратных и программных средств, обеспечивающие устойчивость к сбоям. Такие архитектуры включают резервирование аппаратных и программных средств и имеют блок анализа сбоев, который обнаруживает и устраняет ошибки. Одной из таких архитектур является мультиверсионное программирование [1].

При использовании мультиверсионного программирования в соответствии с общей спецификацией различными командами разработчиков разрабатывается несколько версий программного обеспечения. Эти версии осуществляют вычисления, а результаты их работы сравниваются с помощью системы согласования. Результаты версии, не совпадающие с половиной версий и еще одной или не полученные вовремя, отвергаются [2; 3].

Одним из примеров, где ПО подобного типа может использоваться, является система управления обработки данных реального времени долговременной орбитальной станции (ДОС). Под долговременными орбитальными станциями понимают специально созданные и соответствующим образом оборудованные сооружения и комплексы сооружений, расположенные в открытом космосе или на каких-либо космических телах и предназначенные для научной, производственной, испытательной, эксплуатационной или иной деятельности людей и их жизни в течение длительного промежутка времени. Современная ДОС представляет собой комплекс технических средств, функционально связанных между собой в процессе выполнения поставленных перед ними задач.

Управление работой станции, обеспечение условий жизнедеятельности ее экипажа возложены на бортовые вычислительные машины и системы, обес-

печивающие функционирование различных систем обработки данных и управление в реальном масштабе времени, мониторинг изменений, а также перестроение состава задействованных модулей ПО при использовании мультиверсионного программирования. Основной проблемой является управление всеми составляющими системы для обеспечения максимальных показателей эффективности с учетом поставленных ограничений.

В качестве основного средства управления существуют режимы станции и план ее полета, который представляет собой упорядоченный набор режимов станции. Под режимом ДОС понимают множество выполняемых функций, необходимых для реализации конкретного режима. Ему соответствует определенный набор программных средств. В конкретный момент времени выполняется только один режим [4].

В качестве тестовой задачи был выбран следующий план полета:

- 1. Стандартный режим: $0 \le t < 100, C \rightarrow \min, R_{\min} = 0.993.$
 - 2. Стыковка: $100 \le t < 200$, $R \to \max$, $C_{\max} \to 1600$.
- 3. Стандартный: $200 \le t < 300$, C →min, $R_{\min} = 0.995$.
- 4. Внешняя деятельность: $300 \le t < 400$, $R \to \max$, $C_{\max} \to 1300$.
 - 5. Стыковка: $400 \le t < 500$, $R \to \max$, $C_{\max} \to 1600$.
- 6. Коррекция орбиты: $500 \le t < 600, R \to \max, C_{\max} \to 1500.$
- 7. Микрогравитация: $600 \le t < 700, C \rightarrow \min, R_{\min} = 0.991.$
- 8. Стандартный: $700 \le t < 800, C \rightarrow \min, R_{\min} = 0.995.$

Для проверки возможности эффективной работы подобного ПО был создан программный комплекс, получивший название ACO N-version software creator. Данное программное приложение было написано на языке программирования С# с использованием среды программирования приложений Microsoft Visual Studio 2012. Это позволило использовать возможности, предоставляемые объектно-ориентированным подходом при разработке программного обеспечения. Схема разработанного комплекса представлена на рис. 1.

Основное функционирование данного ПО обеспечивает модуль Program. Модуль осуществляет ряд шагов для начала процесса работы мультиверсионного программного обеспечения с динамической архитектурой, работающего в реальном времени:

- 1. Запуск системного времени, что позволяет нам отслеживать время работы программы, а также изменений, которые возникают в процессе ее работы.
- 2. Создание и запуск объекта, который осуществляет мониторинг изменений и применение изменений, возникающих в процессе работы программы.
- 3. Остановку поиска по завершению процесса работы программы, что включает в себя остановку монитора, следящего за возникающими изменениями.

Для обеспечения процесса работы мультиверсионного программного обеспечения с динамической

архитектурой используются три взаимосвязанных объекта: монитор изменений, симулятор работы программы, а также конструктор решений. Монитор изменений является объектом, который через определенные промежутки времени проверяет наличие изменений в программе, также он отвечает за непосредственный запуск процесса построения решения. Конструктор решений является объектом, который осуществляет взаимодействие с объектом, ищущим оптимальный состав мультиверсионного программного обеспечения, а также осуществляет хранение лучшего найденного решения. Симулятор работы программы является объектом, который осуществляет симуляцию работы программы, сохраняя параметры найденного решения через определенные кванты времени для их последующего анализа, непосредственно осуществляет реальную работу, возложенную на ПО.

Благодаря наличию этих трех элементов ПО подобного типа в полной мере способно осуществлять свою работу. Основной вопрос, который встает перед разработчиком, является выбор алгоритма для конструирования состава мультиверсионного программного обеспечения. В данном случае выбор был сделан в пользу алгоритма муравьиной колонии, так как динамическая среда исполнения предполагает изменения в структуре и составе мультиверсионного ПО [5; 6].

В результате работы данной программы на разработанной тестовой задаче было установлено, что данное ПО способно обеспечивать формирование состава мультиверсионного ПО с динамической архитектурой с заданными ограничениями. На рис. 2 и 3 представлены графики изменения надежности и стоимости найденного решения в процессе работы алгоритма.

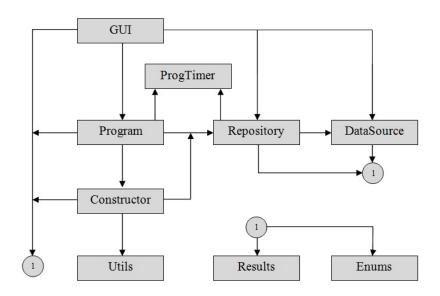


Рис. 1. Схема разработанного программного комплекса

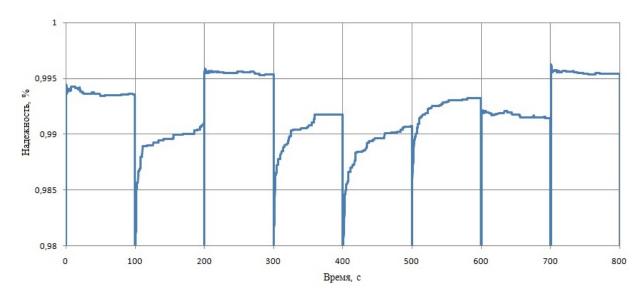


Рис. 2. График изменения надежности найденного решения

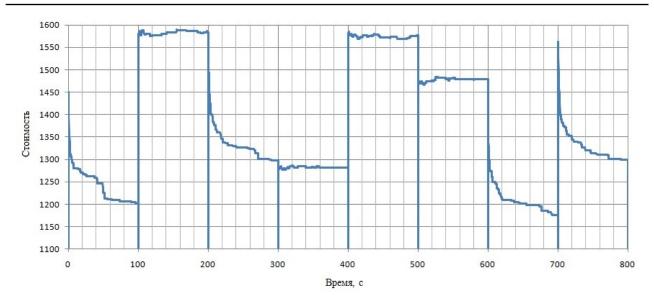


Рис. 3. График изменения стоимости найденного решения

Разработанная система формирования состава мультиверсионного программного обеспечения на практике доказала свою эффективность. На разработанной тестовой задаче, в основу которой легли данные о системе обработки данных реального времени долговременной орбитальной станции, система демонстрирует способность нахождения состава мультиверсионного ПО за ограниченное время и его последующего улучшения в процессе работы алгоритма муравьиной колонии, который был выбран в качестве основного алгоритма для нахождения состава мультиверсионного программного обеспечения.

Библиографические ссылки

- 1. Соммервиль И. Инженерия программного обеспечения, 6-е изд. М.: Вильямс, 2002. 624 с.
- 2. Bishop P. G. Review of Software Design Diversity // Сайт компании Adelard. URL: http://www.adelard.com/papers/divchap.pdf (дата обращения 26.05.2014).
- 3. Ковалев И. В., Слободин М. Ю., Ступина А. А. Математическая постановка задачи проектирования N-версионных программных систем // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2005. № 3. С. 16–23.
- 4. Кульба В. В., Микрин Е. А., Павлов Б. В. Проектирование информационно-управляющих систем долговременных орбитальных станций. М. : Наука, 2002. 343 с.
- 5. Dorigo M., Stützle Th. Ant colony optimization. Cambridge: The MIT Press, 2004.

6. Binitha S., Siva Sathya S. A Survey of Bio inspired Optimization Algorithms // International Journal of Soft Computing and Engineering. 2012. Vol. 2, Iss. 2. P. 137–151.

References

- 1. Sommerval' I. *Inzhenerija programmnogo obespechenija* [Software Engineering]. Moscow, Vil'jams Publ., 2002, 624 p.
- 2. Bishop P. G., Review of Software Design Diversity. Available at: http://www.adelard.com/papers/divchap.pdf (accessed 26.05.2014).
- 3. Kovalev I. V., Slobodin M. Ju., Stupina A. A. [The mathematical formulation of designing N- versioned software systems]. *Problemy mashinostroenija i avtomatizacii*. 2005, no. 3, p. 16–23. (In Russ.)
- 4. Kul'ba V. V., Mikrin E. A., Pavlov B. V. *Proektirovanie Informatsionno-upravljajushhikh sistem dolgovremennykh orbital'nykh stantsij* [Design information management systems of long-term orbital stations]. Moscow, Nauka Publ., 2002, 343 p.
- 5. Dorigo M., Stützle T. Ant colony optimization. Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 2004.
- 6. Binitha S., Siva Sathya S. A Survey of Bio inspired Optimization Algorithms. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 2012, Vol. 2, Iss. 2, p. 137–151.

© Соловьев Е. В., 2014

УДК 519.632

ПРИМЕНЕНИЕ ЭРМИТОВОГО БИКВАДРАТНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

В. В. Шайдуров^{1, 3}, С. В. Шуть²

¹ Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

²Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Е-mail: seshoot@mail.ru

³Институт вычислительного моделирования СО РАН
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/44

Е-mail: shaidurov04@mail.ru

Предложен новый тип эрмитового конечного элемента на прямоугольнике, промежуточный между билинейным и бикубическим конечными элементами. Применение этого биквадратного элемента дает меньшее число неизвестных и уравнений дискретных алгебраических систем по сравнению с лагранжевым элементом той же степени. Теоретическое заключение об эффективности проиллюстрировано его использованием при решении краевой задачи для эллиптического уравнения второго порядка, где достигнут второй порядок точности приближенного решения в энергетической норме и четвертый порядок в дискретной среднеквадратичной норме на равномерной сетке.

Ключевые слова: метод конечных элементов, эрмитовы и лагранжевы конечные элементы, число степеней свободы, порядок аппроксимации, порядок сходимости.

APPLICATION OF HERMITIAN BIQUADRATIC FINITE ELEMENT

V. V. Shaydurov^{1, 3}, S. V. Shut²

¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

²Siberian Federal University
79, Svobodny prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

E-mail: seshoot@mail.ru

¹Institute of Computational Modeling of Siberian Branch of Russian Academy of Science

50/44, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

E-mail: shaidurov04@mail.ru

A new type of Hermitian finite element on rectangle is presented which is intermediate between bilinear and bicubic finite elements. The use of this biquadratic element gives less number of unknowns and equations of discrete algebraic systems in comparison with the Lagrangian element of the same degree. The theoretical conclusion of its effectiveness is illustrated by using this finite element for solving boundary value problem for second-order elliptic equation where the second order of accuracy was achieved for approximate solution in the energy norm and the fourth order of accuracy in mean-value norm on uniform mesh.

Keywords: finite element method, Hermitian and Lagrangian finite elements, number of degrees of freedom, order of approximation, order of convergence.

Билинейные конечные элементы на прямоугольниках давно и успешно используются для решения двумерных стационарных и нестационарных задач [1–3]. С помощью аффинных, изопараметрических и других преобразований область их применения расширена до широкого круга двумерных областей, в том числе с криволинейной границей [1; 3–6]. Однако точность аппроксимации этими конечными элементами невысока: второй порядок в L_2 -норме и только первый в H^1 -норме. Поэтому интенсивно развились конеч-

ные элементы с базисными функциями-многочленами более высокой степени, обеспечивающими и более высокий порядок аппроксимации.

Причем развитие шло в направлении как лагранжевых, так и эрмитовых элементов. Сопоставление двух типов элементов дает основание утверждать о большей эффективности эрмитовых элементов по сравнению с лагранжевыми элементами ввиду меньшей размерности порождаемых систем дискретных алгебраических уравнений при равных свойствах

аппроксимации [7]. Более того, для некоторых эрмитовых элементов достигнута не только межэлементная непрерывность, но и межэлементная $C^{\rm l}$ -гладкость, включающая непрерывность первых (частных) производных [1; 8; 9].

Поэтому повышение интереса к эрмитовым конечным элементам остается актуальным. Вместе с тем описанная в литературе линейка эрмитовых элементов начинается с бикубических элементов и продолжается только по нечетным степеням.

В этой статье мы опишем двумерный эрмитов элемент второй степени на прямоугольнике, начинающий линейку эрмитовых конечных элементов.

Описание элемента. Сначала, используя терминологию работ [1; 2], построим референтный элемент $(\hat{e}, P_{\hat{e}}, \Sigma_{\hat{e}})$ как тройку, состоящую из ячейки \hat{e} , пространства функций $P_{\hat{e}}$ и множества степеней свободы $\Sigma_{\hat{e}}$. В качестве референтной ячейки возьмем единичный квадрат $\hat{e} = [0,1] \times [0,1]$ с четырьмя вершинами $\hat{a}_1 = (1,1), \, \hat{a}_2 = (1,0), \, \hat{a}_3 = (0,0), \, \hat{a}_4 = (0,1)$ (рис. 1).

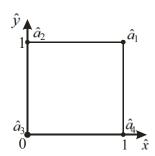


Рис. 1. Референтная ячейка

Мы определим пространство функций $P_{\hat{e}}$ как линейную оболочку восьми полиномиальных одночленов:

$$P_{\hat{e}} = \operatorname{span} \left\{ 1, \, \hat{x}, \, \hat{y}, \, \hat{x}^2, \, \hat{x}\hat{y}, \, \hat{y}^2, \, \hat{x}^2\hat{y}, \, \hat{x}\hat{y}^2 \right\}, \tag{1}$$

а множество степеней свободы $\Sigma_{\hat{e}}$ складывается из значения функции и одной из частных производных в каждой вершине квадрата:

$$\begin{split} & \Sigma_{\hat{e}} = \left\{ \hat{\psi}_{i,1}(\hat{p}) = \hat{p}(\hat{a}_i), \ i = 1, ..., 4, \\ & \hat{\psi}_{i,2}(\hat{p}) = \partial \hat{p}(\hat{a}_i) / \partial \hat{x}, \ i = 1, 3, \\ & \hat{\psi}_{i,2}(\hat{p}) = \partial \hat{p}(\hat{a}_i) / \partial \hat{y}, \ i = 2, 4, \ \hat{p} \in P_{\hat{e}} \right\}. \end{split} \tag{2}$$

Отметим, что каждой вершине соответствуют две степени свободы, но направления производных различны в вершинах с четными и нечетными номерами. Покажем, что этот набор действительно является корректным конечным элементом в смысле монографии [1].

Лемма 1 . Тройка $(\hat{e}, P_{\hat{e}}, \Sigma_{\hat{e}})$ представляет собой конечный элемент.

Доказательство. Размерность пространства $P_{\hat{e}}$ совпадает с количеством элементов множества $\Sigma_{\hat{e}}$. Поэтому для доказательства унисольвентности

(однозначной разрешимости) пары $(P_{\hat{e}}\ , \Sigma_{\hat{e}})$ достаточно построить базис Лагранжа $\left\{\hat{\phi}_{i,j}(\hat{x},\hat{y})\in P_{\hat{e}}\ , j=1,2,\, i=1,...,4\right\}$ на $\hat{e},\,$ удовлетворяющий условию [1]

$$\hat{\Psi}_{i,j}(\hat{\varphi}_{k,l}) = \delta_{i,k}\delta_{j,l},\tag{3}$$

где δ_{ik} – символ Кронекера.

Прямая проверка показывает, что базис Лагранжа имеет следующий вид:

$$\begin{split} \hat{\phi}_{1,1} &= \hat{x}\hat{\hat{y}}(1-\hat{x}+\hat{y}), & \hat{\phi}_{1,2} &= \hat{x}\hat{y}(\hat{x}-1), \\ \hat{\phi}_{2,1} &= \hat{x}(1-\hat{y})(\hat{x}+\hat{y}), & \hat{\phi}_{2,2} &= \hat{x}\hat{y}(1-\hat{y}), \\ \hat{\phi}_{3,1} &= (1-\hat{x})(1-\hat{y})(1+\hat{x}-\hat{y}), & \hat{\phi}_{3,2} &= \hat{x}(1-\hat{x})(1-\hat{y}), \\ \hat{\phi}_{4,1} &= (1-\hat{x})\hat{y}(2-\hat{x}-\hat{y}), & \hat{\phi}_{4,2} &= (1-\hat{x})\hat{y}(\hat{y}-1). \end{split}$$

Для проверки интерполяционных свойств этого элемента используем обычные обозначения для пространств Соболева. Пусть $L_2(\Omega)$ — гильбертово пространство функций, измеримых по Лебегу в области Ω , со скалярным произведением

$$(u,v)_{\Omega} = \int_{\Omega} u \, v \, d\Omega, \quad u,v \in L_2(\Omega)$$

и конечной нормой

$$||u||_{0,\Omega} = (u,u)_{\Omega}^{1/2}, \quad u \in L_2(\Omega).$$

Для целого неотрицательного k обозначим через $H^k(\Omega)$ гильбертово пространство множества функций $u \in L_2(\Omega)$, слабые производные которых тоже принадлежат $L_2(\Omega)$ до порядка k включительно. Норма в этом пространстве определяется формулой

$$\|u\|_{k,\Omega} = \left(\sum_{0 \le s+r \le k} \left| \frac{\partial^{s+r} u}{\partial x_1^s \partial x_2^r} \right|_{0,\Omega}^2 \right)^{1/2}.$$
 (5)

Введем также полезную полунорму

$$|u|_{k,\Omega} = \left(\sum_{s+r=k} \left| \frac{\partial^{s+r} u}{\partial x_1^s \partial x_2^r} \right|_{0,\Omega}^2 \right)^{1/2}, \quad u \in H^k(\Omega).$$

Пусть \hat{u} — произвольная функция из $H^3(\hat{e})$. По теореме вложения пространств Соболева $H^3(\hat{e})$ непрерывно вложено в $C^1(\hat{e})$ [10], поэтому $\hat{u} \in C^1(\hat{e})$. В итоге мы можем построить интерполянт $\hat{u}_I \in P_{\hat{e}}$:

$$\hat{u}_I(\hat{x}_1, \hat{x}_2) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 \hat{\psi}_{i,j}(\hat{u}) \hat{\varphi}_{i,j}(\hat{x}_1, \hat{x}_2).$$

Теорема 1. Пусть $\hat{u} \in H^3(\hat{e})$. Тогда для любого целого $m \le 3$ справедлива оценка

$$|\hat{u} - \hat{u}_I|_{m \, \hat{e}} \le c_1 |\hat{u}|_{3 \, \hat{e}} \tag{6}$$

с константой c_1 , не зависящей от \hat{u} .

Доказательство. Максимальный порядок частных производных в определении множества $\Sigma_{\hat{e}}$ равен

единице. А как уже упоминалось, пространство $H^3(\hat{e})$ вложено в $C^1(\hat{e})$. Кроме того, из (1) следует, что $P_{\hat{e}} \supset P_2(\hat{e})$, где $P_2(\hat{e})$ — пространство многочленов суммарной степени не выше двух. Таким образом, выполнены все условия теоремы 3.1.5 в монографии [1], из которой и следует оценка (6).

К этому конечному элементу возможно применение аффинных и изопараметрических преобразований для аппроксимации границы области [1]. Поскольку вдоль границы ячейки базисные функции являются квадратичными, то они предоставляют возможность более точной аппроксимации границы, чем билинейные или линейные элементы.

Вместе с тем из-за неоднородности степеней свободы для этого элемента полезно использовать еще одно простое преобразование. Для иллюстрации его необходимости рассмотрим разбиение области $\Omega = (0,1) \times (0,1)$ на элементарные квадратные ячейки (рис. 2), проведя два семейства параллельных прямых $x_i = ih, \ i = 1, ..., \ n-1, \ u \ y_j = jh, \ j = 1, ..., \ n-1, \ c$ шагом h = 1/n.

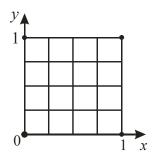


Рис. 2. Разбиение прямоугольника на элементарные ячейки

Обычное преобразование референтного элемента на элементарную ячейку выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} x = x_i + h\hat{x}, \\ y = y_j + h\hat{y}. \end{cases}$$
 (7)

Рассмотрим две соседние элементарные ячейки в разбиении исходной геометрической области (рис. 3). При использовании преобразования вида (7) (рис. 3, *а*) получается рассогласование степеней свободы в общих узлах соседних элементов. В принципе, можно ввести формулы пересчета производных из одного элемента в другой. Но это усложнит реализацию метода. Поэтому мы введем еще одно простое преобразование:

$$\begin{cases} x = x_i + h\hat{y}, \\ y = y_j + h\hat{x}. \end{cases}$$
 (8)

Применяя его в одном из соседних элементов, мы получим совпадение степеней свободы в узлах сетки (рис. 3, δ).

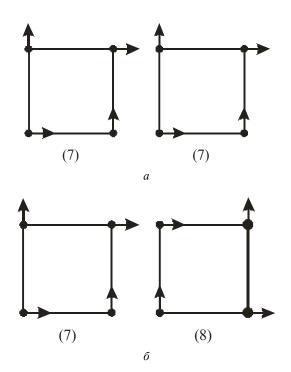


Рис. 3. Соседние ячейки с одинаковыми и разными преобразованиями: a — одинаковые преобразования; δ — разные преобразования

Итак, предложенный эрмитов биквадратный конечный элемент имеет 8 степеней свободы в каждой элементарной ячейке, а каждому узлу (x_i, y_j) соответствует комбинация всего двух базисных функций $\varphi_{i,j}$ и $\psi_{i,j}$, которые строятся следующим образом.

Базисная функция $\varphi_{i,j}$ принимает значение 1 в узле (x_i,y_j) и 0 в других узлах сетки так же, как и ее производные $\partial \varphi_{i,j}(x_k,y_l)/\partial x=0$ в узлах с четной комбинацией k+l и $\partial \varphi_{i,j}(x_k,y_l)/\partial y=0$ в узлах с нечетной комбинацией k+l.

Базисная функция $\psi_{i,j}$ равна нулю во всех узлах сетки. Но при четной сумме i+j ее производная по x $\partial \psi_{i,j}(x_k,y_l)/\partial x$ принимает значение 1, если k=i и l=j, и 0 во всех остальных узлах с четной суммой k+l, а ее производная по y $\partial \psi_{i,j}(x_k,y_l)/\partial y$ обращается в нуль во всех узлах с нечетной суммой k+l. А при нечетной сумме i+j ее производная по y $\partial \psi_{i,j}(x_k,y_l)/\partial y$ принимает значение 1, если k=i и l=j, и 0 во всех остальных узлах с нечетной суммой k+l, а ее производная по x $\partial \psi_{i,j}(x_k,y_l)/\partial x$ обращается в нуль во всех узлах с четной суммой k+l. В итоге базисные функции имеют следующий вид. Для узла с четной комбинацией индексов i+j

$$\psi_{i,j}^{sh} = \begin{cases}
(x - x_i)(x_{i+1} - x)(y_{j+1} - y) / h_x h_y & \text{при } (x, y) \in [x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}], \\
(x - x_i)(x - x_{i-1})(y_{j+1} - y) / h_x h_y & \text{при } (x, y) \in [x_{i-1}, x_i] \times [y_j, y_{j+1}], \\
(x - x_i)(x_{i+1} - x)(y - y_{j-1}) / h_x h_y & \text{при } (x, y) \in [x_i, x_{i+1}] \times [y_{j-1}, y_j], \\
(x - x_i)(x - x_{i-1})(y - y_{j-1}) / h_x h_y & \text{при } (x, y) \in [x_{i-1}, x_i] \times [y_{j-1}, y_j], \\
0 & \text{иначе;}
\end{cases} \tag{10}$$

а для узла с нечетной комбинацией индексов i+j

$$\psi_{ij}^{sh} = \begin{cases}
(y - y_j)(x_{i+1} - x)(y_{j+1} - y) / h_x h_y & \text{при } (x, y) \in [x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}], \\
(y - y_j)(x - x_{i-1})(y_{j+1} - y) / h_x h_y & \text{при } (x, y) \in [x_{i-1}, x_i] \times [y_j, y_{j+1}], \\
(y - y_j)(x_{i+1} - x)(y - y_{j-1}) / h_x h_y & \text{при } (x, y) \in [x_i, x_{i+1}] \times [y_{j-1}, y_j], \\
(y - y_j)(x - x_{i-1})(y - y_{j-1}) / h_x h_y & \text{при } (x, y) \in [x_{i-1}, x_i] \times [y_{j-1}, y_j], \\
0 & \text{иначе.}
\end{cases} \tag{12}$$

Численный пример. Проиллюстрируем свойства предлагаемого конечного элемента на следующем примере. Пусть $\Omega = (0,1) \times (0,1)$ — квадрат (см. рис. 2) с границей Γ . Рассмотрим краевую задачу

$$-\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) = f \quad \mathbf{B} \quad \Omega,$$

$$u(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{при } x = 0, \\ 0 & \text{при } y = 0, \\ -y \sin y & \text{при } x = 1, \\ -x \sin x & \text{при } y = 1, \end{cases}$$
на Γ

с правой частью

$$f(x,y) = 2(x+x^2+y+3xy+y^2)\cos(1-x-y) + (-y+2x^2y+x(-1+2y+2y^2))\sin(1-x-y)$$

и коэффициентом $\mu(x,y) = x + y + 1$. Точным решением этой задачи является функция

$$u(x, y) = xy \sin (1 - x - y).$$

Разделим область Ω на элементарные квадраты, проведя два семейства параллельных прямых $x_i=ih,\ i=1,\ ...,\ n-1,\$ и $y_j=jh,\ j=1,\ ...,\ n-1,\$ с шагом h=1/n.

Для выяснения порядка точности при уменьшении размера сетки построим систему линейных алгебраических уравнений методом конечных элементов с использованием базисных функций (9)–(12) для n=10,20,40. Поскольку точное решение априори известно, то разность $u-u_h$ между точным и приближенным решением можно выразить в явном виде. Рассмотрим следующие нормы — дискретные аналоги норм в L_2 и H^1 :

$$\begin{split} & \left\| u - u^h \right\|_{0,h}^2 = \sum_{1 \le i \le n-1, \ 1 \le j \le n-1} \left(u(x_i, y_j) - u^h(x_i, y_j) \right)^2 h^2, \\ & \left\| u - u^h \right\|_{1,h}^2 = \sum_{1 \le i \le n-1, \ 1 \le j \le n-1} \left(u(x_i, y_j) - u^h(x_i, y_j) \right)^2 h^2 + \\ & + \sum_{\substack{1 \le i \le n-1, \ 1 \le j \le n-1 \\ i \ne j \text{ "NETHIBLE}}} \left(\frac{\partial u}{\partial x}(x_i, y_j) - \frac{\partial u^h}{\partial x}(x_i, y_j) \right)^2 2h^2 + \\ & + \sum_{\substack{1 \le i \le n-1, \ 1 \le j \le n-1 \\ i \ne j \text{ "NETHIBLE}}} \left(\frac{\partial u}{\partial y}(x_i, y_j) - \frac{\partial u^h}{\partial y}(x_i, y_j) \right)^2 2h^2. \end{split}$$

Напомним, что используемые в них значения производных совпадают со степенями свободы и не требуют дополнительных вычислений или аппроксимаций.

h	$\delta_h = \left\ u - u^h \right\ _{0,h}$	$\sigma_h = \left\ u - u^h \right\ _{1,h}$	δ_{2h}/δ_h	σ_{2h}/σ_h	$\log_2(\delta_{2h}/\delta_h)$	$\log_2(\sigma_{2h}/\sigma_h)$
0,1	$1,15 \times 10^{-6}$	0,00084	14,7	3,5	3,88	1,8
0,05	7.8×10^{-8}	0,00024	15,4	3,7	3,94	1,9
0.025	5.07×10^{-9}	6.48×10^{-5}	13,4	3,7	3,74	1,7

Точность приближенного решения

Отметим, что с теоретической точки зрения для достаточно гладкого решения задачи гарантируются следующие порядки точности.

Теорема 2. Пусть $u \in H^3(\Omega)$. Тогда справедливы оценки

$$\|u - u^h\|_{1,\Omega} \le c_2 h^2 \|u\|_{3,\Omega}$$
 (13)

И

$$\|u - u^h\|_{0,\Omega} \le c_3 h^3 \|u\|_{3,\Omega}$$
 (14)

с константами c_2 и c_3 , независящими от u и h.

Доказательство. Оценка (13) получается стандартным образом [1; 2; 6] из теоремы 1 путем масштабирования и применения к совокупности элементарных квадратов. А оценка (14) вытекает из нее на основании приема Нитше [1; 2].

То есть в нашем примере мы должны получить второй порядок сходимости в норме H^1 и третий порядок в норме L_2 . А практически для дискретных аналогов получаем следующее (см. таблицу).

Что касается поведения погрешности $\sigma_h = \left\| u - u^h \right\|_{1,h}$, то ее порядок действительно близок к

двум. А вот погрешность $\delta_h = \left\| u - u^h \right\|_{0,h}$ ведет себя

гораздо лучше теоретически предсказанного третьего порядка, демонстрируя близость к четвертому порядку. Это объясняется следующим образом. Оценки (13) и (14) справедливы, вообще говоря, на неравномерных сетках. На неравномерной сетке погрешность в дискретной среднеквадратичной норме действительно будет лишь третьего порядка малости. Но что касается равномерной сетки, то получающаяся конечноразностная схема имеет симметричный шаблон и потому не может быть нечетного порядка точности ввиду сокращения нечетных степеней в разложении Тейлора для погрешности аппроксимации. Поэтому после сокращения слагаемых третьего порядка аппроксимации остаются лишь слагаемые четвертого порядка малости, которые и определяют четвертый порядок сходимости для дискретного набора значений. Но при вычислении (недискретной) нормы $\|u-u^h\|_{0,\Omega}$

оказывается лишь третьего порядка, как и предсказывается теоремой 2.

Итак, в статье представлен новый эрмитов биквадратный элемент на прямоугольнике. До сих пор эрмитовым конечным элементом наименьшей степени был бикубический элемент. Поскольку биквадратный элемент проще бикубического, то для решений класса $H^3(\Omega)$ он оказывается более экономичным.

Относительно неожиданным свойством оказался его повышенный порядок точности в дискретной среднеквадратичной норме на равномерной сетке. Вместо третьего получается четвертый порядок точности. Это объясняется симметрией шаблона получающейся конечно-разностной схемы. В итоге, в этой дискретной норме на равномерной сетке порядок точности биквадратного и бикубического элемента совпадают, что делает первый элемент более предпочтительным ввиду меньшего числа степеней свободы и более простой структуры дискретных уравнений.

Библиографические ссылки

- 1. Сьярле Ф. Метод конечных элементов для эллиптических краевых задач. М.: Мир, 1980.
- 2. Brenner S. C., Scott L. R. The Mathematical Theory of Finite Element Methods. New York: Springer-Verlag, 1994.
- 3. Даутов Р. 3., Карчевский М. М. Введение в теорию метода конечных элементов. Казань: Казанский государственный университет, 2004.
- 4. Ильин В. П. Методы и технологии конечных элементов. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2007.
- 5. Шайдуров В. В. Многосеточные методы конечных элементов. М.: Наука, 1989.
- 6. Стренг Γ ., Фикс Дж. Теория методов конечных элементов. М.: Мир, 1977.
- 7. Gileva L., Shaydurov V., Dobronets B. The triangular Hermite finite element complementing the Bogner-Fox-Schmit rectangle // Applied Mathematics. 2013. Vol. 5, № 12A. P. 50–56.
- 8. Bogner F. K., Fox R. L., Schmit L. A. The generation of interelement compatible stiffness and mass matrices by the use of interpolation formulas // Proceedings of the Conference on Matrix Methods in Structural Mechanics. Ohio: Wright-Patterson Air Force Base, 1965. P. 397–444.
- 9. Zhang S. On the full C_1 - Q_k finite element spaces on rectangles and cuboids // Advances in Applied Mathematics and Mechanics. 2010. Vol. 2, No. 6. P. 701–721.
- 10. Adams R. A., Fournier J. J. F. Sobolev spaces. New York : Academic Press, 2003.

References

- 1. Ciarlet P. G. The Finite Element Method for Elliptic Problems. Amsterdam, North-Holland, 1978.
- 2. Brenner S. C., Scott L. R. The Mathematical Theory of Finite Element Methods. New York, Springer-Verlag, 1994.

- 3. Dautov R. Z., Karchevskiy M. M. *Vvedeniye v teoriyu metoda konechnykh elementov* [Introduction into theory of finite element method]. Kazan, Kazan State University Publ., 2004.
- 4. Il'in V. P. *Metody i tekhnologii konechnykh elementov* [Methods and technologies of finite elements]. Novosibirsk, INM&MG SB RAS Publ., 2009.
- 5. Shaidurov V. V. *Mnogosetochnyye metody konechnykh elementov* [Multigrid methods for finite elements]. Moscow, Nauka Publ., 1989.
- 6. Streng G., Fix G. *Teoriya metodov konechnykh elementov* [Theory of finite element methods]. Moscow, Mir Publ., 1977.
- 7. Gileva L., Shaydurov V., Dobronets B. The triangular Hermite finite element complementing the Bogner-

- Fox-Schmit rectangle. *Applied Mathematics*. 2013. Vol. 5, no. 12A, p. 50–56.
- 8. Bogner F. K., Fox R. L., Schmit L. A. The generation of interelement compatible stiffness and mass matrices by the use of interpolation formulas. *Proceedings of the Conference on Matrix Methods in Structural Mechanics*, Ohio: Wright-Patterson Air Force Base, 1965, p. 397–444.
- 9. Zhang S. On the full C₁-Q_k finite element spaces on rectangles and cuboids. *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*. 2010. Vol. 2, no. 6, p. 701–721.
- 10. Adams R. A., Fournier J. J. F. Sobolev spaces. New York : Academic Press, 2003.

© Шайдуров В. В., Шуть С. В., 2014

УДК 658.14+621.975

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОЛОТА

И. Я. Шестаков¹, Е. Н. Фисенко¹, И. А. Ремизов²

¹ Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: info@sibsau.ru

² Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1 E-mail: rector@krsk.info

Рассматривается способ работы молота, приводом которого является линейный электродинамический двигатель. Рассмотрена связь импульса тока в обмотке возбуждения ротора с энергией удара. При статическом режиме работы электродинамического молота в обмотку катушки-статора и в обмотку возбуждения ротора подают токи, величина которых достаточна для втягивания ротора в статор и удерживания его в верхнем положении. Затем в обмотку возбуждения подают импульс тока для обеспечения рабочего хода ротора. Направление импульса тока в обмотке возбуждения противоположно направлению тока в статическом режиме. Длительность импульса тока меньше, чем время перемагничивания магнитопровода статора, но превышает длительность рабочего хода ротора. Приведены результаты испытаний электродинамических молотов.

Ключевые слова: электродинамический молот, импульс тока, время перемагничивания, магнитопровод, ротор.

WORK FEATURES OF ELECTRODYNAMIC HAMMER

I. Y. Shestakov¹, E. N. Fisenko¹, I. A. Remizov²

¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: info@sibsau.ru

²Krasnoyarsk State Medical University named after prof. V. F. Voino-Yasenetsky 1, Partizan Zheleznyak str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation E-mail: rector@krsk.info

The article discusses a hammer operation technique, the drive of which is a linear electrodynamic motor. The relationship between the current pulse in the rotor field winding with impact energy is studied. In static mode of the electrodynamic hammer the currents are fed to coil winding and the rotor field winding, the current magnitude is sufficient to draw the rotor into the stator and keeping it in the upper position. Then current pulse is fed to the rotor field winding to provide the rotor stroke. The direction of the current pulse is the opposite to the current direction in the static mode. Current pulse duration is shorter than it takes to reverse magnetization of the stator magnetic core, but it exceeds the duration of the rotor stroke. The results of tests of electrodynamic hammers are presented.

Keywords: electrodynamic hammer, current pulse, time of magnetization reversal, magnetic core, rotor.

В радиопромышленности, приборостроении широко применяется холодная штамповка. Это объясняется тем, что детали, изготавливаемые из листового материала, можно получить сложной конфигурации, высокой точности, стабильных размеров при высокой производительности.

Для холодной штамповки в основном используются кузнечно-прессовые машины (КПМ), в которых вращательное движение преобразуется в возвратнопоступательное перемещение. Применение линейных электродинамических двигателей в КПМ позволит непосредственно преобразовать электроэнергию в кинетическую прямолинейного движения инструмента, что существенно упрощает привод машин, повышает надежность, производительность листовой штамповки. Однако широкого применения линейные электродинамические двигатели в КПМ не получили из-за недостаточности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этой области. В данной статье рассматривается способ работы молота, приводом которого является линейный электродинамический двигатель. Это позволило повысить энергию удара и КПД преобразования электрической энергии в механическую с 70 до 81 %.

Энергия удара инструмента пропорциональна квадрату скорости движущихся масс в момент удара. Эта скорость может быть определена следующим образом:

$$V = a \cdot \tau, \tag{1}$$

где V — скорость в момент удара; a — ускорение движущихся масс (масса бабы + масса ротора + масса инструмента); τ — время рабочего хода, т. е. время движения инструмента от верхнего положения до момента удара о заготовку.

Ускорение приближенно можно определить как

$$a = F/m, (2)$$

где F — электромагнитная сила, действующая в рабочем зазоре катушки-статора на обмотку возбуждения ротора; m — величина движущихся масс.

Электромагнитная сила определяется по известному закону

$$F = B \cdot I \cdot l, \tag{3}$$

где B — магнитная индукция в рабочем зазоре; I — ток в обмотке возбуждения ротора; l — длина проводника, находящегося в рабочем зазоре.

Магнитная индукция в рабочем зазоре определяется как

$$B = f(F_{\rm CT} \pm F_{\rm p}),\tag{4}$$

где f — функция зависимости магнитной индукции от магнитодвижущей силы; $F_{\rm cr}$ – магнитодвижущая сила от обмотки катушки-статора; $F_{\rm p}$ – магнитодвижущая сила от обмотки возбуждения ротора. Магнитодвижущая сила - величина векторная, поэтому при совпадении направлений векторов магнитная индукция максимальная. Направление магнитодвижущей силы определяется направлением тока в обмотке, поэтому при одинаковом направлении токов в обмотках ротора и статора магнитодвижущие силы складываются (знак «+» в формуле (4)). Это происходит в статическом режиме работы молота, значит магнитная индукция в рабочем зазоре максимальная. В режиме рабочего хода направление тока в обмотке возбуждения меняется на противоположное. В этот же момент должно начинаться перемагничивание магнитопровода статора. Из-за инерционности магнитных диполей материала статора перемагничивание начинается через определенный промежуток времени. Установлено экспериментально, что этот промежуток времени для литого массивного магнитопровода составляет 100-150 мс. Поэтому длительность импульса тока должна быть меньше, чем время перемагничивания, так как в течение этого времени магнитная индукция в рабочем зазоре максимальна, значит, и развиваемая электромагнитная сила максимальная, стало быть, энергия удара повышенная.

Из выражений (1) и (2) видно, что конечная скорость V определяется временем действия ускорения a и электромагнитной силы F. Для получения максимальной скорости движущихся масс необходимо, чтобы время действия силы F (а значит, длительность импульса тока I) было больше, чем длительность рабочего хода ротора. При этом энергия удара повышенная по сравнению с тем, когда длительность импульса тока в обмотке возбуждения меньше, чем время рабочего хода ротора.

На рис. 1 изображен электродинамический привод молота, состоящий из обмотки-катушки статора I, обмотки возбуждения ротора 2, ротора 3, блока управления EV , магнитопровода 4; 0-0 — положение обрабатываемой поверхности.

На рис. 2–4 изображено изменение магнитной индукции B, тока в обмотке возбуждения I, перемещение ротора x в зависимости от времени при различной длительности импульса тока $\tau_{\rm ur}$, рабочего хода $\tau_{\rm px}$ и перемагничивания $\tau_{\rm n}$.

Управление работой электродинамического молота осуществляют следующим образом: в статическом

режиме от блока управления EV подают ток $I_{\rm K}$ в обмотку катушки-статора I и ток $I_{\rm O}$ в обмотку возбуждения 2 ротора 3. Величину токов подбирают достаточной для втягивания ротора 3 в статор и удерживания ротора в верхнем положении — статический режим. При этом направление токов $I_{\rm O}$, $I_{\rm K}$ в обмотках I и 2 должно быть одинаковое. Это приводит к сложению магнитодвижущих сил от двух обмоток в рабочем зазоре.

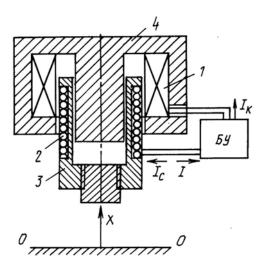


Рис. 1

В режиме рабочего хода в обмотку возбуждения 2 ротора подают импульс тока I, направление которого противоположно току в статическом режиме $I_{\rm o}$ (рис. 2–4).

При длительности импульса тока $\tau_{\rm ит}$ большей, чем время перемагничивания $\tau_{\rm п}$, происходит уменьшение магнитной индукции B в рабочем зазоре (рис. 2). Это приводит к снижению энергии удара.

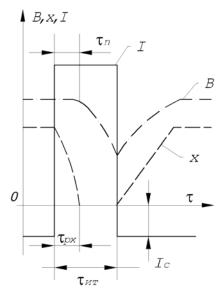


Рис. 2

При длительности импульса тока $\tau_{\text{ит}}$ меньшей, чем длительность рабочего хода $\tau_{\text{рx}}$, происходит снижение энергии удара, так как электромагнитная сила F не действует в течение всего рабочего хода (рис. 3).

При длительности импульса тока $\tau_{\text{ит}}$ большей, чем время рабочего хода $\tau_{\text{рx}}$, и меньшей, чем время перемагничивания $\tau_{\text{п}}$ (рис. 4), энергия удара будет максимальная.

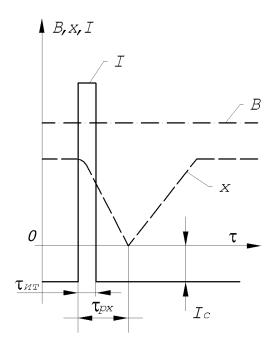


Рис. 3

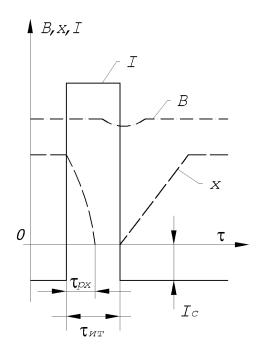


Рис. 4

Способ работы	Длительность импульса токов $\tau_{\rm ur}$, мс	Время рабочего хода т _{рх} , мс	Время перемагничивания $\tau_{\text{п}}$, мс	Энергия удара, Дж	КПД, %
Патент	40	30	120	210	81
2062168					
A. C. 544495	150	30	120	185	75
A C 544495	20	34	120	176	74

Результаты испытаний электродинамических молотов

Был изготовлен электродинамический молот с литым магнитопроводом. В таблице приведены результаты испытаний изготовленного электродинамического молота по вышерассмотренному способу работы [1; 2].

Для сравнения приведены данные испытаний электродинамического молота авторов [3]. Электрическая мощность катушки-статора в обоих случаях одинакова – 190 Вт.

Результаты испытаний показали, что КПД предложенной конструкции выше прототипов на 6–7 %. Опытная эксплуатация в промышленных условиях доказала надежность работы подобной конструкции.

Библиографические ссылки

1. Пат. 2062168 Российская Федерация, МКИ⁶ В 21 J 7/30. Способ управления работой электродинамического молота / Стрюк А. И., Безъязыков С. А., Шестаков И. Я., Шелковский О. Л.. Опубл. 20.06.96, Бюл. № 17.

- 2. Стрюк А. И., Шестаков И. Я. Установка электрообработки с линейным электродинамическим двигателем // Вестник СибГАУ. 2006. Вып. № 3 (10). С. 65–67.
- 3. А. с. 544495. Электромагнитный молот / Е. И. Пучков, В. П. Вяткин, Н. Н. Васильев. Заявл. 17.04.1974 (21) 201 МКИ 6 В 21 J 7/30. 1977.

References

- 1. Struk A. I., Bezyazykov S. A., Shestakov I. Y., Shelkovskiy O. L. *Sposob upravleniy rabotoy elektrodinamicheskogo molota* [Method of operating electrodynamics hammer]. Patent RF, no. 2062168, MKI⁶ B21J7/30, 1996.
- 2. Struk A. I., Shestakov I. Y. [Installing electroprocessing electrodynamic linear motor]. *Vectnik SibGAU*. 2006, vol. 10, no. 3, p. 65–67. (In Russ.)
- 3. Puchkov E. P., Vyatkin V. P., Vasilev N. N. A. s. № 544495, MKI⁶ B 21 J 7/30. *Elektromagnitnyy molot* [Electromagnetic hammer]. 1977.
- © Шестаков И. Я., Фисенко Е. Н., Ремизов И. А., 2014



АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING



УДК 621.391.64

ОЦЕНКА ОГРАНИЧЕНИЙ, НАКЛАДЫВАЕМЫХ СО СТОРОНЫ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА ГОТОВНОСТЬ СПУТНИКОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

А. В. Василенко¹, В. Б. Кашкин²

¹ ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52 E-mail: a.v.vasilenko@mail.ru

²Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

Предложен метод оценки коэффициента готовности спутниковой линии связи оптического диапазона «геостационарный космический аппарат — наземный пункт» на основании метеоданных, содержащих значения облачности и метеорологической дальности видимости, в зависимости от количества наземных пунктов. С использованием данных метеорологических наблюдений за 2000—2012 гг. определена комбинация положений наземных пунктов приема информации, привязанных к положениям существующих метеостанций, обеспечивающая наибольшее значение коэффициента готовности канала связи. Показано, что применение пяти наземных станций обеспечивает ограничение коэффициента готовности канала связи со стороны атмосферных эффектов 0,9. Метод, продемонстрированный в данной работе, может быть применен при проектировании перспективных систем космической связи.

Ключевые слова: спутниковая связь, оптическая связь.

ESTIMATION OF AVAILABILITY DECLINE DUE TO ATMOSPHERIC EFFECT ON SATELLITE-TO-EARTH OPTICAL COMMUNICATION LINK

A. V. Vasilenko¹, V. B. Kashkin²

¹JSC "Information satellite systems" named after academician M. F. Reshetnev" 52, Lenin str., Jeleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation E-mail: a.v.vasilenko@mail.ru

² Siberian Federal University,

79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

The estimation method of availability decline due to atmospheric effect on Satellite-to-Earth optical communication link considering cloudiness, meteorological range of visibility and multiple ground stations effect is proposed. Using meteorological data for 2000–2012 the combination of ground stations related to existing meteorological stations that gives maximum availability is defined. It is shown that availability decline due to atmospheric effects may be reduced to 0.9 using 5 spaced ground stations. The method may be applied while developing the next-generation space communication systems.

Keywords: satellite communication, optical communication.

В условиях возрастающих требований к оперативности и объемам информации, доставляемым с космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли на наземные пункты приема информации (НППИ), перспективным является использование КА-ретрансляторов, расположенных на геостационарной орбите, работающих в оптическом диапазоне длин волн. Использование именно оптического диапазона позволяет решить проблему электромагнитной совместимости космических аппаратов, обеспечивает высокую скрытность передачи информации, а современные технологии позволяют реализовать скорости передачи данных до нескольких Тбит/с при сравнительно низких энергомассовых характеристиках бортовой аппаратуры.

Прохождение трасс через земную атмосферу накладывает ряд ограничений на функционирование линий связи оптического диапазона. Одним из факторов является облачность, естественным образом ограничивающая распространение оптических волн.

В данной работе рассмотрена возможность парирования указанных ограничений путём расположения нескольких НППИ в наиболее выгодных с метеорологической точки зрения местоположениях, облачность в которых наименее взаимокоррелирована. При этом предполагается, что в ходе сеанса работы КА-ретранслятор устанавливает связь только с тем НППИ, для которого на данный момент реализуются наилучшие метеоусловия.

Методика расчетов. Для проведения оценок выбрано 60 географических пунктов, соответствующих расположению существующих метеостанций, наиболее полно удовлетворяющих критериям:

- расположение пункта на территории РФ;
- равномерное разнесение пунктов по долготе;
- максимально высокое расположение пункта над уровнем моря;
- расположение пункта максимально близко к экватору.

На рис. 1 представлены точки положения пунктов на карте.

Южное (с учетом расположения на территории РФ) расположение пунктов позволяет обеспечить наилучшие значения углов места, а возвышение над уровнем моря сокращает путь оптического сигнала в наиболее плотных слоях атмосферы.

Оценки ограничения готовности (ОГ) на линию связи КА–НППИ проведены для вариантов расположения выборки трех-семи НППИ в выбранных географических пунктах.

Для обеспечения рабочих углов места при работе КА со всеми пунктами, входящими в выборку, введено дополнительное ограничение: пункты, входящие в выборку, должны быть разнесены по долготе не более чем на 50°.

В табл. 1 приведён фрагмент вида исходных метеоданных для одного из пунктов (г. Владикавказ) [1], где N – облачность (1 балл соответствует перекрытию 10~% неба облаками); VV – метеорологическая дальность видимости, км; временной интервал между двумя смежными записями – 3~ч.

С учетом ограничений, накладываемых атмосферными явлениями, готовность канала связи может быть рассчитана как [2]

$$P = Pt \cdot D$$
,

где Pt — значение готовности, определяемое техническими и эксплуатационными характеристиками KA и наземной инфраструктуры; D — $O\Gamma$ со стороны метеоусловий.

Таблица 1 Фрагмент исходных метеоданных для г. Владикавказа

Дата, UTC	Время, UTC	N	VV
2011-01-01	00:00	10	1
2011-01-01	03:00	10	1
2011-01-01	06:00	10	4
2011-01-01	09:00	10	1
2011-01-01	12:00	10	1

Для каждого момента времени, соответствующего проведению измерений метеостанций, определено ОГ для выборки наземных пунктов:

$$D_i = \text{Max}(d_1, d_2, ..., d_i),$$

где Мах — оператор выбора максимального значения; $d_1,d_2,...,d_j$ — ОГ для каждой станции, входящей в выборку, определяемое следующим образом:

$$d_{j} = \begin{cases} 100 - 10 \cdot N_{j}, \ \text{VV} > 3, \\ 0, \text{VV} < 3, \end{cases}$$

где N_j — значение облачности в текущий момент времени; VV — значение метеорологической дальности видимости, используемое для учета таких явлений, как туман, смог и т. п. [3; 4].

Результаты и их обсуждение. Результаты оценок для выборок, на которых достигается наилучшее значение $O\Gamma$, приведены в табл. 2.

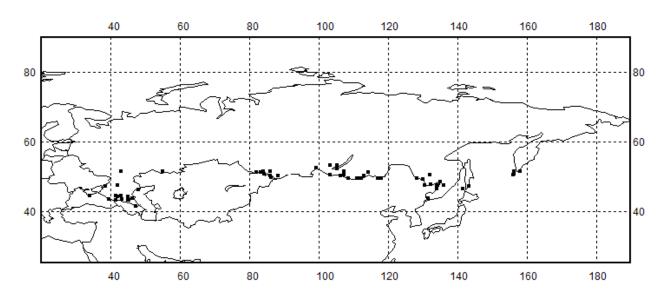


Рис. 1. Расположение выбранных географических пунктов на карте

Результаты расчета ограничения готовности для выборок наземных пунктов

Количество	Ограничение готовности	Состав выборки			
пунктов в выборке		Координаты	Индекс соответствую- щей метеостанции	Населенный пункт	
	0,83	(51°48'N 107°26'E)	30823	Улан-Удэ	
3		(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй	
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск	
	0,87	(50°22'N 106°27'E)	30925	Кяхта	
4		(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй	
4		(49°37'N 128°39'E)	31587	Поярково	
		(48°31'N 135°10'E	31735	Хабаровск	
		(51°48'N 107°26'E)	30823	Улан-Удэ	
		(51°07'N 114°33'E)	30859	Агинское	
5	0,90	(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй	
		(49°37'N 128°39'E)	31587	Поярково	
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск	
		(51°48'N 107°26'E)	30823	Улан-Удэ	
		(51°07'N 114°33'E)	30859	Агинское	
6	0,91	(50°22'N 106°27'E)	30925	Кяхта	
0	0,91	(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй	
		(49°37'N 128°39'E)	31587	Поярково	
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск	
	0,92	(51°48'N 107°26'E)	30823	Улан-Удэ	
		(51°07'N 114°33'E)	30859	Агинское	
		(50°22'N 106°27'E)	30925	Кяхта	
7		(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй	
		(49°37'N 128°39'E)	31587	Поярково	
		(49°25'N 130°05'E)	31594	Apxapa	
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск	

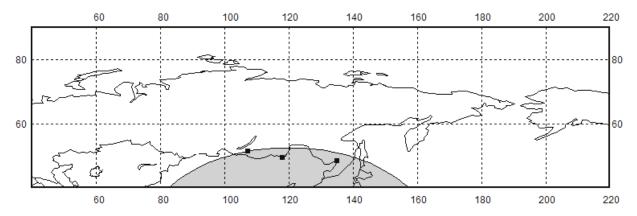


Рис. 2. Расположение выборки № 1 на карте (3 станции, ОГ = 0,83)

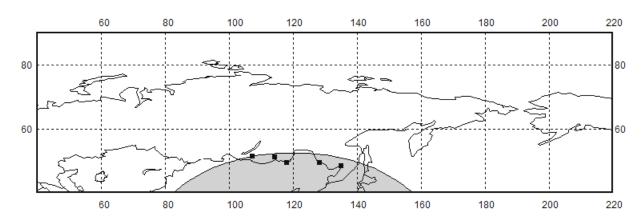


Рис. 3. Расположение выборки № 3 на карте (5 станций, ОГ = 0,90)

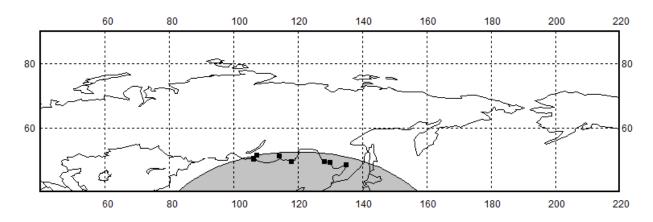


Рис. 4. Расположение выборки № 5 на карте (7 станций, ОГ = 0,92)

Как видно из табл. 2, при применении уже пяти наземных станций достижимо значение ОГ более 90. На рис. 2—4 представлено расположение станций на карте. Серым закрашена область, в которой обеспечиваются значения углов места не менее 30° при точке стояния геостационарного КА 120° в. д.

С учетом метеоусловий, при применении пяти НППИ (из которых с КА сеанс связи осуществляет только одна станция) и технической готовности средств связи 0,95 достижимо значение коэффициента готовности всего тракта КА-НППИ 0,85.

Проведенные оценки показывают, что применение разнесенных географически приемных пунктов позволяет достичь коэффициентов готовности канала связи в рамках требований, предъявляемых к современным космическим системам.

Библиографические ссылки

- 1. Сервер «Погода России» ИКИ РАН [Электронный ресурс]. URL: http://meteo.infospace.ru/.
- 2. ГОСТ Р 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 2009.

- 3. Smith F. The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook. B 8 T. T. 2. Atmospheric propagation of radiation. SPIE press, 1993. 322 p.
- 4. Зуев В. Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. М.: Радио и связь, 1981. 288 с.

References

- 1. Server "Pogoda Rossii" IKI RAN ["Russia's Weather,, Server of SMIS IKI RAN], Available at: http://meteo.infospace.ru/ (accessed 01 March 2014).
- 2. GOST R 27.002–2009. Nadyezhnost v tehnike. Terminy i opredelyeniya [State Standard R 27.002–2009. Reliability in the sphere of inengineering. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2009.
- 3. Smith F. The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, Vol 2. Atmospheric propagation of radiation, SPIE press, 1993. 322 p.
- 4. Zuev V. E. *Rasprostranenie lazernogo izlicheniya v atmosfere* [Laser radiation propagation through atmosphere]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1981, 288 p.

© Василенко А. В., Кашкин В. Б., 2014

УДК 629.76/78.001.63

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ И ФОРМЫ КРУПНОГАБАРИТНОГО РЕФЛЕКТОРА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Н. Н. Голдобин

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва» Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52 E-mail: dirtykola@rambler.ru

Рассматриваются некоторые разработанные математические методы, которые позволяют производить оценку точности положения и точности формы отражающей поверхности крупногабаритного рефлектора

космического аппарата. С целью решения данных задач были разработаны следующие методы: метод, основанный на использовании кинематической схемы «штанга—рефлектор»; метод выбора количества и расположения контрольных точек отражающей поверхности; метод определения среднеквадратического отклонения отражающей поверхности от номинала; метод «вписывания» параболоида наилучшего соответствия в отражающую поверхность.

Ключевые слова: космический аппарат, отражающая поверхность, рефлектор, параболоид, метод Левенберга—Марквардта, метод Ньютона.

MATHEMATICAL METHODS USED TO ASSESS THE POSITION AND FORM ACCURACY OF A LARGE-SIZED SPACECRAFT REFLECTOR

N. N. Goldobin

JSC "Information satellite systems" named after academician M. F. Reshetnev" 52, Lenin str., Jeleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation E-mail: dirtykola@rambler.ru

The article considers some mathematical methods used to assess the position accuracy as well as the form accuracy of a reflecting surface of a large-sized spacecraft reflector. The basic points and examples of each method are given. The following mathematical methods: using a kinematic scheme boom-reflector; the method for selecting the control points of the reflecting surface; the method of determining the RMS of reflecting surface; the method of determining the best fit paraboloid are developed by the author of the article.

Keywords: spacecraft, reflecting surface, reflector, paraboloid, Levenberg-Marquardt method, Newton method.

Важнейшую роль в создании зеркальных антенн космических аппаратов играют крупногабаритные трансформируемые рефлекторы, реализующие отражающую поверхность, или, иными словами, зеркало, посредством которого происходит передача электромагнитной волны. Основная цель рефлекторов антенн сводится к преобразованию сферического фронта волны в плоский (справедливо и обратное утверждение).

Требуемая форма отражающей поверхности сетчатого рефлектора задается путем натяжения шнуров формообразующей структуры и определяется массивом из N точек фронтальной сети.

С увеличением размеров трансформируемых рефлекторов возрастает влияние различных факторов на геометрическую точность рефлектора в орбитальных условиях, что приводит к снижению радиотехнических характеристик [1; 2].

Допустимые потери радиотехнических характеристик определяются допустимыми диапазонами значений контролируемых геометрических параметров рефлектора. Под контролируемыми геометрическими параметрами рефлектора в орбитальных условиях обычно понимают:

- положение фокальной точки внутри сферы с допустимым радиусом и центром в фокусе теоретического (номинального) положения рефлектора;
- угол между реальной фокальной осью и фокальной осью теоретического положения рефлектора;
- среднеквадратическое отклонение (СКО) измеренных точек отражающей поверхности относительно теоретического положения рефлектора.

Как правило, оценка геометрической точности рефлектора сводится к определению следующих параметров:

- -точность положения (точность установки) рефлектора;
 - точность формы поверхности рефлектора.

Точность установки рефлектора определяется двумя составляющими в соответствии со схемой, изображенной на рис. 1:

- допустимым смещением фокальной точки рефлектора относительно ее номинального положения;
- допустимым угловым отклонением фокальной оси рефлектора относительно ее номинального положения.

Точность формы поверхности определяется как среднеквадратическое отклонение точек отражающей поверхности рефлектора от параболоида наилучшего соответствия (ПНС) с фиксированным значением фокусного расстояния (рис. 1) [3].

В современной отечественной практике космического антенностроения нет единых инженерных подходов к проектированию крупногабаритных рефлекторов, совмещающих в себе простоту математического аппарата и универсальность применяемых алгоритмов для определения основных геометрических параметров. С целью создания методологии определения геометрической точности отражающей поверхности крупногабаритного рефлектора космического аппарата автором был разработан ряд математических методов.

Классификация разработанных автором статьи математических методов представлена на рис. 2. Далее рассмотрим подробно каждый метод.



Рис. 1. Геометрическая точность рефлектора

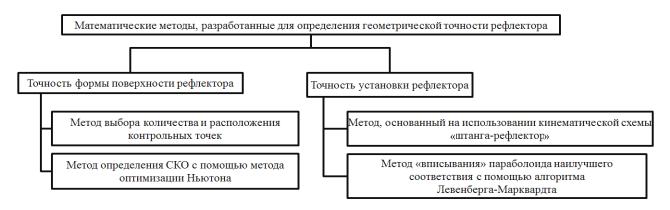


Рис. 2. Методы определения геометрической точности отражающей поверхности рефлектора

Метод, основанный на использовании кинематической схемы «штанга—рефлектор». Данный метод связывает величины отклонений звеньев штанги с отклонениями фокальной точки и фокальной оси рефлектора, не учитывая деформацию отражающей поверхности (т. е. рефлектор абсолютно жесткий). Использование данного метода позволяет определить линейные и угловые отклонения, используя классические формулы аналитической геометрии. Предельные отклонения фокальной точки вычисляются по формуле (1), предельные угловые отклонения фокальной оси рефлектора — по формуле (2):

$$\Delta_F = \sqrt{(x_F^k - x_F^0)^2 + (y_F^k - y_F^0)^2 + (z_F^k - z_F^0)^2}$$
 (1)

$$\varphi = a \cos \left(\frac{x_F^k - x_0^k}{\sqrt{(x_F^k - x_U^k)^2 + (y_F^k - y_U^k)^2 + (z_F^k - z_U^k)^2}} \right), \quad (2)$$

где x_F^0, y_F^0, z_F^0 — начальное положение фокальной точки; x_F^k, y_F^k, z_F^k — конечное положение фокальной точки; x_V^k, y_V^k, z_V^k — координаты конечного положения вершины параболоида.

Рассмотрим использование данного метода на примере кинематической схемы (рис. 3), в которую входят: однозвенная штанга; рефлектор; механический блок управления положением рефлектора БМ1, расположенный в корне штанги; механический блок

управления положением рефлектора БМ2, расположенный на конце штанги.

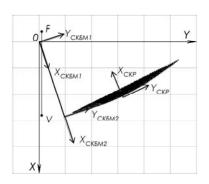


Рис. 3. Пример метода, основанного на использовании кинематической схемы «штанга-рефлектор»

Как видно из рис. 3, системы координат (СК) механических приводов СК БМ1 и СК БМ2 ориентированы следующим образом: ось $X_{\text{СКБМ1(2)}}$ – вдоль звена штанги; ось $Y_{\text{СКБМ1(2)}}$ – перпендикулярна оси $X_{\text{СКБМ1(2)}}$, лежит в плоскости 0ХҮ глобальной системы координат и направлена в сторону рефлектора; ось $Z_{\text{СКБМ1(2)}}$ – достраивает систему координат механического привода до правой декартовой. Ориентация осей $X_{\text{СКР}}$ и $Y_{\text{СКР}}$ системы координат рефлектора также показана на рис. 3 (ось $Z_{\text{СКР}}$ достраивает систему координат до правой декартовой).

Для реализации метода необходимо ввести функцию, которая бы описывала положение рефлектора в зависимости от линейного и углового отклонения любого механического привода в кинематической схеме. Так как в общем случае оба привода имеют по шесть степеней свободы, то искомая функция будет зависеть от двенадцати переменных. Вывод функции проводится в следующей последовательности:

- 1. Введем константы и переменные, описывающие искомую функцию:
- $-DX_{1}^{0}$, DY_{1}^{0} , DZ_{1}^{0} начальные значения смещения начала координат СК БМ1 относительно СК КА;
- $-RX_{1}^{0}$, RY_{1}^{0} , RZ_{1}^{0} начальные значения углов поворота СК БМ1 относительно СК КА;
- $-DX_{2}^{0}$, DY_{2}^{0} , DZ_{2}^{0} начальные значения смещения начала координат СК БМ2 относительно СК БМ1;
- $-RX_{2}^{0}$, RY_{2}^{0} , RZ_{2}^{0} начальные значения углов поворота СК БМ2 относительно СК БМ1;
- DX₁, DY₁, DZ₁ линейные смещения начала координат СК БМ1 относительно СК КА;
- $-RX_1$, RY_1 , RZ_1 угловые отклонения СК БМ1 относительно СК КА;
- DX₂, DY₂, DZ₂ линейные смещения начала координат СК БМ2 относительно СК БМ1;
- $-RX_2$, RY_2 , RZ_2 угловые отклонения СК БМ2 относительно СК БМ1.
- 2. Опишем пространственное положение тела, заданного массивом точек $\left\{\left(X_{i},Y_{i},Z_{i}\right)\right\}_{i=1}^{N}$, относительно СК БМ1:

$$CS_{1}(X,Y,Z,DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},RZ_{1}) =$$

$$= R_{1}(RX_{1} + RX_{1}^{0},RY_{1} + RY_{1}^{0},RZ_{1} + RZ_{1}^{0}) \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + (3)$$

$$+D_{1}(DX_{1} + DX_{1}^{0},DY_{1} + DY_{1}^{0},DZ_{1} + DZ_{1}^{0}).$$

3. Положение начала координат СК БМ1:

$$CS_1^{\ 0}(DX_1, DY_1, DZ_1, RX_1, RY_1, RZ_1) = = CS_1(0, 0, 0, DX_1, DY_1, DZ_1, RX_1, RY_1, RZ_1).$$
(4)

4. Опишем пространственное положение тела, заданного массивом точек $\left\{\left(X_{i},Y_{i},Z_{i}\right)\right\}_{i=1}^{N}$ относительно СК БМ2:

$$CS_{2}(X,Y,Z,DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},RZ_{1},DX_{2},DY_{2},DZ_{2},RX_{2},RY_{2},RZ_{2}) =$$

$$= R_{2}(RX_{2} + RX_{2}^{0},RY_{2} + RY_{2}^{0},RZ_{2} + RZ_{2}^{0}) \times \times R_{1}(RX_{1} + RX_{1}^{0},RY_{1} + RY_{1}^{0},RZ_{1} + RZ_{1}^{0}) \times \times \left(\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + D_{2}(DX_{2} + DX_{2}^{0},DY_{2} + DY_{2}^{0},DZ_{2} + DZ_{2}^{0}) + D_{1}(DX_{1} + DX_{1}^{0},DY_{1} + DY_{1}^{0},DZ_{1} + DZ_{1}^{0}).$$
(5)

5. Положение начала координат СК БМ2:

$$CS_{2}^{0}(DX_{1}, DY_{1}, DZ_{1}, RX_{1}, RY_{1}, RZ_{1}, DX_{2}, DY_{2}, DZ_{2}, RX_{2}, RY_{2}, RZ_{2}) = = CS_{2}(0, 0, 0, DX_{1}, DY_{1}, DZ_{1}, RX_{1}, RY_{1}, RZ_{1}, DX_{2}, DY_{2}, DZ_{2}, RX_{2}, RY_{2}, RZ_{2}).$$
(6)

6. Зададим искомую функцию (привязка рефлектора к положениям СК БМ1 и СК БМ2):

$$\begin{split} &CS_{R}(X,Y,Z,DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},\\ &RZ_{1},DX_{2},DY_{2},DZ_{2},RX_{2},RY_{2},RZ_{2}) =\\ &=CS_{2}^{0}(DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},RZ_{1},\\ &DX_{2},DY_{2},DZ_{2},RX_{2},RY_{2},RZ_{2}) +\\ &+R_{2}(RX_{2},RY_{2},RZ_{2}) \times\\ &\times CS_{R}'(X,Y,Z,DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},\\ &RZ_{1},DX_{2},DY_{2},DZ_{2},RX_{2},RY_{2},RZ_{2}), \end{split} \tag{7}$$

где

$$CS'_{R}(X,Y,Z,DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},RZ_{1},DX_{2},DY_{2},DZ_{2},RX_{2},RY_{2},RZ_{2}) =$$

$$= R_{1}(RX_{1},RY_{1},RZ_{1}) \times \left(\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - CS_{1}^{0}(DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},RZ_{1}) + (8) + CS_{1}^{0}(DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},RZ_{1}) - - CS_{2}^{0}(DX_{1},DY_{1},DZ_{1},RX_{1},RY_{1},RZ_{1},DX_{2},DY_{2},DZ_{2},RX_{2},RY_{2},RZ_{2}).$$

Таким образом, из формулы (7) функция $CS_R(X,Y,Z,DX_1,DY_1,DZ_1,RX_1,RY_1,RZ_1,DX_2,DY_2,DZ_2,RX_2,RY_2,RZ_2)$ при подстановке в неё требуемых номинальных координат (например, положение фокальной точки, вершины параболоида или массива точек, описывающих отражающую поверхность рефлектора) и величин линейных и угловых отклонений механических блоков управления позволяет получить требуемые координаты с учетом движения данных приводов.

Метод «вписывания» параболоида наилучшего соответствия с помощью алгоритма Левенберга—Марквардта. Алгоритм Левенберга—Марквардта предназначен для оптимизации параметров нелинейных регрессионных моделей и заключается в последовательном приближении заданных начальных значений к искомому локальному оптимуму [4]. Решение проводится по следующим этапам:

- 1. Задание функции оптимизации, описывающей положение параболоида вращения в пространстве.
- 2. Задание критерия оптимизации используется среднеквадратическая ошибка модели на заданной выборке.
- 3. Выполнение расчета по алгоритму, описанному в [5].

Применение алгоритма Левенберга—Марквардта позволяет «вписать» параболоид наилучшего соответствия в деформированную отражающую поверхность рефлектора с заданной точностью. В результате «вписывания» параболоида наилучшего соответствия получаем его ориентацию в пространстве (линейные и угловые отклонения) относительно канонической системы координат, что дает возможность в дальнейшем определить СКО смещенных точек отражающей поверхности от ПНС или от теоретического профиля [5].

Метод выбора контрольных точек (КТ) при радиально-кольцевом расположении. Для описания положения идеального параболоида необходимо и достаточно иметь координаты шести КТ (в соответствии с общим уравнением поверхности второго порядка). Поскольку отражающую поверхность рефлектора лишь условно можно назвать параболической, то нельзя говорить об избыточном количестве точек, по которым определяется «наилучшее» СКО. Однако количество и место положения КТ можно оптимизировать с целью ускорения машинного времени расчета контролируемых геометрических параметров рефлектора.

Существует ряд критериев выбора количества и расположения контрольных точек, описывающих отражающую поверхность рефлектора, к которым относят: диаметр апертуры рефлектора; компоновочную схему рефлектора; конструктивно-силовую схему рефлектора и др. В зависимости от используемых критериев количество КТ может достигать нескольких сотен и даже тысяч.

Для поиска оптимального количества и расположения контрольных точек могут быть использованы эвристические подходы [6], однако такие методы оказались неэффективными. Это привело к созданию нового подхода, основанного на радиально-кольцевом расположении КТ в системе координат теоретического параболоида (СК ТП).

Основным допущением, принятым для радиальнокольцевого расположения КТ в СК ТП, является следующее. В соответствии с рис. 4 промежуточные точки отражающей поверхности, расположенные между двумя соседними в радиальных направлениях узловыми точками, лежат на прямой линии, образованной этими узловыми точками. Пример использования данного метода приведен на рис. 5. Получение промежуточных точек проводится в несколько этапов:

- 1. Получение массива точек $surf_s = (X_s, Y_s, Z_s)$, принадлежащих параболоиду вращения с требуемым фокусным расстоянием, используя алгоритм на основе блок-схемы, представленной на рис. 6. При этом значение параметра n_{kp} количество промежуточных точек выбирается равным нулю.
- 2. Получение другого массива точек $node_n = (X_n, Y_n, Z_n)$, принадлежащих параболоиду вращения с требуемым фокусным расстоянием, аналогично пункту 1, но значение параметра n_{kp} отличное от нуля.
- 3. Нахождение промежуточных точек из условия равенства координат $X_n = X_s$ и $Y_n = Y_s$ Z_n соседних в радиальных направлениях узловых точек в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 7.
- 4. Замена координат Z_s , принадлежащих параболоиду, координатами Z_{count} , при которых промежуточные точки примут положение согласно принятому допущению.

Данный метод позволяет определить погрешность измерения СКО отражающей поверхности, измеренной по КТ, от СКО реальной отражающей поверхности рефлектора; подобрать оптимальное количество КТ, необходимых для расчета СКО. Автором статьи также ведутся работы по автоматизации оптимизации определения необходимого минимума количества КТ для расчета СКО отражающей поверхности рефлектора.

Метод определения среднеквадратического отклонения с помощью метода Ньютона. Использование метода Ньютона позволяет определить среднеквадратическое отклонение точек отражающей поверхности рефлектора от параболоида наилучшего соответствия, а также от теоретического параболоида (ТП) [5].

Решение данной задачи состоит из следующих этапов:

- 1. Задание функции оптимизации, определяющей наикратчайшее расстояние от точки до поверхности параболоида;
- 2. Определение расстояний от точек, описывающих отражающую поверхность рефлектора, до ТП;
- 3. Определение СКО поверхности рефлектора относительно ТП.

Разработанные автором статьи математические методы позволяют:

- проводить полную оценку точности положения и точности формы отражающей поверхности рефлектора;
- определять основные геометрические параметры рефлектора, такие как положение фокальной точки и фокальной оси, а также среднеквадратическое отклонение отражающей поверхности рефлектора от теоретического профиля.

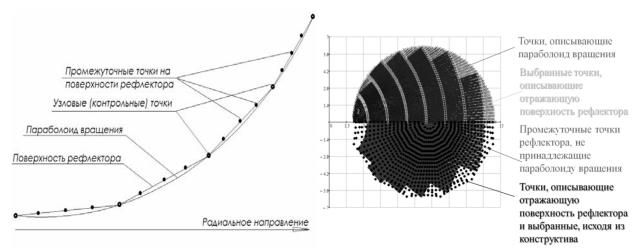


Рис. 4. Схема соответствия поверхности рефлектора теоретическому профилю

Рис. 5. Пример применения метода выбора количества и расположения контрольных точек

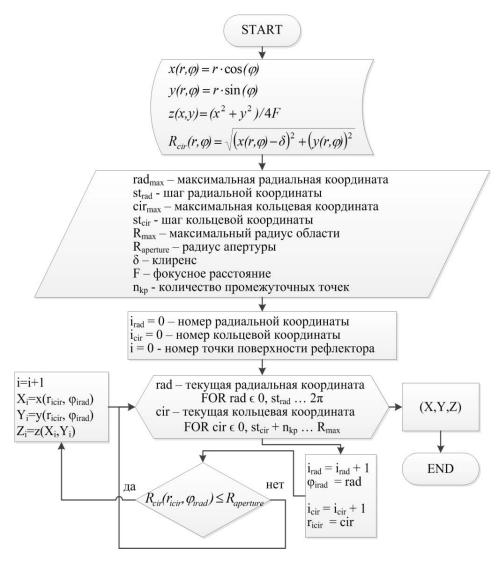


Рис. 6. Блок-схема алгоритма получения точек, лежащих на параболоиде, при радиально-кольцевом положении

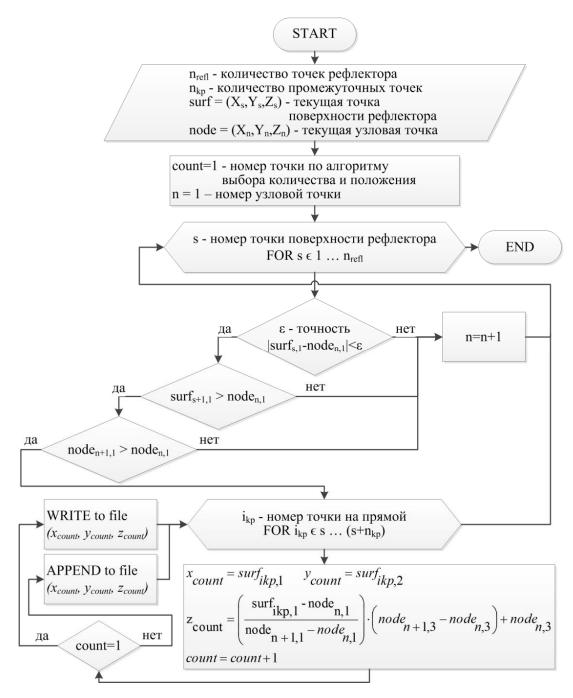


Рис. 7. Блок-схема алгоритма получения точек, лежащих на поверхности рефлектора, при радиально-кольцевом положении

Предложенная концепция выбора количества и расположения контрольных точек отражающей поверхности рефлектора позволит облегчить процесс обработки данных, не внося существенной погрешности в определение контролируемых геометрических параметров.

Разработанная методика оценки геометрической точности отражающей поверхности крупногабаритного рефлектора космического аппарата применяется в процессе создания новых рефлекторов, при обработке результатов испытаний, а также используется

для создания методики управления формой отражающей поверхности рефлектора.

Ведутся постоянные работы по улучшению качества и удобства применения разрабатываемых методик.

Библиографические ссылки

1. Tibert G. Deployable tensegrity structures for space applications. Doctoral thesis [Электронный ресурс]. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2002. URL: http://www.mech.kth.se/thesis/2002/phd/phd_2002_gunnar_tibert.pdf.

- 2. Harada S., Meguro A., Watanabe M. A High Precision Surface Shape Design for Large Deployable Mesh Antenna [Электронный ресурс] // meeting paper AIAA 2003 of 44th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. Norfolk, VA, 2003–1497. Access via AIAA Electronic Library. URL: http://www.aiaa.org.
- 3. Голдобин Н. Н. Обоснование методики оценки формы радиоотражающей поверхности крупногабаритных трансформируемых рефлекторов космических аппаратов с применением алгоритма Левенберга—Марквардта // Инновационные технологии и технические средства специального назначения: Тр. V Общерос. науч.-практ. конф. СПб., 2012. С. 93–98.
- 4. Marquardt D. An algorithm for Least-Squares Estimation of the Nonlinear Parameters // SIAM Journal on Applied Mathematics. 1963. 11 (2). C. 431–441.
- 5. Голдобин Н. Н. Методика оценки формы радиоотражающей поверхности крупногабаритного трансформируемого рефлектора космического аппарата // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 1(47). С. 106–111.
- 6. Голдобин Н. Н., Шендалев Д. О. Математические методы, используемые для оценки точности положения и формы крупногабаритного рефлектора космического аппарата // Решетневские чтения: материалы XVII Междунар. науч. конф. (12–14 нояб. 2013, г. Красноярск). Красноярск, 2013. С. 65–66.

References

1. Tibert G. Deployable tensegrity structures for space applications. Doctoral thesis. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2002. Available at: http://www.mech.

- kth.se/thesis/2002/phd/phd_2002_gunnar_tibert.pdf. (accessed 05.02.2014)
- 2. Harada S., Meguro A., Watanabe M. A High Precision Surface Shape Design for Large Deployable Mesh Antenna: meeting paper AIAA 2003-1497 of 44th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. Norfolk, VA, 2003. Access via AIAA Electronic Library. Available at: http://www.aiaa.org. (accessed 03.03.2014)
- 3. Goldobin N. N. [Objectives of the assessment methodology forms of the radar-reflection surface of lthe arge transformable spacecraft using the Levenberg-V obsherossiyskoy Marguardt1. Trudi navchnoprakticheskoy konferentsii "Innovatsionnye tekhnologii I tekhnicheskie sredstva spetsialnogo naznacheniya" [Proc. V obscheros. scientific-practical. conf. "Innovative technologies and facilities for special purposes"]. St. Petersburg, 2012, p. 93–98. (In Russ.)
- 4. Marquardt D. An algorithm for Least-Squares Estimation of the Nonlinear Parameters. *SIAM Journal on Applied Mathematics*. Vol. 11 (2), 1963, p. 431–441.
- 5. Goldobin N. N. [The estimation of the form of a large-sized transformed radar-reflection for a spacecraft]. *Vestnik SibGAU*, 2013, vol. 47, no. 1, p. 106–111. (In Russ.)
- 6. Goldobin N. N., Shendalv D. O. [Mathematical methods used to assess the position and form accuracy of a large-sized spacecraft reflector]. *Materiali XVII Mezhdynarodnoy naychnoy conferentsii "Reshetnevskie chteniya"* [Proceedings of the XVII Intern. scientific. conf. "Reshetnev reading"]. Krasnoyarsk, 2013, p. 65–66. (In Russ.)

© Голдобин Н. Н., 2014

УДК 629.76/78.001.63

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРИФЕРИЙНОГО ШНУРА ФРОНТАЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ ТРАНСФОРМИРУЕМОГО СЕТЧАТОГО РЕФЛЕКТОРА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Н. Н. Голдобин, Н. А. Тестоедов

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва» Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52 E-mail: goldobin@iss-reshetnev.ru, testoedov@iss-reshetnev.ru

Периферийные шнуры входят в состав фронтальной и тыльной сетей формообразующей структуры трансформируемого сетчатого рефлектора. Периферийный шнур выполняет функцию растяжения формообразующей структуры в процессе раскрытия рефлектора, а также обеспечивает равномерное распределение усилий натяжения во внутренних шнурах фронтальной и тыльной сетей. Вследствие сложности конструктивно-силовой схемы рассматриваемого космического рефлектора выбор геометрической формы и усилия натяжения в периферийном шнуре является нетривиальной задачей. Для решения этой задачи был разработан алгоритм построения периферийного шнура.

Ключевые слова: космический annapam, отражающая поверхность, рефлектор, периферийный шнур, формообразующая структура.

A CONSTRUCTION ALGORITHM OF THE PERIPHERAL CORD OF THE FRONTAL NETWORK FOR THE SPACE REFLECTOR WITH THE CABLE-MESH DEPLOYABLE STRUCTURE

N. N. Goldobin, N. A. Testoedov

JSC "Information satellite systems" named after academician M. F. Reshetnev" 52, Lenin str., Jeleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation E-mail: goldobin@iss-reshetnev.ru, testoedov@iss-reshetnev.ru

Peripheral cords are included in the front and back structures of the networks of the space reflector with the cablemesh deployable structure. Functions of peripheral cord is tensile of cords of network structure during the reflector deployment, and providing the uniform tension distribution of the cords in the inside front and back structure. Because of the complexity of the construction scheme of the considered space reflector, the choice of geometric shapes and the tensile force in the peripheral cord is not trivial. To solve this problem, the authors have developed an algorithm for constructing a peripheral cord.

Keywords: spacecraft, reflecting surface, reflector, peripheral cord, network structure.

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» активно занимается созданием крупногабаритных трансформируемых рефлекторов, используемых в качестве целевой аппаратуры на телекоммуникационных космических аппаратах. В настоящее время ведется разработка трансформируемого сетчатого рефлектора с апертурой диаметром до 40 м. В состав такого рефлектора входят следующие основные конструктивные элементы (рис. 1):

- силовой каркас, состоящий из основания, спиц и силовых шнуров;
- формообразующая структура (ФОС), обеспечивающая придание и поддержание заданной формы отражающей поверхности;
- отражающая поверхность (на рис. 1 не показана), представляющая собой растянутое сетеполотно и выполняющее функцию передачи электромагнитной волны между источником (приемником) сигнала и облучателем антенной системы.

Ранее, одним из авторов статьи [1] был проведен анализ вариантов исполнения ФОС трансформируемого сетчатого рефлектора. Выбранная по результатам данного анализа ФОС имеет в своем составе следующие конструктивные элементы:

- фронтальная сеть (ФС) система натянутых шнуров, в которую входят радиальные и внутренние шнуры, а также периферийный шнур и его оттяжки (рис. 2); формирует разбиение отражающей поверхности на фацеты, обеспечивая требуемую форму рабочей поверхности рефлектора;
- тыльная сеть (TC) система натянутых шнуров для поддержания фронтальной сети в заданном положении; имеет структуру, аналогичную фронтальной сети, симметрично отраженную относительно срединной плоскости основания рефлектора;
- вантовая система конструктивный элемент формообразующей структуры, соединяющий каждый узел фронтальной сети с соответствующим узлом тыльной сети.

Натяжение внутренних шнуров ФС обеспечивается растяжением периферийного шнура (ПШ). ПШ должен иметь геометрическую форму и усилие натяжения, обеспечивающее равномерное натяжение всех внутренних шнуров ФС. Максимальная величина прогиба ПШ, с одной стороны, зависит от положения концов звеньев А (для ФС) или звеньев Б (для ТС) соседних спиц, с другой стороны, от границ апертуры рефлектора (рис. 2).

На этапе проектирования сетчатых рефлекторов с целью оценки усилий, возникающих в напряженной конструкции, ранее применялись методы построения периферийного шнура, которые вносили погрешность в определение равновесного напряженного состояния конечно-элементной модели ФОС. Использование приближенных методов при создании конечноэлементной модели рассматриваемого рефлектора обусловлено тем, что узлы фронтальной сети должны находиться на поверхности офсетной цилиндрической вырезки из параболоида вращения. Однако применение ряда допущений, упрощающих процесс расчета геометрической формы и усилий в ПШ, привели к появлению отрицательных значений усилий в некоторых зонах ФС. Это подтолкнуло авторов статьи к разработке наиболее подробного алгоритма построения периферийного шнура, учитывающего пространственное расположение натянутых шнуров.

Фронтальная (тыльная) сеть имеет n секторов (где n=8 — количество спиц рефлектора) и образована фацетами треугольной формы, как показано на рис. 2. Треугольная форма фацет выбрана на основании анализа результатов расчета среднеквадратического отклонения формы отражающей поверхности рефлектора [1]. Количество фацет, расположенных вдоль радиального направления, m штук (в рассматриваемом рефлекторе m=8).

Построение оттяжек периферийного шнура. Оттяжки периферийного шнура обеспечивают связь между внутренними шнурами ФС (ТС) и периферийным шнуром. Направление оттяжек периферийного шнура

и величина натяжения в них определяется из условия обеспечения равенства натяжений во внутренних шнурах ФС (ТС). Дальнейшее описание построений ведется для фронтальной сети. Тыльная сеть строится аналогично.

В каждый узел ФС, расположенный на последнем поясе внутренних шнуров, входит по четыре шнура (рис. 3), образуя пространственную систему сходя-

щихся сил. Уравновешивающая реакция \vec{R} со стороны оттяжки ПШ равна по модулю и обратна по направлению равнодействующей. Определим равнодействующую данной системы сил [2]. Ниже приведено более подробное описание построения на примере одной оттяжки ПШ.

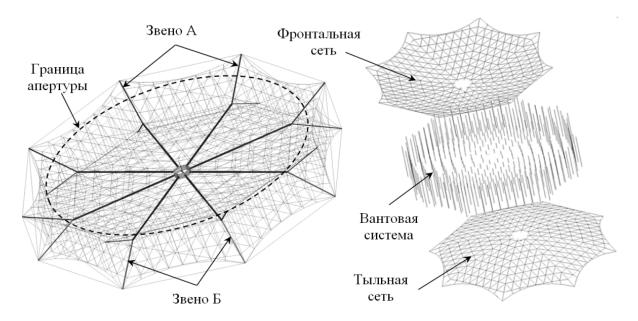


Рис. 1. Состав конструкции трансформируемого сетчатого рефлектора

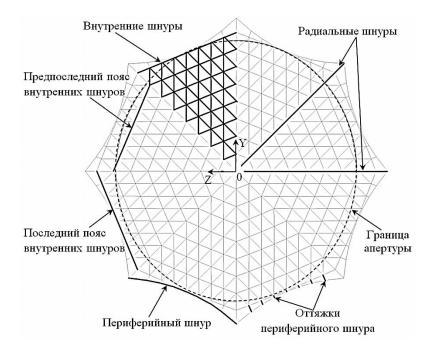


Рис. 2. Схема фронтальной (тыльной) сети

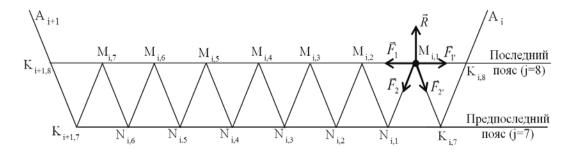


Рис. 3. Схема построения оттяжки периферийного шнура:

i – номер сектора (спицы); j = 1, ..., m, где m = 8 – количество фацет вдоль радиального направления; A_i – точки крепления ΦC к силовому каркасу; $K_{i,j}$ – узлы радиальных шнуров; $M_{i,(1...m-1)}$ – узлы последнего пояса внутренних шнуров; $N_{i,(1...m-2)}$ – узлы предпоследнего пояса внутренних шнуров;

 $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_{1'}, \vec{F}_{2'}$ – векторы натяжений внутренних шнуров; \vec{R} – вектор натяжения оттяжки ПШ

Шнур в натянутом состоянии представляет собой отрезок прямой. Как известно, уравнение прямой в пространстве, проходящей, к примеру, через две данные точки $M_1(x_1; y_1; z_1)$ и $M_2(x_2; y_2; z_2)$, имеет вид

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1}=\frac{y-y_1}{y_2-y_1}=\frac{z-z_1}{z_2-z_1},$$
 или в каноническом виде

$$\frac{x-x_1}{l} = \frac{y-y_1}{m} = \frac{z-z_1}{n}$$
, где $\vec{V} = \begin{vmatrix} l_{\vec{V}} \\ m_{\vec{V}} \\ l_{\vec{V}} \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} x_2-x_1 \\ y_2-y_1 \\ z_2-z_1 \end{bmatrix}$ —

направляющий вектор.

Все вычисления ведутся в системе координат рефлектора, где начало координат находится в центре рефлектора, оси Y и Z лежат в срединной плоскости рефлектора и направлены, как показано на рис. 2, ось Х – достраивает систему координат до правой.

Определим орт направляющего вектора по формуле

$$\vec{e}_V = \begin{bmatrix} l_{\vec{e}V} \\ m_{\vec{e}V} \\ n_{\vec{e}V} \end{bmatrix} = \frac{\vec{V}}{|\vec{V}|} .$$

Затем определим углы между ортом и осями Х, У и Z соответственно:

$$\alpha = \arccos(l_{\vec{e}V})$$
, $\beta = \arccos(m_{\vec{e}V})$, $\gamma = \arccos(n_{\vec{e}V})$.

Зная величину усилия $|\vec{F}_t|$ в шнуре и его направление в пространстве, найдем модуль проекций вектора на оси X, Y и Z соответственно:

$$l_{\vec{F}_t} = \left| \vec{F}_t \right| \cdot \cos(\alpha) , m_{\vec{F}_t} = \left| \vec{F}_t \right| \cdot \cos(\beta) , m_{\vec{F}_t} = \left| \vec{F}_t \right| \cdot \cos(\gamma) .$$

Определим координаты вектора \vec{R} на оси X, Y и Z, суммируя проекции всех сил на каждую из осей:

$$\vec{R} = \begin{bmatrix} l_{\vec{R}} \\ m_{\vec{R}} \\ n_{\vec{R}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{\vec{F}1} + l_{\vec{F}2} + l_{\vec{F}1'} + l_{\vec{F}2'} \\ m_{\vec{F}1} + m_{\vec{F}2} + m_{\vec{F}1'} + m_{\vec{F}2'} \\ n_{\vec{F}1} + n_{\vec{F}2} + n_{\vec{F}1'} + n_{\vec{F}2'} \end{bmatrix}, \quad \vec{e}_R = \begin{bmatrix} l_{\vec{e}R} \\ m_{\vec{e}R} \\ n_{\vec{e}R} \end{bmatrix} = \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|}. \quad (1)$$

Модуль вектора \vec{R} есть величина усилия натяжения в оттяжке периферийного шнура; оттяжка лежит на прямой, параллельной орту \vec{e}_R .

Построение периферийного шнура. Ниже пошагово описан алгоритм построения периферийного шнура, блок-схема которого представлена на рис. 4.

Отражающая поверхность и конструкция рефлектора обладают свойством симметрии относительно плоскости ОХУ. Рассматриваемый рефлектор имеет 8 спиц, расположенных симметрично относительно плоскости ОХҮ, поэтому достаточно построить половину периферийного шнура, расположенную по одну сторону от плоскости симметрии.

Шаг 1. В соответствии с блок-схемой, показанной на рис. 4, построение периферийного шнура ведется последовательно от сектора к сектору. Внутри каждого сектора построение ПШ начинается от точки крепления ПШ к спице силового каркаса $A(x_A; y_A; z_A)_i$.

Конечная форма и распределение усилий в участках ПШ зависят от двух параметров, задаваемых в начале работы алгоритма:

- $-(t_0)_i$ длина первой оттяжки ПШ в секторе i;
- $T_{i,1}$ величина натяжения первой в секторе iоттяжки ПШ.

Шаг 2, 3. Дальнейшее выполнение алгоритма заключается в работе цикла построения ПШ по секторам (шаг 2) и вложенного в него цикла построения ПШ по участкам внутри секторов (шаг 3). Построение ПШ разбивается на несколько шагов в зависимости от количества секторов (спиц) и количества фацет, расположенных вдоль радиальных шнуров. На каждом шаге выбираются три точки (рис. 5):

$$\vec{R} = \begin{bmatrix} l_{\vec{R}} \\ m_{\vec{R}} \\ n_{\vec{D}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{\vec{F}1} + l_{\vec{F}2} + l_{\vec{F}1'} + l_{\vec{F}2'} \\ m_{\vec{F}1} + m_{\vec{F}2} + m_{\vec{F}1'} + m_{\vec{F}2'} \\ n_{\vec{C}1} + n_{\vec{C}2} + n_{\vec{C}1'} + n_{\vec{C}2'} \end{bmatrix}, \quad \vec{e}_{R} = \begin{bmatrix} l_{\vec{e}R} \\ m_{\vec{e}R} \\ n_{\vec{D}R} \end{bmatrix} = \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|}. \quad (1) \qquad (P_{1})_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{1} \\ y_{1} \\ z_{1} \end{bmatrix}_{i,j}, \quad (P_{2})_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{2} \\ y_{2} \\ z_{2} \end{bmatrix}_{i,j}, \quad (P_{3})_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{3} \\ y_{3} \\ z_{3} \end{bmatrix}_{i,j}. \quad (2)$$

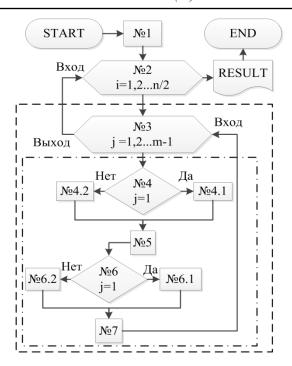


Рис. 4. Блок-схема алгоритма построения периферийного шнура: і – номер сектора (или спицы); ј – номер участка ПШ; n – количество секторов (спиц); m – количество фацет вдоль радиального направления

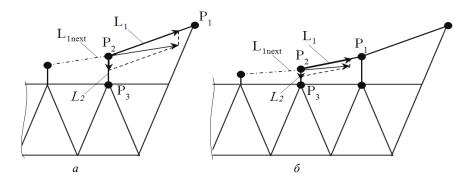


Рис. 5. Схема построения участка периферийного шнура в первом секторе

Шаг 4. Шаг 4.1. выполняется в случае построения первого участка ПШ (j = 1) в рассматриваемом секторе, как показано на рис. 5, а:

$$(P_1)_{i,1} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{i,1} = \begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ z_f \end{bmatrix}_i, \quad (P_3)_{i,1} = \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}_{i,1} = \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{bmatrix}_i,$$
 где $s_0 = \frac{l_{\vec{e}LR1} \cdot (y_3 - y_1)_{i,j} - m_{\vec{e}LR1} \cdot (x_3 - x_1)_{i,j}}{m_{\vec{e}LR1} \cdot l_{\vec{e}R} - l_{\vec{e}LR1} \cdot m_{\vec{e}R}}$. Коэффициенты $l_{\vec{e}LR1}$, $m_{\vec{e}LR1}$, $m_{\vec{e}LR1}$, $m_{\vec{e}LR1}$, $m_{\vec{e}LR1}$, определяются по формуле (12).
$$(P_2)_{i,1} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}_{i,1} = (\vec{e}_R)_{i,j} \cdot (t_0)_i + \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}_{i,1}$$
 (3) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (3) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (3) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (4) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (3) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (4) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (5) Орт $\underline{\underline{\underline{\underline{e}}}}$ (6) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (7) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (8) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (8) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (9) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (12) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (13) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (14) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (15) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (15) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (16) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (17) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (17) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (17) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (18) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (18) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (18) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (18) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}}$ (19) $\underline{\underline{\underline{\underline{I}}}$ (19) $\underline{\underline{\underline{I}}}$ (19) $\underline{\underline{\underline{I}}$ (19) $\underline{\underline{I}}$ (19) $\underline{\underline{I}}$

Иначе выполняется шаг 4.2 (j > 1), как показано на рис. 5, б:

$$(P_1)_{i,j} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{i,j} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}_{i,j-1}, (P_3)_{i,j} = \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{last_1} \\ y_{last_1} \\ z_{last_1} \end{bmatrix}_{i,j},$$

$$(P_2)_{i,j} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}_{i,j} = (\vec{e}_R)_{i,j} s_0 + \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}_{i,j},$$
(4)

циенты $l_{\vec{e}LR1}$, $m_{\vec{e}LR1}$, $n_{\vec{e}LR1}$ определяются по формуле (12).

Шаг 5. Орт $\vec{e}_{L2} = (\vec{e}_R)_{i,j}$ направляющего вектора прямой L_2 , на которой лежит оттяжка ПШ, найден ранее по формуле (1). Далее определяем орт \vec{e}_{I1} направляющего вектора прямой L_1 , на которой лежит участок ПШ:

$$\vec{L}_{1} = \begin{bmatrix} l_{\vec{L}1} \\ m_{\vec{L}1} \\ n_{\vec{L}1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1} - x_{2} \\ y_{1} - y_{2} \\ z_{1} - z_{2} \end{bmatrix}_{i,j}, \ \vec{e}_{L} = \frac{\vec{L}_{1}}{|\vec{L}_{1}|}.$$
 (5)

Определим угол между участком ПШ и оттяжкой ПШ по формуле $\zeta_{i,j} = \arccos(\vec{e}_{L1} \cdot \vec{e}_{L2})$.

Далее по правилу параллелограмма найдем модуль равнодействующей системы сил, действующих на точку $(P_2)_{i,j}$ [2].

Шаг 6.1. выполняется в случае построения первого участка ПШ в секторе, как показано на рис. 5, а:

$$T_{i,j+1} = T_{i,2} = \left(R_{i,1}^2 + T_{i,1}^2 + 2 \cdot R_{i,1} \cdot T_{i,1} \cdot \cos(\zeta_{i,1})\right)^{1/2}.$$
 (6)

Иначе выполняется шаг 6.2 (i > 1), как показано на рис 5, б:

$$T_{i,j} = T'_{i,j}$$
 (см. формулу (13)),

$$T_{i,j+1} = \left(R_{i,j}^{2} + T_{i,j}^{2} + 2 \cdot R_{i,j} \cdot T_{i,j} \cdot \cos(\zeta_{i,j})\right)^{1/2}.$$
(7)

Полученная величина $T_{i,j+1}$ есть усилие натяжения в следующем участке ПШ.

Шаг 7. Теперь необходимо определить направление следующего участка ПШ. Для этого определим направляющий вектор следующего участка ПШ,

$$\vec{L}_{lnext} = \begin{bmatrix} l_{\vec{L}1next} \\ m_{\vec{L}1next} \\ n_{\vec{l}1next} \end{bmatrix} = \vec{e}_{L1} \cdot T_{i,j} + e_{L2} \cdot R_{i,j} , \ \vec{e}_{L1next} = \frac{\vec{L}_{lnext}}{|\vec{L}_{lnext}|} . (8)$$

Рассмотрим три вектора: \vec{e}_{L1next} – орт направляющего вектора следующего участка ПШ; $\left(\vec{e}_{R}\right)_{i,j+1}$ — орт направляющего вектора следующей оттяжки ПШ,

$$ec{V}_c = egin{bmatrix} l_{ec{V}_c} \\ m_{ec{V}_c} \\ n_{ec{V}_c} \end{bmatrix} = egin{bmatrix} (x_2)_{i,j} - (x_3)_{i,j+1} \\ (y_2)_{i,j} - (y_3)_{i,j+1} \\ (z_2)_{i,j} - (z_3)_{i,j+1} \end{bmatrix}$$
 — направляющий век-

тор прямой, проходящей через точки $(P_2)_{i \ i}$ и $\left(P_{3}\right)_{i.\,i+1}$. Найдем смешанное произведение этих векторов: $(\vec{e}_{L1next}, (\vec{e}_R)_{i,i+1}, \vec{V}_c) \neq 0$. Смешанное произведение не равно нулю. Следовательно, прямые являются скрещивающимися, т. е. соседние участки ПШ не лежат в одной плоскости [3].

Для того чтобы определить координаты точки $\left(P_{2}\right)_{i,i+1}$, необходимо разложить реакцию со стороны следующего участка ПШ $\vec{R}_{L1next} = T_{i,i+1} \cdot \vec{e}_{L1next}$ на две составляющие.

Первая компонента $\overrightarrow{R1}_{L1next}$ лежит на прямой, полученной пересечением плоскостей Plane₁ и Plane₂. Plane₁ задается прямой следующей оттяжки ПШ и точкой $(P_2)_{i,j}$. $Plane_2$ задается вектором \vec{L}_{lnext} и точкой P_{guy} на ванте ФОС, соединяющей узел ФС $\left(P_{2}\right)_{i,i}$ с соответствующим узлом ТС. Вторая компонента $\overrightarrow{R2}_{L1next}$ направлена вдоль рассматриваемой ванты

Плоскости Plane₁ и Plane₂ описываются уравнениями:

$$\begin{split} A_{plane1} \cdot x + B_{plane1} \cdot y + C_{plane1} \cdot z + D_{plane1} &= 0 \end{split}$$
 и
$$A_{plane2} \cdot x + B_{plane2} \cdot y + C_{plane2} \cdot z + D_{plane2} &= 0 \; . \end{split} \tag{9}$$

Найдем коэффициенты при уравнениях плоскости *Plane*₁:

$$A_{plane1} = \left((y_{M})_{i,j+1} - (y_{2})_{i,j} \right) \times \\ \times (n_{\bar{e}R})_{i,j+1} - \left((z_{M})_{i,j+1} - (z_{2})_{i,j} \right) \cdot (m_{\bar{e}R})_{i,j+1},$$

$$B_{plane1} = \left((z_{M})_{i,j+1} - (z_{2})_{i,j} \right) \times \\ \times (l_{\bar{e}R})_{i,j+1} - \left((x_{M})_{i,j+1} - (x_{2})_{i,j} \right) \cdot (n_{\bar{e}R})_{i,j+1},$$

$$C_{plane1} = \left((x_{M})_{i,j+1} - (x_{2})_{i,j} \right) \times \\ \times (m_{\bar{e}R})_{i,j+1} - \left((y_{M})_{i,j+1} - (y_{2})_{i,j} \right) \cdot (l_{\bar{e}R})_{i,j+1}$$

$$(10)$$

и Plane₂:

$$\begin{split} A_{plane2} &= \left(\left(y_2 \right)_{i,j} - y_{guy} \right) \cdot n_{\bar{e}R} - \left(\left(z_2 \right)_{i,j} - z_{guy} \right) \cdot m_{\bar{e}R}, \\ B_{plane2} &= \left(\left(z_2 \right)_{i,j} - z_{guy} \right) \cdot l_{\bar{e}R} - \left(\left(x_2 \right)_{i,j} - x_{guy} \right) \cdot n_{\bar{e}R}, \end{split}$$

$$C_{plane2} = \left((x_2)_{i,j} - x_{guy} \right) \cdot m_{\vec{e}R} - \left((y_2)_{i,j} - y_{guy} \right) \cdot l_{\vec{e}R}, \quad (11)$$

направляющего вектора следующей оттяжки тип,
$$\vec{V}_c = \begin{bmatrix} l_{\vec{V}_C} \\ m_{\vec{V}_C} \\ l_{\vec{V}_C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_2)_{i,j} - (x_3)_{i,j+1} \\ (y_2)_{i,j} - (y_3)_{i,j+1} \\ (z_2)_{i,j} - (z_3)_{i,j+1} \end{bmatrix} -$$
направляющий век- где $P_{guy} = \begin{bmatrix} x_{guy} \\ y_{guy} \\ z_{guy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(x_2)_{i,j} \\ (y_2)_{i,j} \\ (z_2)_{i,j} \end{bmatrix} -$ точка, принадлежащая

прямой, на которой лежит ванта, соединяющая соответствующие узлы фронтальной и тыльной сетей. Данная ванта ориентирована параллельно оси Х в системе координат рефлектора.

Определим направление вектора участка ПШ через уравнение прямой, образованной пересечением плоскостей Plane₁ и Plane₂ [3]:

$$\vec{L}_{R1} = \begin{bmatrix} l_{\vec{L}R1} \\ m_{\vec{L}R1} \\ n_{\vec{L}R1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{plane1} \cdot C_{plane2} - C_{plane1} \cdot B_{plane2} \\ C_{plane1} \cdot A_{plane2} - A_{plane1} \cdot C_{plane2} \\ A_{plane1} \cdot B_{plane2} - B_{plane1} \cdot A_{plane2} \end{bmatrix},$$

$$\vec{e}_{LR1} = \begin{bmatrix} l_{\vec{e}LR1} \\ m_{\vec{e}LR1} \\ n_{\vec{e}LR1} \end{bmatrix} = \frac{\vec{L}_{R1}}{|\vec{L}_{R1}|}.$$
(12)

Найдем угол между вектором \vec{R}_{L1next} и его компонентой $\overrightarrow{R1}_{L1next}$ по формуле $\cos(\varphi_1) = \overrightarrow{e}_{L1next} \cdot \overrightarrow{e}_{LR1}$, а затем определим величину натяжения $T'_{i,i+1}$ в следующем участке ПШ, лежащим на прямой с направляющим вектором $\overline{R1}_{L1next}$:

$$T_{R1} = T_{i,j+1} \cdot \cos(\varphi_1), T'_{i,j+1} = T_{R1}.$$
 (13)

Далее найдем угол между векторами $\overline{R1}_{L1next}$ и $\overline{R2}_{L1next}$ по формуле $\cos(\varphi_2) = l_{\overline{e}LR1}$ [3].

Составим квадратное уравнение по правилу параллелограмма относительно T_{R2} :

$$(T_{i,j+1})^2 = (T_{R1})^2 + (T_{R2})^2 + 2 \cdot (T_{R1}) \cdot (T_{R2}) \cdot \cos(\varphi_2) \quad (14)$$

и, решив его для положительного значения T_{R2} , найдем величину натяжения в ванте:

$$T_{R2} = -T_{R1} \cdot \cos(\varphi_2) + \left(\left(T_{R1} \cdot \cos(\varphi_2) \right)^2 - T_{R1}^2 + \left(T_{i,j+1} \right)^2 \right)^{1/2} . (15)$$

После выполнения шага 7 следует переход на новый круг (если j < m-1, то j=j+1; если j=m-1, то i=i+1 и j=1).

В конце работы алгоритма на выходе получаем массивы данных:

- $-[P_2]$ координаты узлов периферийного шнура;
- [T] величины натяжений в участках периферийного шнура.

В результате построения получим геометрическое место узлов периферийного шнура, а также величины натяжений в каждом участке периферийного шнура.

Данный алгоритм был использован при написании макросов на процедурном языке APDL конечно-элементного комплекса ANSYS. Построенная конечно-элементная модель фронтальной сети рассматриваемого сетчатого рефлектора получила предварительное натяжение в соответствии с заданными и расчетными требованиями. Затем был проведен поиск равновесного состояния, в результате которого путем варьирования параметров была получена напряженная модель фронтальной сети, оптимизированная с необходимой точностью усилий натяжения в шнурах.

Применение разработанного авторами статьи алгоритма позволяет с использованием простых методов оптимизации (например метод Хука-Дживса) получить конечные величины усилий в шнурах формообразующей структуры рефлектора. Рассмотрение алгоритма оптимизации построения периферийного шнура будет проведено в следующих работах авторов.

Библиографические ссылки

- 1. Голдобин Н. Н. Особенности проектирования формообразующей структуры крупногабаритного трансформируемого рефлектора космического аппарата // Молодежь. Техника. Космос : Тр. VI Общерос. молодежной науч.-практ. конф. / БГТУ «Военмех». СПб., 2014.
- 2. Яблонский А. А. Курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 1966.
- 3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М. : Наука, 1986.

References

- 1. Goldobin N. N. [Features of designing of network structure of a large transformed reflector of a spacecraft]. *Trudy VI Obshcheros. molodezhnoy nauch.-praktich. konfer. "Molodezh'. Tekhnika. Kosmos"* [Proc. VI National Youth Scientific-practical. Conf. BGTU "Voyenmekh" "Youth. Tech. Space"]. St. Petersburg, 2014. (In Russ.)
- 2. Yablonskiy A. A. *Kurs teorericheskoy mekhaniki* [Theoretical mechanics course]. Moscow, Visshaya shkola Publ., 1966.
- 3. Bronshtein I. N., Semendyaev K. A. *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i ychashikhsya VTYZov* [Handbook of mathematics for engineers and students of technical colleges]. Moscow, Nauka Publ., 1986.

© Голдобин Н. Н., Тестоедов Н. А., 2014

УДК 658.512.001.56

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ИСПЫТАНИЯ И ИМИТАЦИИ НЕВЕСОМОСТИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И. В. Ковалев¹, Ю. О. Кикоть²

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

²Сибирский государственный технологический университет Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82 E-mail: awa@yandex.ru

Представлен обзор основных технических решений по улучшению точности и надежности системы контроля испытаний и имитации невесомости для космических аппаратов. Рассмотрен ряд проблем на этапе проектирования системы имитации невесомости, связанных как со сложностью конструкции, так и с тем, что система должна работать с дорогостоящими космическими аппаратами. Показано, что с этой целью

осуществляется полный контроль на всех стадиях разработки и запуска системы. Многоуровневое управление и контроль системы имитации невесомости обеспечивают бесперебойную работу всей системы путем резервирования наиболее важных элементов, а также выполняют все функции управления и контроля параметров процесса как в автоматическом, так и ручном режиме.

Ключевые слова: система имитации невесомости, контроль испытаний, управление, надежность, резервирование, автоматизация.

ON THE QUESTION OF IMPROVING THE ACCURACY AND RELIABILITY OF SYSTEM TESTING AND SIMULATION OF WEIGHTLESSNESS IN SPACE

I. V. Kovalev¹, Y. O. Kikot²

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

²Sibirsky State Technological University

82, Mira pr., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation E-mail: awa@yandex.ru

An overview of the main technical solutions for improving the accuracy and reliability of control systems testing and simulation of weightlessness in space is presented. The issues at the design stage of the system simulate weightlessness associated with the design complexity and the fact that the system should work with expensive spacecraft are discussed. It is shown that with this purpose the complete control at all stages of development and launch of the system is done. Multi-level governance and control system simulation of weightlessness ensures the smooth operation of the entire system by reserving the most important elements, as well as performs all the functions of management and control of process parameters, in both automatic and manual mode.

Keywords: simulation of weightlessness, obespechivaya, reliability, redundancy, automation.

Система имитации невесомости может найти применение в различных областях промышленности, прежде всего, авиационной и ракетно-космической. В частности, система относится к испытательной технике, наземным испытаниям механизмов, имеющих гибкую, многозвенную конструкцию, рассчитанную на работу в невесомости [1].

Подобные конструкции (складные панели солнечных батарей космических аппаратов, раскрываемые многозвенные конструкции и т. п.) необходимо равномерно обезвешивать, прилагая усилие к каждому звену конструкции, в процессе перемещения этих звеньев относительно друг друга. Система имитации невесомости может быть использована для обезвешивания крупногабаритных трансформируемых конструкций и устранения деформаций или разрушений под действием силы тяжести при наземных испытаниях (экспериментального уточнения или идентификации параметров математической модели конструкции механизмов на Земле) или при физической отработке и поверке работы системы управления трансформируемыми конструкциями на Земле для проведения лётных испытаний. Отличительной особенностью технологического процесса раскрытия крупногабаритных трансформируемых конструкций является то, что первоначально, когда конструкция находится в сложенном положении, точки приложения усилий обезвешивания расположены компактно, а затем, по мере раскрытия и приведения в рабочее состояние эти точки удаляются друг от друга, и каждая по самостоятельной траектории проходит своё расстояние [2].

С учетом вышеизложенного создана универсальная система имитации невесомости, состоящая из блока управления на основе компьютера и микроконтроллера и необходимого количества модулей, установленных один над другим. Она отличается тем, что каждый модуль включает в себя два сервопривода, расположенных с его торцевой части, шкивы которых работают на общий зубчатый ремень, а на нем через пассивные шкивы крепится каретка, перемещающаяся по оси X по направляющим, и тележка, закрепленная на общем зубчатом ремне и перемещающаяся по оси У по собственной направляющей, причём на тележке имеется шкив, через который проходит гибкая связь, соединяющая подвешенный через блоки компенсирующий груз с обезвешиваемым элементом. Также на тележке имеется датчик-инклинометр, определяющий вертикальное положение гибкой связи, по сигналам с которого блок управления включает сервоприводы устройства и перемещает каретку и тележку, поддерживая вертикальность гибкой связи по отношению к объекту обезвешивания. Количество модулей и размеры каждого модуля подбираются исходя из геометрии и необходимого числа точек приложения усилия обезвешивания применительно к конкретному объекту [3].

Автоматизированный блок управления работает следующим образом. Система управления формирует

алгоритм одновременной работы сервоприводов модуля так, что имеется возможность:

- перемещать каретку синхронным разнонаправленным вращением шкивов сервоприводов;
- перемещать тележку синхронным однонаправленным вращением шкивов сервоприводов;
- выполнять одновременное движение каретки и тележки при включении одного из сервоприводов либо при вращении шкивов сервоприводов с разной скоростью; таким образом, два привода, компактно расположенные с торца модуля, позволяют осуществлять одновременное позиционирование тележки и каретки модуля.

На этапе проектирования системы имитации невесомости возникает ряд проблем, связанных как со сложностью конструкции, так и с тем, что данная система должна работать с дорогостоящими космическими аппаратами. С этой целью осуществляется полный контроль на всех стадиях разработки и запуска системы имитации невесомости, а также проводятся необходимые испытания, что является особенно важной стадией, когда даже малейшая неточность полученных результатов может повлечь грубые ошибки и неправильную работу всего оборудования в целом, что недопустимо при производстве космических аппаратов.

Существенную роль в процессе создания конкурентоспособной продукции и отыскания наиболее эффективных путей ее реализации играет уровень надежности, так как непредвиденный отказ системы имитации невесомости в процессе использования может привести к катастрофическим последствиям, а также нанесёт серьезный моральный ущерб фирмеизготовителю и подорвет доверие к ней.

В силу этого необходимо создавать разветвленную сеть технического обслуживания и аварийного ремонта с соответствующей информационной системой, добиваясь максимального удовлетворения разнообразных запросов потребителя. Чем выше гарантированный изготовителем уровень надежности системы имитации невесомости, тем, при прочих равных условиях, большей конкурентоспособностью она будет обладать.

Для этого необходимо проанализировать возможные причины отказа работы системы имитации невесомости:

- ошибка рабочего, оператора (человеческий фактор);
- отсутствие синхронизации поступающих параметров и данных;
- смещение траектории перемещения каретки или ее рабочих органов, определяющих точность функционирования или другие показатели работоспособности;
- смещения (линейные, угловые) отдельных элементов системы имитации невесомости в результате силовых или температурных деформаций, включая результаты вибрационных процессов;
- временные запаздывания для сил, давлений, крутящих моментов, передаваемой мощности и других характеристик динамической нагруженности системы;

- изменения в процессе функционирования системы имитации невесомости показателей ее эффективности, таких как производительность, КПД и др.;
- превышение уровня любых установленных показателей – шума, вибрации и других специальных характеристик [4].

Для защиты системы имитации невесомости от вышеперечисленных отказов необходимо повысить ее точность и надежность за счет введения резервированной системы автоматического управления. Это позволит создать высокоэффективную систему, в которой элементы и сама система имитации невесомости будут обладать высокими показателями надежности, достаточными для практически безотказной эксплуатации.

Предлагается разработка 4-уровневой системы управления и контроля системы имитации невесомости, которая обеспечивает бесперебойную работу всей системы путем резервирования наиболее важных частей и участков, а также выполняет все функции управления и контроля параметров процесса как в автоматическом, так и ручном режиме.

На первом уровне организован сбор данных и параметров с датчиков и исполнительных механизмов с унифицированным токовым сигналом 4–20 мА и HART-протоколом.

На втором уровне сигналы с датчиков и исполнительных механизмов поступают на станцию удаленного ввода/ вывода Mitsubishi Electric MELSEC STlite. благодаря которой СРU контроллера находится в центральном пункте (блок управления), периферия работает децентрализовано на месте, что позволяет сократить расстояние монтажа от датчиков до модулей ввода/вывода, а также STlite отличается высоким уровнем модульности и конструкцией, адаптированной к полевым шинам, поэтому она идеально соответствует требованиям современных распределенных систем. Устройство оптимизировано для эффективной связи на уровне процесса с масштабируемой производительностью и высокой степенью интеграции, что особенно необходимо для высокого уровня надежной работы системы имитации невесомости.

Основные особенности MELSEC STlite:

- область возможного применения фактически не ограничена;
- сводит к минимуму издержки на системное и аппаратное обеспечение;
 - упрощает работу и максимизирует эффективность.

На третьем уровне используется набирающая порезервируемая пулярность платформа фирмы Mitsubishi Electric MELSEC System Q, которая является отказоустойчивой и ресурсосберегающей системой. Целью использования систем автоматизации с резервированием является сокращение производственных потерь. При этом не имеет значения, вызваны ли эти потери неисправностью или являются результатом работ по обслуживанию. Платформа Mitsubishi Electric MELSEC System Q сконструирована резервируемой, так что она всегда остается готовой к действию при любых событиях. Это значит, что все существенные компоненты дублированы.

Резервированию подлежат центральные процессоры компании MELSEC System Q, которые представляют собой две идентичные системы, которые обеспечивают максимальную степень отказоустойчивости. В связи с этим степень готовности системы имитации невесомости невероятно повышается: при выходе из строя центрального процессора, сетевого блока или монтажной шины. Управление незамедлительно (в течение 21 мс) переключается на резервную систему, и процесс бесперебойно продолжается.

Достоинства использования резервируемой платформы Mitsubishi Electric MELSEC System Q:

- высокопроизводительный СРU, малое время переключения;
- резервирование по процессору, сетевым интерфейсам, источнику питания;
- модули, установленные на удаленном шасси, могут быть заменены без остановки и отключения системы;
- неограниченное количество ПИД-регуляторов (включая специализированные инструкции управления непрерывными процессами);
- система поддерживает все популярные открытые сети, включая Profibus, Melsecnet/H, CC-Link, Ethernet и т. д.;
- автоматический переход на работающую систему верхнего уровня (например SCADA) при обрыве одной из линий связи.

Также резервируется промышленная сеть Profibus DP, по которой происходит обмен данными с удаленными станциями ввода/вывода MELSEC STlite, каждая из которой оснащена двумя интерфейсными модулями (основным и резервным). Данное резервирование обеспечивает:

- безударное переключение на резерв (без внесения возмущений в управляемый процесс);
 - высокую надежность всей системы;
 - синхронизацию поступающих данных;
 - малую длительность переключения.

Кроме того, резервируется источник питания, что позволяет увеличить коэффициент готовности программируемой платформы Mitsubishi Electric MELSEC System Q. Резервируемый источник питания обладает следующими свойствами:

- блок питания снабжен ограничителем тока включения;
- каждый из двух блоков питания может взять на себя обеспечение энергией всей стойки, если другой блок выходит из строя (работа системы не прерывается);
- каждый из двух блоков питания может быть заменен во время работы системы (при снятии и установке модулей не происходит ни исчезновения, ни возрастания полезного напряжения);
- каждый из двух блоков питания контролирует свои функции и посылает сообщение в случае своего выхода из строя;
- ни один из двух блоков питания не может выдать ошибку, которая бы повлияла на выходное напряжение другого блока питания.

Для конфигурирования и программирования платформы Mitsubishi Electric MELSEC System Q используется GX IEC Developer и MX OPC Server [5].

Четвертый уровень — уровень диспетчерского управления — представляет управление системой имитации невесомости через автоматизированное рабочее место оператора. Для организации обмена данными с промышленными компьютерами верхнего уровня платформа Mitsubishi Electric MELSEC System Q подключена в резервируемую сеть Ethernet, что также увеличивает отказоустойчивость всей системы.

Таким образом, многоуровневое управление и контроль системы имитации невесомости обеспечивает бесперебойную работу всей системы путем резервирования наиболее важных элементов, а также выполняет все функции управления и контроля параметров процесса как в автоматическом, так и ручном режиме.

Библиографические ссылки

- 1. Малые космические аппараты информационного обеспечения / под ред. В. Ф. Фатеева. М. : Радиотехника, 2010.320~c.
- 2. Авиапанорама : междунар. авиационнокосмический журнал [Электронный ресурс]. 2003— 2004. URL: http://aviapanorama.su.
- 3. Удаленная станция ввода-вывода Mitsubishi Electric MELSEC STlite [Электронный ресурс]. URL: http://www.directindustry.com.
- 4. Платформа Mitsubishi Electric MELSEC System Q и ее компоненты [Электронный ресурс]. URL: http://www.mitsubishielectric.ru.
- 5. Программное обеспечение GX IEC Developer и MX OPC Server [Электронный ресурс]. URL: https://ru3a.mitsubishielectric.com.

References

- 1. Fateeva V. F. *Malye kosmicheskie apparaty informatsionnogo obespechenija* [Small spacecraft information provision, Ed. V. F. Fateev]. Moscow, Radiotehnika Publ., 2010, 320 p.
- 2. Aviapanarama, Mezhdunarodnyj aviatsionnokosmichekij zhurnal [Aviapanorama, Intern. Aerospace Journal], 2003–2004, Available at: http://aviapanorama.su.
- 3. *Udalennaja stantsija vvoda. Mitsubishi Electric MELSEC STlite* [Remote station input output Mitsubishi Electric MELSEC STlite]. Available at: http://www.directindustry.com.
- 4. Platforma Mitsubishi Electric MELSEC System Q i ee komponrenty [Platform Mitsubishi Electric MELSEC System Q and its components]. Available at: http://www.mitsubishielectric.ru.
- 5. Programmnoe obespechenie GX IEC Developer u MX OPC Server [Software GX IEC Developer and MX OPC Server]. Available at: https://ru3a.mitsubishielectric.com.

© Ковалев И. В., Кикоть Ю. О., 2014

УДК 629.76.001.4

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ АГРЕГИРОВАННЫХ МНОГОМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОГРАММЫ ПРОВЕРКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

Н. Н. Нестечук

Первый Государственный испытательный космодром МО РФ Российская Федерация, Архангельская область, г. Мирный, ул. Неделина, 35 E-mail: wind.space @ yandex.ru

Предлагается методика преобразования агрегированных многомерных моделей в одномерные за счёт применения характеристических векторов и теории нечётких множеств. Результатом оптимизации является возможность диагностирования бортовой аппаратуры ракеты космического назначения (РКН), представленной агрегированными многомерными моделями, с применением методов анализа одномерных моделей, что приведёт к сокращению времени определения причины неисправности бортовой аппаратуры РКН. Полученная агрегированная одномерная модель применяется для построения программы диагностирования по критерию максимума полезности информации с использованием меры Харкевича.

Ключевые слова: агрегированная модель, мера Харкевича, бортовая аппаратура РКН, диагностирование.

TECHNIQUE OF AGGREGATED MULTIVARIATE MODELS OPTIMIZATION FOR THEIR APPLICATION WHILE BUILDING THE PROGRAM OF CHECKING DIAGNOSTIC FEATURES

N. N. Nestechuk

1 State Test Cosmodrome Defense Ministry Russian Federation 35, Nedelina str., Mirny-12, Arkhangelsk region, Russian Federation E-mail: wind.space @ yandex.ru

The article suggests the method of converting aggregate multidimensional models into one-dimensional models through the use of feature vectors and theories of fuzzy sets. The result to optimize is the ability of diagnostics of board equipment space launch vehicle (SLV) presented the aggregated multivariate models with application of methods analysis of one-dimensional models, which would reduce the time determine the cause fault of onboard equipment SLV. The obtained aggregated one-dimensional model is applied to build a program diagnosing by maximum information criterion using by Kharkevich's measures.

Keywords: aggregate model, Kharkevich's measure, airborne equipment SLV, diagnosis.

Причиной проведения анализа летно-технических характеристик ракеты космического назначения (РКН) на активном участке траектории полёта являются нештатные ситуации при запуске РКН. В этом случае необходимо четко распознавать технические состояния РКН, выводящей КА на заданную орбиту, с целью выявления возможных аварийных ситуаций на борту РКН или определения вида внешнего воздействия.

При возникновении и развитии на РКН нештатной ситуации (НШС) сложность проведения и актуальность оперативного анализа значительно возрастают, так как последствия способны существенно повлиять как на возможность планового запуска других РКН, так и на общую безопасность их проведения.

Существующие подходы анализа НШС, опирающиеся на использование знаний экспертов, не позволяют достичь требуемой оперативности и достовер-

ности [1]. Известные методы построения программ диагностирования основаны на описании систем агрегированными одномерными моделями (AOM), в то время как реальные системы описываются агрегированными многомерными моделями (AMM) [2].

В данной статье представлена методика построения многомерной модели сложной технической системы, которой является РКН, переход от многомерной к одномерной модели и вычисление достоверности определения НШС с использованием нечётких множеств.

Математическая модель бортовой автоматизированной системы управления (БАСУ) РКН представлена в виде:

$$M_o^* = \langle \mathbf{E}, \Pi, \mathbf{H}, \mathbf{G}, \mathbf{M}, \Phi \rangle, \tag{1}$$

где $\mathbf{E} = \left\{ \mathbf{E}^{*i} \right\}$ — множество классов модельных неисправных состояний блоков объекта диагностирования

(ОД), $\mathbf{E}^{*i} = \left\{ E_u^i \right\}$ — множество состояний объекта диагностирования, $E_u^i = \left\{ e_{cu}^i \right\}$ — множество значений точек контроля (признаков), которые принимают значения «1» (норма) или «0» (не норма), $e_{cu}^i \in [0,1], i = \overline{1,m}, c = \overline{1,w}, u = \overline{1,q}; \quad \Pi = \{\Pi_c\}$ – множество признаков ОД; $\mathbf{H} = \{H^i\}$ – множество характеристических векторов, $H^{i} = \{h_{c}^{i}\}$ – прямой характеристический вектор, содержащий в себе характерные признаки класса неисправных состояний E^{*i} ; $\mathbf{G} = \{G^i\}$ – множество характеристических векторов, $G^i = \{g_c^i\}$ – обратный характеристический вектор, содержащий в себе характерные признаки класса неисправных состояний E^{*i} для значений, противоположных исходным данным; $\mathbf{M} = \left\{ \mu_c \left(E^{*_i} \right) \right\}$ – множество функций принадлежности вектора текущего неисправного состояния $Y = (y_1, y_2, ..., y_w)^T$ к модельным состояниям E^{*i} ; $\Phi: \mathbf{E} \times \mathbf{E} \to \{\mathbf{H}, \mathbf{G}, \mathbf{M}\}$ – сжимающее отображение, которому $h_c^i = \varphi_1(E_u^i), g_c^i = \varphi_2(\overline{E_u^i}),$ согласно $\mu_c^i = \varphi_3(E_u^i) | E_u^i \in E^{*i}$.

Модель процесса диагностирования БАСУ РКН представлена в виде

$$M_\Pi^* = \left\langle Y, \mathbf{R}, \hat{\Pi}, \hat{P}, \mathbf{M} \right\rangle, \tag{2}$$
 где $Y = \left\{ Y | Y = \left(y_1, y_2, ..., y_c, ..., y_w \right)^\mathsf{T}, y_c \in \mathbf{R}, c = \overline{1, w} \right\} -$ множество (в общем случае бесконечное) наблюдаемых состояний объекта, подлежащих распознаванию; $\mathbf{R} = \left\{ R_k \mid R_k \in \mathbf{S} \right\} -$ алгебра событий, заданная на множестве \mathbf{S} , в которой элементы R_k — информационные состояния процесса поиска, в одном из которых находится наблюдаемое состояние объекта; $\hat{P} = \left\{ P(R_k) \mid R_k \in \mathbf{R} \right\} -$ вероятностная мера, заданная на алгебре событий, в которой вероятности $P(R_k) \in \hat{P}$ вычисляются в процессе синтеза поиско-

вой системы и в качестве исходных данных не выдаются; $\hat{\Pi} = \left\{ \hat{\Pi_c} \mid c = \overline{1,w} \right\}$ — множество проверок признаков $\Pi_c \in \Pi$; $\mathbf{M} = \left\{ \mu_c \left(E^{*i} \right) \mid c = \overline{1,w}, i = \overline{1,m} \right\}$ — множество функций принадлежности вектора текущего неисправного состояния $\mathbf{Y} = \left(y_1, y_2, \ldots, y_c, \ldots, y_w \right)^{\mathrm{T}}$ к модельным состояниям E^{*i} , $\mu_c \left(E^{*i} \right) \in (0,1)$.

Математическая модель БАСУ РКН (1) соответствует агрегированной многомерной модели [2], в которой для каждого блока составляется отдельная таблица неисправности $\left(E^{*i}\mid i=\overline{1,m}\right)$, содержащая данные о состоянии точек контроля Π_c , при возникновении неисправности внутри i-го блока (табл. 1). Поэтому количество векторов неисправных состояний $\left\{E_u^i\mid u=\overline{1,q}\right\}$ блока зависит от структуры блока и от точности анализа блока экспертами.

Представленная модель (1) имеет значительную размерность, что позволяет получить из диагностируемой системы максимум информации. Значения $e^i_{\ uc}$ диагностических признаков \mathbf{n}_c — бинарные и равны 1 при норме или 0 при не норме показаний контролируемых датчиков.

Данный подход позволяет использовать для контроля датчики, измеряющие разные физические величины (давление, напряжение, ток, скорость, ускорение и т. д.).

Для перехода от AMM к AOM необходимо объединить сначала технические состояния модели, а затем диагностические признаки по методу сжимающих отображений [2].

Отображение $\Phi: \mathbf{E} \times \mathbf{E} \to \{\mathbf{H}, \mathbf{G}, \mathbf{M}\}$ преобразует пространство значений диагностических признаков \mathbf{E} во множества \mathbf{H} и \mathbf{G} (характеристические векторы) [3] и множество \mathbf{M} (функций принадлежности) [3; 4] посредством операторов перехода:

$$\varphi_1\left(E_u^i\right) = h_c^i = \bigcap_{u=1}^q e_{uc}^i, \quad \varphi_2\left(\overline{E_u^i}\right) = g_c^i = \bigcap_{u=1}^q \overline{e_{uc}^i},$$

$$\varphi_3\left(E_u^i\right) = \mu_c^i = \frac{1}{q} \bigcap_{u=1}^q e_{uc}^i, c = \overline{1, w}, \quad i = \overline{1, m}.$$
(3)

Таблица 1

A		_		
Агрегированная мног	гомания монані	ОПОКО	μουποπνονισι	CHCTOMII
лірсі пробаппал міпоі	имсрпал модсле	UJIUKA	исследуемой	CHCICMBI

	E^{*_i}	П						
	\boldsymbol{E}	Π_1	Π_2		$\Pi_{\mathcal{C}}$		$\Pi_{\mathcal{W}}$	
	$E^{*_i}_{1}$	e^{i}_{11}	e^{i}_{12}	• • • •	e^i_{1c}		e^i_{1w}	
e sie	E_{2}^{*i}	e^{i}_{21}	e^i_{22}		e^i_{2c}		e^{i}_{2w}	
ДНІ НБІ	•••	•••	•••		•••		•••	
Исходные данные	E_{u}^{*i}	e^{i}_{u1}	e^{i}_{u2}		$e^i_{\ uc}$		$e^i_{\ uw}$	
Ис	•••	•••	•••		•••		•••	
	E_{q}^{*i}	e^{i}_{g1}	e^{i}_{g2}		e^{i}_{gc}		e^{i}_{gw}	
7- e e	H^{i}	$h^i_{\ 1}$	h_{2}^{i}		$h^i_{\ c}$		h_{w}^{i}	
Рассчи- танные данные	G^{i}	g^{i}_{1}	$g_{\ 2}^{i}$		g^{i}_{c}		g_{w}^{i}	
Рас тан дан	$\mu(E^{*_i})$	$\mu_1(E^{*i})$	$\mu_2(E^{*i})$		$\mu_c(E^{*i})$		$\mu_w(E^{*i})$	

Множество диагностических признаков Π сжимается через отображение $\Psi: \Pi \to \Pi$ посредством оператора перехода:

$$\Psi_j = \bigcap_{c=1}^w \Pi_c, \text{ если } \left(\Pi_c \in S^j\right), \tag{4}$$

где $\left\{ \psi_{j} \subset \Pi \right\}$ — множество признаков, сгруппированных по принадлежности к блокам ОД $S^{i}, \; \psi = \left\{ \psi_{j} \right\}.$

Полученное множество ψ состоит из элементов ψ_j , содержащих в себе признаки, принадлежащие одному блоку ОД. В соответствии с формулой (4) происходит сжатие множества **H**, результатом которого является AOM ОЛ:

$$H \xrightarrow{\psi_j} S = \left\{ s_{i,j} \right\}$$
, где $s_{i,j} = \prod_{x \in \psi_j} h_x^i, i = \overline{1,m}; j = \overline{1,n}$. (5)

Рассчитанные характеристические вектора S_i сгруппированы в табл. 2, используемой при построении программы диагностирования по максимуму полезности информации. В результате всех преобразований получена упрощённая модель ОД, но с сохранением максимальной информативности:

$$M_o = \langle \mathbf{S}, \Pi, \mathbf{P}, F \rangle,$$
 (6)

где $\mathbf{S} = \{S_i\}$ — множество возможных видов технических состояний (модельных TC) при заданной глубине поиска $i=\overline{1,m}$, где m — количество блоков в диагностируемой системе; $\Pi=\{\pi_j\}$ — множество признаков, на котором все TC $S_i\in\mathbf{S}$ дизьюнктны (попарно различимы), задается не в явной форме, а таблично, $j=\overline{1,n}$, где n — количество диагностируемых признаков; $\mathbf{P}=\{p_i\}$ — множество вероятностей безотказной работы блоков исследуемой системы, задаётся таблично; $F:\mathbf{S}\times\Pi\to s_{i,j}$ — отображение, согласно которому $s_{i,j}=F\left(S_i,\pi_j\right), S_i\in\mathbf{S}, \pi_j\in\Pi, S_i=\{s_{ij}\}$ — множество модельных значений признаков π_j в модельном состоянии S_i , причем $s_{ij}\in[0,1]$.

Для построения программы диагностирования исследуемой системы по агрегированной ОМ применяется метод динамического программирования по критерию максимума полезности информации, получаемой при проведении проверки [5; 6]. Исходными данными метода являются агрегированная одномерная модель исследуемой системы $\mathbf S$ и вероятность безотказной работы приборов системы, указанной в документации, p_i , что позволяет повысить достоверность принятия решения о причине неисправности.

Множество вероятностей $\stackrel{\wedge}{P} = \{P(S_i) | S_i \in \mathbf{S}\}$ модельных состояний \mathbf{S} рассчитывается по заданным значениям $\mathbf{P} = \{p_i\}$ при использовании формул [2]

— для исправного состояния S_0 :

$$P(S_0) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{m} \frac{1 - p_i}{p_i}};$$
(7)

- и для состояний S_i:

$$P(S_i) = \frac{\frac{1 - p_i}{p_i}}{1 + \sum_{i=1}^{m} \frac{1 - p_i}{p_i}},$$
(8)

и составляющих полную группу случайных событий, т. е. таких, что $\sum_{i=0}^m P(S_i) = 1$.

Степень близости наблюдаемого неисправного состояния Y^H к классам ТС $E^{*i} \in \mathbf{E}$ оценивается по относительному расстоянию между Y^H и функцией принадлежности $\mu(E^{*i})$ [4]. В качестве меры близости принято относительное евклидово расстояние (квадратичное) [7]:

$$e\left(Y^{H}, \mu\left(E^{*i}\right)\right) = \frac{1}{w} \sqrt{\sum_{c=1}^{w} \left(Y_{c}^{H} - \mu_{c}\left(E^{*i}\right)\right)}, \ i = \overline{1, m}. \quad (9)$$

Тогда степень истинности принятия решения $Q^i \in \mathbf{Q}$ об определении класса технического состояния $E^{*i} \in \mathbf{E}$ по наблюдаемому состоянию Y^H_c определяется по формуле $D(Q^i) = 1 - \mathbf{e}(Y^H, \mu(E^{*i}))$.

Полученная методика перехода от многомерных к одномерным агрегированным моделям расширяет количество известных методов диагностирования, основанных на агрегированных одномерных моделях.

Таблица 2

Агрегированная одномерная модель исследуемой системы

S		P					
~	π_1	π_2	•••	π_j	• • •	π_n	-
S_0	s ₀₁	S ₀₂	•••	s_{0j}		S_{0n}	
S_1	s ₁₁	S ₁₂	•••	s_{1j}		S_{1n}	p_1
S_2	s ₂₁	S ₂₂	•••	s_{2j}	•••	S_{2n}	p_2
	•••		•••	•••	•••	•••	•••
S_i	s_{i1}	S_{i2}	•••	S_{ij}		Sin	p_i
S_m	S_{m1}	S_{m2}		S_{mj}		S_{mn}	p_m

Применение методики характеристических векторов и метода сжимающих отображений сокращает множество модельных состояний до размеров АОМ, а функция принадлежности, являющаяся основой теории нечетких множеств и показывающая степень принадлежности значения диагностического признака его модельному состоянию, сохраняет максимум информации о системе, повышая достоверность определения причины НШС.

Апробация разработанной методики проводилась с использованием БАСУ РКН «Союз-2».

Из состава системы управления РКН была взята подсистема электропитания, состоящая из 6 сменных блоков, для определения работоспособности которой используется 18 телеметрических признаков п_с (точек контроля). В систему вводились неисправности входящих в неё блоков. Значения, снимаемые в точках контроля п_с, преобразуются в бинарный вид и заносятся в матрицы состояния E^{*_i} диагностируемой системы. На их основе, по разработанной методике вычисляется одномерная агрегированная модель S системы электропитания (СЭП) РКН с размерностью 6 на 7 (6 точек контроля – по числу сменных блоков, 7 состояний системы: 6 состояний соответствуют неисправным состояниям блоков и одно состояние исправное). Программа диагностирования U, определяющая порядок проверки блоков СЭП, строится по методу вычисления максимума функции полезности [5] на основе полученной модели S.

Эффективность полученной программы диагностирования U при диагностировании неисправности СЭП БАСУ проверялась с привлечением специалистов отдела анализа 1 ГИК МО РФ. Были созданы три рабочие группы:

- первая группа состояла из специалистов, хорошо знакомых с тестируемой системой (стаж 5–8 лет), которая при диагностировании неисправности пользуется только своими знаниями;
- вторая группа состояла из специалистов, имеющих небольшой опыт работы (стаж 1–2 года), которая при диагностировании неисправности пользуется рассчитанной программой диагностирования;
- третья группа состояла из специалистов по другим системам РКН «Союз-2», не знакомых с СЭП БАСУ, которая при диагностировании неисправности так же пользуется рассчитанной программой диагностирования, как и вторая группа.

Результатом эксперимента стало сокращение времени поиска причины неисправности при применении разработанной методики в 1,5–2 раза во второй и третьей группе относительно первой.

Сокращение времени поиска неисправности во второй группе относительно третьей не такое большое -10%, это объясняется тем, что в третьей группе работали специалисты, не знакомые с СЭП БАСУ, и у них возникали сомнения при принятии решения о неисправности того или иного блока.

Таким образом, разработанную методику можно применить в системах поддержки принятия решения.

Библиографические ссылки

- 1. Бородавкин В. А., Нестечук Н. Н. Задача повышения оперативности определения нештатных ситуаций на активном участке траектории полета ракеты космического назначения // Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения: сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. СПб., 2013
- 2. Дмитриев А. К., Юсупов Р. М. Идентификация и техническая диагностика: учебник для вузов. Л.: МО СССР, 1987. 521 с.
- 3. Щербаков С. В. Методика диагностирования сложных технических систем с применением нечеткомножественного подхода // Промышленные АСУ и контроллеры. 2008. № 11. С. 18.
- 4. Аверкин А. Н. [и др.]. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д. А. Поспелова. М. : Наука, 1986. 312 с.
- 5. Дмитриев А. К., Стрельников В. В. Алгоритм синтеза оптимальной поисковой системы по критерию Харкевича при многозначном представлении информационных признаков // Сборник алгоритмов и программ типовых задач. / под ред. И. А. Кудряшова; МО РФ. 2003. Вып. 21. С. 52.
- 6. Дмитриев А. К. Модели и методы анализа технического состояния бортовых систем: учеб. пособие. СПб.: ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 1999.
- 7. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.

References

- 1. Borodavkin V. A., Nestechuk N. N. [The task of expediting of the definition of abnormal situations at the boost phase of a flight launch vehicle]. Sb. trudov vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Teoreticheskiye i prikladnyye problemy razvitiya i sovershenstvovaniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya voyennogo naznacheniya" [Collection of works of All-Russian Scientific Conference "Theoretical and applied problems of development and improvement of the automated control systems military purpose"]. St. Petersburg, 2013. (In Russ.)
- 2. Dmitriev A. K., Jusupov R. M. *Identifikatsija i tehnicheskaja diagnostika. Uchebnik dlja vuzov* [Identification and technical diagnostics. Textbook for high schools]. Leningrad, MO SSSR Publ., 1987, 521 p.
- 3. Shcherbakov S. V. [Technique of diagnosing complex technical systems using fuzzy- set approach]. *Promyshlennyye ASU i kontrollery*. 2008, no. 11, p. 18. (In Russ.)
- 4. Averkin A. N., Batyrshin I. Z., Blishun A. F., Silov V. B., Tarasov V. B. *Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta.* [Fuzzy sets in management models and artificial intelligence]. Red. D. A. Pospelova. Moscow, Nauka Publ., 1986, 312 p.
- 5. Dmitriev A. K., Strel'nikov V. V. [Algorithm for the synthesis optimal search engine by Kharkevich with multivalued representation of information signs]. *Sbornik*

algoritmov i programm tipovykh zadach [Collection of algorithms and programs of common tasks]. 2003, Vol. 21, p. 52. (In Russ.)

6. Dmitriev A. K. Modeli i metody analiza tekhnicheskogo sostoyaniya bortovykh sistem. [Models and methods of analysis of the technical state of the

onboard systems]. St. Petersburg, VIKU im. A. F. Mozhayskogo Publ., 1999.

7. Kofman A. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv* [Introduction to the theory of fuzzy sets]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1982, 432 p.

© Нестечук Н. Н., 2014

УДК 629.78; 004.94

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА *

Л. Ф. Ноженкова, О. С. Исаева, Е. А. Грузенко

Институт вычислительного моделирования СО РАН Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/44 E-mail: expert@icm.krasn.ru

Рассматриваются архитектура, функциональные задачи и принципы построения программно-математической модели командно-измерительной системы космического аппарата. Назначение модели – поддержка конструирования бортовой аппаратуры.

Представлена имитационная модель бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата. Модель содержит инструменты графического представления всех этапов прохождения пакетов телекоманд и телеметрии.

Ключевые слова: программно-математическая модель, космический аппарат, командно-измерительная система, имитационное моделирование, пакеты телекоманд и телеметрии.

DESIGNING AND CONSTRUCTING OF THE PROGRAM-MATHEMATICAL MODEL FOR THE SPACECRAFT COMMAND AND MEASURING SYSTEM

L. F. Nozhenkova, O. S. Isaeva, E. A. Gruzenko

Institute of computational modelling SB RAS 50/44, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation E-mail: expert@icm.krasn.ru

The functional scheme, tasks and programming strategy for designing the program-mathematical model of the spacecraft command-measuring systems are considered. The model purpose is to support the space-system engineering and testing the onboard hardware by the information technologies and mathematical modeling. The functional tasks and principles of the model software are proposed. The model architecture is a software package that allows to simulate and to analyze the hardware structure and functions by using the information, simulation, graphical and analytical methods. The model contains the tools for the graphical representation of all stages of command and telemetry packets transmission. Simulation model allows reproducing the work of the real system, without the presence of onboard equipments of the command-and-measuring system. The program-mathematical model will be used in the designers work simplification. Also it will be used for executing the verification tests and in the training mode – to solve teaching and research tasks.

Keywords: program and mathematical model, spacecraft, command and measuring system, simulation modeling, telecommand and telemetry packets.

Создание высокотехнологичного производства современной бортовой аппаратуры космического аппарата в большой степени опирается на программноматематическое моделирование технических уст-

ройств. Использование программно-математической модели позволяет ускорить и значительно удешевить процессы конструирования бортовых комплексов [1].

Командно-измерительная система (КИС) предна-

^{*} Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (договор № 02.G25.31.0041).

значена для передачи телеметрической информации со спутника на Землю, приема телекоманд из центра управления полетами, обработки и передачи их бортовым системам космического аппарата, а также для измерения текущих навигационных параметров орбиты. Командно-измерительная система представляет собой сложный технический объект, основу которого составляют высокотехнологичные элементы и программное обеспечение. Проектирование командно-измерительной системы является дорогостоящим процессом, для ее изготовления и анализа функционирования требуются специальные инструменты [2], к числу которых относится и программно-математическое моделирование.

Программно-математическая модель (ПММ) создается как программный комплекс, позволяющий имитировать функционирование реальной аппаратуры командно-измерительной системы с помощью инструментов информационной, графической, имитационной и аналитической поддержки функциональных задач КИС. ПММ может быть использована в процессе работы конструктора над проектом бортовой аппаратуры, для проведения проверочных испытаний, а также в обучающем режиме – для решения учебно-исследовательских задач.

Назначение и функциональные блоки программно-математической модели. Программноматематическая модель (рис. 1) создается с целью повышения эффективности работы конструктораразработчика аппаратной части командно-измерительной системы за счет применения передовых информационных технологий и математического обеспечения для интеллектуальной поддержки [3] конструкторских задач. Назначение ПММ состоит в инструментальной поддержке функций конструктора бортовой аппаратуры при разработке и испытании командно-измерительных систем. Система должна обеспечивать имитацию архитектуры командноизмерительной системы и функционирования аппаратного обеспечения, анализ соответствия заданным техническим условиям.

Программно-математическая модель будет также обеспечивать поддержку испытаний бортовой аппаратуры командно-измерительной системы в сопряжении с контрольно-проверочной аппаратурой. Имитационное моделирование функционирования бортовой аппаратуры и визуализация процесса испытаний командно-измерительной системы будут использоваться для оценки новых технических решений и организации наглядного обучения. Программное обеспечение будет использоваться в учебном процессе при практической подготовке студентов и персонала эксплуатирующей организации для изучения принципов и особенностей работы командно-измерительной системы в условиях, максимально приближенных к реальным.

Подсистема имитационного моделирования имитирует все этапы функционирования элементов командно-измерительной системы при прохождении пакетов команд и телеметрии, процессы проведения испытаний, реакции подсистем и изменения наблюдаемых параметров. Информационная поддержка имита-

ционного моделирования осуществляется с применением баз данных, представляющих всю необходимую информацию для разных режимов работы модели: база команд центра управления полетами, база данных, описывающих аппаратуру командно-измерительной системы, допустимые пределы изменения параметров и др. Интеллектуальная поддержка функционирования модели осуществляется с применением базы знаний, описывающей правила поведения элементов КИС в разных ситуациях, что позволяет организовать работу модели как в автоматическом, так и в интерактивном пошаговом режиме. Визуальная часть программно-математической модели представляет структурную схему командно-измерительной системы. Средства графической визуализации позволяют динамически отображать состояние элементов модели в наглядной форме.

Система поддержки проведения испытаний включает в себя ряд функциональных подсистем, в том числе подсистему обеспечения функций взаимодействия с контрольно-проверочной аппаратурой. Подсистема подготовки сценариев позволяет создавать сценарии испытаний на основе заданного набора команд и входных параметров испытаний. Библиотеки программ связи с объектами представляют собой программное обеспечение для управления и передачи задач на аппаратные устройства. Развитые средства визуализации параметров обеспечивают оперативный мониторинг испытаний в реальном времени. Подсистема ведения архива испытаний предназначена для архивирования результатов испытаний в хранилище данных и поддержки последующего анализа. Подсистема подготовки отчетов позволяет формировать отчеты на основе исходных данных, сценариев работы, наборов команд, наблюдаемых параметров.

Система поддержки работы конструктора представляет собой не отдельное приложение, а набор режимов работы с программно-математической моделью, позволяющих решать разнообразные задачи. Система обеспечивает автоматизированную поддержку работы конструктора КИС над проектом бортовой аппаратуры. За счет применения имитационной модели обеспечивается анализ соответствия архитектуры КИС и функционирования аппаратного обеспечения заданным техническим условиям. С помощью ПММ конструктор может организовать проверочные испытания бортовой аппаратуры КИС в сопряжении с контрольно-проверочной аппаратурой.

Учебно-исследовательская система — это комплексная программная подсистема в структуре программно-математической модели, предназначенная для интерактивного обучения и приобретения знаний, навыков работы инженерно-техническим персоналом и студентами в объеме, необходимом для проектирования и тестирования составных частей комплекса бортовой аппаратуры командно-измерительной системы. В состав учебно-исследовательской системы входят следующие основные подсистемы: информационно-справочная подсистема, имитационный тренажер, виртуальная лаборатория, планировщик обучения, подсистема контроля знаний. Программно-

математическая модель будет использоваться в учебном процессе при практической подготовке студентов и персонала эксплуатирующей организации путем изучения принципов и особенностей работы бортовой аппаратуры командно-измерительной системы в условиях, максимально приближенных к реальным.

Подсистема доступа и управления представляет собой комплекс сервисных подсистем, обеспечивающих взаимодействие основных функциональных блоков системы, доступ к информационному обеспечению, а также вспомогательные сервисные функции, такие как пополнение и коррекция баз данных и знаний, разделение доступа и др.

Имитационное моделирование командно-измерительной системы. В основу программно-математической модели положены принципы имитационного моделирования, позволяющие прогнозировать поведение командно-измерительной системы как сложного технического объекта. Имитационное моделирование опирается на информационно-графическое представление реальной структуры командно-измерительной системы. Структура представляется как набор интегральных свойств и характеристик элементов, а поведение — как процессы перехода между состояниями системы. Модель имитирует внутрисистемные процессы информационного обмена, а также механизмы внешнего взаимодействия. К модели предъявляются требования наглядности и компактности.

В настоящее время разработана первая очередь программно-математической модели, которая обеспечивает имитацию архитектуры и аппаратного обеспечения командно-измерительной системы. Моделируется работа бортовой аппаратуры, включая основные блоки — приемник, передатчик, интерфейсный модуль командно-измерительной системы (МИ КИС). Для полнофункционального моделирования работы бортовой аппаратуры командно-измерительной системы, кроме основных блоков, моделируются функции бор-

та космического аппарата и центра управления полетами (ЦУП). Графическая визуализация имитационной модели представлена на рис. 2.

Особенностью моделируемой командно-измерительной системы является организация связи с наземным комплексом управления в соответствии со стандартами европейского космического агентства. Взаимодействие с космическим аппаратом осуществляется с помощью двух типов данных: телекоманд и телеметрии. Телекоманды передаются из центра управления полетами на борт, а телеметрия представляет собой поток данных, передаваемый с борта космического аппарата на Землю. Передача телекоманд основана на стандарте ESAPSS-04-107 [4], а передача телеметрии — на стандарте ESAPSS-04-106 [5]. Стандарты обеспечивают надежность и достоверность информации и регламентируют состав и способ передачи данных [6].

Программно-математическая модель выполняет имитацию функционирования борта космического аппарата, в состав которого входят: бортовой цифровой вычислительный комплекс (БЦВК), бортовой комплекс управления (БКУ), бортовая аппаратура телесигнализации (БАТС). Интерфейсный модуль командноизмерительной системы непрерывно, с заданной периодичностью отправляет запрос бортовой аппаратуре телесигнализации для получения телеметрической информации. Бортовая аппаратура телесигнализации обрабатывает запрос и возвращает в интерфейсный модуль пакет, содержащий телеметрию борта. На основании полученной телеметрической информации от бортовой аппаратуры телесигнализации и от командноизмерительной системы интерфейсный модуль формирует телеметрический пакет в соответствии со стандартом ESAPSS-04-106 и отправляет его передатчику (ПРД). Передатчик, в свою очередь, передает пакет в наземный комплекс управления.



Рис. 1. Основные функциональные блоки ПММ

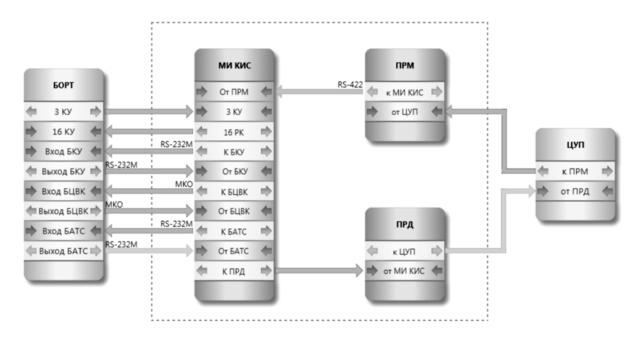


Рис. 2. Графическая модель: отображение прохождения сигнала

Модель наземного комплекса управления имитирует основные функции центра управления полетами: прием пакетов телеметрической информации; формирование и передачу пакетов радиокоманд в соответствии со стандартом PSS-04-107. Приемник (ПРМ) принимает пакеты радиокоманд и передает их в интерфейсный модуль командно-измерительной системы, который, в свою очередь, обрабатывает команды и в зависимости от назначения каждой из них вырабатывает соответствующую реакцию.

Блоки программно-математической модели имеют набор настроек, который можно изменять в процессе имитации функционирования бортовой аппаратуры командно-измерительной системы. При помощи настроек можно моделировать различные конфигурации бортовой аппаратуры командно-измерительной системы, а также имитировать нештатные ситуации и режимы работы. Помимо конфигурации самих блоков можно задавать конфигурацию протоколов передачи данных.

Программное обеспечение модели формирует протоколы приема и обработки пакетов данных и работы функциональных блоков. Протокол работы блоков содержит настраиваемые в процессе работы параметры приема, передачи сигналов, времени ожидания ответа и квитанции (рис. 3).

Отличительной особенностью различных экземпляров бортовой аппаратуры командно-измерительной системы является набор выполняемых команд, который зависит от назначения космического аппарата. Программное обеспечение модели имеет весь необходимый функционал для создания и актуализации базы команд в различных вариантах реализации бортовой аппаратуры командно-измерительной системы. Последовательность команд, которая должна обрабатываться в процессе имитационного моделирования, задается в специальном интерфейсе. Этапы прохож-

дения и обработки команд отображаются в блоке настроек модели центра управления полетами. Команда имеет статусы «ожидает отправки», «отправлена» и «квитирована», изменение которых определяет текущее состояние работы модели с командой.

Разработанное программное обеспечение программно-математической модели бортовой аппаратуры командно-измерительной системы обладает широкими средствами для настройки графического пользовательского интерфейса. Пользователь может настроить видимость, размер и расположение окон, способы отображения главного меню и панели быстрого доступа.

Взаимодействуя с системой через графический интерфейс, пользователь может сконфигурировать имитационную модель бортовой аппаратуры командно-измерительной системы, а также настроить протоколы связи, которые будут моделировать прохождение сигнала. В процессе симуляции можно изменять настройки блоков и моделировать нештатные ситуации, например, изменять время генерации телеметрии, отключать блоки, отвечающие за передачу телеметрии от борта, отключать квитирование команд и т. п.

Модель имитирует и визуализирует процесс передачи пакетов данных по каналам связи между блоками. В графическом представлении каждая передача данных сопровождается анимацией соответствующей связи.

По каждому блоку ведется протокол, в котором отображаются события, связанные с этим блоком. Протокол работы блока визуализируется в виде таблицы, которая обладает функциями фильтрации и группировки событий. Протоколы работы имитационной модели позволяют в наглядном виде анализировать особенности функционирования как отдельных блоков, так и командно-измерительной системы в целом.

Поддержка процессов подготовки и проведения испытаний. Проектирование функций организации и

поддержки проверочных испытаний командноизмерительной системы выполнено на основе анализа информационных потоков при взаимодействии программного обеспечения с оборудованием контрольнопроверочной аппаратуры (рис. 4).

Для решения задачи информационно-графической поддержки проведения испытаний программное обеспечение реализует функции связи и работы с аппаратными средствами, входящими в состав контрольнопроверочной аппаратуры. К такому оборудованию относятся измерительные приборы, блоки источников питания, приборы, позволяющие проводить кодирование/декодирование, модуляцию/демодуляцию и усиление высокочастотных сигналов, имитаторы интерфейсных связей и другие аппаратные средства. Для оборудованием управления контрольнопроверочной аппаратуры программно-математическая модель дополняется функциями связи с устройствами.

Система должна позволить проводить испытания как в ручном, так и в автоматическом режимах. При ручном режиме проведения испытаний необходима поддержка интерактивного взаимодействия с пользователем. Требуются специализированные средства создания сценариев испытаний, возможность задавать виды испытаний, наблюдаемые устройства, измеряемые параметры, критерии проверки, способы отображения измеряемых показателей и т. п. Средства гра-

фической визуализации и информационное обеспечение должно обеспечивать возможность проведения испытаний в автоматическом режиме вплоть до полной функциональной проверки бортовой аппаратуры командно-измерительной системы. Все испытания должны сопровождаться функциями визуализации в режиме реального времени и анализом результатов после окончания испытаний.

Все процессы функционирования должны сопровождаться формированием отчетов, документированием, протоколированием испытаний, их результатов и дополнительных параметров оборудования.

Исследование потоков данных для задач поддержки, анализа, контроля и имитационного моделирования функций бортовой аппаратуры командно-измерительной системы позволило выделить основные функциональные задачи и выполнить проектирование подсистем программно-математической модели. В настоящее время система поддержки испытаний находится в стадии разработки.

Предложенный подход, заключающийся в комплексной инструментальной поддержке процессов конструирования и испытания бортовой аппаратуры, позволил выполнить проектирование программноматематической модели командно-измерительной системы и определить функциональные требования к подсистемам.

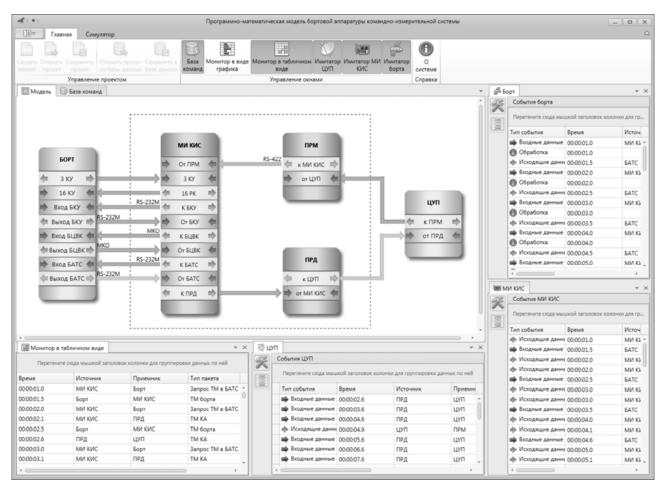


Рис. 3. Функционирование модели: визуализация имитационного моделирования

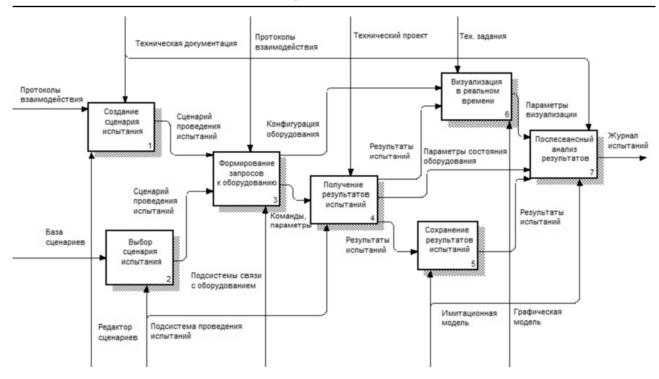


Рис. 4. Функциональная диаграмма для задачи проведения испытаний

Разработанная имитационная модель командноизмерительной системы позволила выполнять информационно-графическое моделирование поведения командно-измерительной системы. Алгоритмы взаимодействия элементов имитационной модели позволяют моделировать прохождение и анализ телекоманд, обработку запросов телеметрии.

Выполнено проектирование основных подсистем, предназначенных для обеспечения функционирования имитационной модели, организации исследовательской среды и вспомогательных сервисных функций. Ведутся работы по созданию программного обеспечения контрольно-проверочной аппаратуры и учебно-исследовательской системы. Система информационно-графической поддержки проведения испытаний обеспечит взаимодействие с аппаратными средствами командно-программной аппаратуры. Учебно-исследовательская система позволит организовать обучение специалистов и операторов за счет использования программно-математической модели командно-измерительной системы в качестве тренажера и виртуальной лаборатории.

Библиографические ссылки

- 1. Бровкин А. Г., Бурдыгов Б. Г., Гордийко С. В. Бортовые системы управления космическими аппаратами. М.: МАИ-ПРИНТ. 2010. 304 с.
- 2. Разработка командно-измерительной системы для перспективных КА на базе платформы «Экспресс-4000»: метод. указания. Железногорск, 2012.
- 3. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2001. 384 с.
- 4. Packet Telecommand Standard (ESA PSS-04-107). Iss. 2. European space agency (ESA). 1992. 166 p.

- 5. Packet Telemetry Standard (ESA PSS-04-106). Iss. 1. European space agency (ESA), 1988, 73 p.
- 6. Вогоровский Р. В., Грузенко Е. А., Колдырев А. Ю. Моделирование протоколов передачи телекоманд и телеметрии // Проблемы информатизации региона : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск : ИВМ СО РАН. 2013. С. 37–42.

References

- 1. Borovkin A. G, Burdigov B. G., Gordiiko S. V. *Bortovie sistemy upravleniya kosmicheskimi apparatami* [Onboard control systems of spacecrafts]. Moscow, MAI-PRINT Publ., 2010, 304 p.
- 2. Razrabotka komandno-izmeritelynoi sistemi dlya perspectivnikh KA na baze platformy «Express-4000» [Development of command-measuring system for perspective KA on the basis of the «Express-4000» platform]. Zheleznogorsk, 2012.
- 3. Gavrilova T. A., Xoroshevskiy V. F. *Basi znaniy intellectualnih sistem* [Knowledge of bases of the intellectual systems]. Saint Petersburg, Peter Publ., 2001, 384 p.
- 4. Packet Telecommand Standard (ESA PSS-04-107). Issue 2, European space agency (ESA). 1992, 166 p.
- 5. Packet Telemetry Standard (ESA PSS-04-106). Issue 1, European space agency (ESA), 1988, 73 p.
- 6. Vogorovskiy R. V., Gruzenko E. A., Koldirev A. Yu. [Modeling protocols of telecommand and telemetry]. *Materialy XIII Vserossiyskoy konferencii "Problemy informatozatsii regiona"* [Proceedings of XIII All-Russian scientific-practical conference "Problems of Informatization of the region"]. Krasnoyarsk, ICM SB RAS Publ., 2013, p. 37–42. (In Russ.)

© Ноженкова Л. Ф., Исаева О. С., Грузенко Е. А., 2014

УДК 62-523.2

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ РЕАКТОРА «МОКРОГО» СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ*

С. В. Трифонов^{1, 2}, Ю. А. Куденко², А. А. Тихомиров^{1, 2}, А. В. Мурыгин¹

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
²Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/50

E-mail: trifonov sergei@inbox.ru

Описан принцип и методика работы реактора «мокрого» сжигания отходов человека как предполагаемого звена физико-химической переработки органических отходов замкнутой системы жизнеобеспечения. Изучена динамика и выполнен анализ параметров процесса минерализации отходов человека. В качестве показателя, характеризующего динамику реакции и позволяющего на его основе осуществить автоматический контроль процесса, было выбрано давление газа в реакторе. Описана сконструированная система автоматического управления процессом минерализации на основе показаний давления. Проведены опыты, доказывающие, что данная система может самостоятельно осуществить минерализацию отходов по заданному режиму вплоть до окончания реакции и завершить работу реактора.

Ключевые слова: системы жизнеобеспечения, автоматизация, органические отходы, «мокрое» сжигание.

DUTY AUTOMATIZATION OF HUMAN VITAL ACTIVITY WASTE «WET» INCINERATION REACTOR FOR CLOSED LIFE SUPPORT SYSTEMS

S. V. Trifonov^{1, 2}, Yu. A. Kudenko², A. A. Tikhomirov^{1, 2}, A. V. Murygin¹

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation Institute of Biophysics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences 50/50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation E-mail: trifonov sergei@inbox.ru

The principle of operation and working procedure of the reactor for "wet" incineration of human wastes as a possible link of physicochemical processing in a closed life support system have been described. The dynamic has been investigated and the analysis of human waste mineralization process has been carried out. The gas pressure in the reactor has been chosen as an indicator characterizing the dynamic of the reaction and allowing on its basis to provide automatic control of the process that appear from the analysis. Mineralization process of automatic control system based on pressure registration has been presented. The experiments proving that this system can independently realize waste mineralization, allows conducting the reaction in predetermined regime till its end and able to complete work of reactor have been conducted. The experiments proving that this system can independently accomplish waste mineralization in predetermined regime till its end and able to complete work of reactor have been conducted.

Keywords: life support systems, automatization, organic wastes, "wet" incineration.

Для выполнения исследований дальнего космоса, включающих миссии с непосредственным участием человека, необходимо создание замкнутых систем жизнеобеспечения (СЖО). Пилотируемые полеты продолжительностью более года требуют высокой степени замыкания СЖО и установления в ней круговоротных массообменных процессов: все необходимые продукты для жизнедеятельности человека (вода, кислород, пища) должны быть восстановлены в конечном итоге из отходов жизнедеятельности челове-

ка. Наиболее перспективными представляются системы, сочетающие в себе как биологические, так и физико-химические методы регенерации среды. При этом роль регенерации кислорода, растительной пищи и воды ложится на растительное звено, а переработка отходов в минеральные удобрения для растений может быть выполнена как биологическими методами — переработка растительных отходов в почвоподобном субстрате [1–3], так и физико-химическими — переработка экзометаболитов человека [4; 5].

 $^{^*}$ Работа выполнена в рамках Госзадания по теме № 56.1.4; раздел VI, подраздел 56 Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013—2020 гг.

В Институте биофизики СО РАН был разработан оригинальный метод физико-химической утилизации отходов человека в водном растворе перекиси водорода под действием переменного электрического тока в реакторе «мокрого» сжигания [4]. Образующиеся таким образом продукты - минерализованный раствор и газ - не оказывают токсичного воздействия на растительное звено [6]. Управление реактором требует участия оператора, что представляет собой проблему, так как отвлекает на себя часть рабочего времени экипажа, которое могло бы быть использовано для выполнения задач миссии. В связи с этим была поставлена цель и задачи настоящей работы - разработать принцип реализации автоматической системы управления и провести испытания созданной таким образом системы.

Устройство реактора «мокрого» сжигания. Принципиальная схема функционирования реактора подробно описана в [7]. Это корпус реактора, выполненный из керамики или стекла, в котором находится водный раствор Н₂О₂ (33 %) В раствор помещаются измельченные отходы. Внутри реактора имеются угольные электроды, к которым подводится переменное напряжение, в верхней части сосуда помещен вертикальный обратный холодильник для возвращения в объем водного конденсата и пеногаситель для сбивания образующейся пены (рис. 1). Контроль параметров процесса минерализации обеспечивается с помощью датчиков давления газа в реакторе и температуры раствора, а также амперметра и вольтметра. Управление ходом процесса осуществляется с помощью изменения напряжения, подаваемого на электроды. Опытным путем было установлено, что для успешного протекания реакции необходимо изначально подавать напряжение 100 В, ускоряя процесс, а затем снижать его до 50 В, поддерживая нормальный ход реакции, и держать на данном уровне вплоть до окончания процесса. В качестве минерализуемых отходов использовали экзометаболиты человека, смешанные с H_2O_2 (33 %): 0,5 мл H_2O_2 (33 %) на 1 мл урины и 4 мл Н₂О₂ (33 %) на 1 г плотных отходов; соотношение плотных и жидких отходов – 1 г:10 мл. Общий объем емкости реактора составляет 12 л, объем заливаемой смеси перекиси и отходов - 6 л.

Динамика параметров процесса и разработка принципов автоматизации. Динамика параметров процесса минерализации отображена на рис. 2 и 3. Как видно из рис. 2, температура раствора в процессе ускорения реакции плавно поднимается до 100 °С и держится на этом уровне до конца. Сила тока также увеличивается до некоторого значения при разгоне процесса, ступенчато падает при переключении напряжения до 50 В и далее практически не меняется с небольшим увеличением при полном выходе газа из раствора в конце реакции. Данные показатели не имеют каких-либо характерных признаков, опираясь на которые можно было бы отработать принципы автоматического управления.

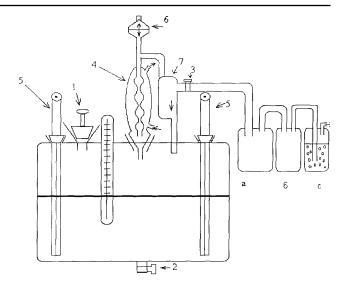


Рис. 1. Принципиальная схема реактора «мокрого» сжигания: 1 – крышка для залива перекиси и отходов; 2 – сливной клапан; 3 – вентиль; 4 – обратный холодильник; 5 – электроды; 6 – мембрана сбивания пены; 7 – емкость для сброса излишков пены; а, б – сосуды, предохраняющие от смешивания раствор из реактора и кислоту из сосуда сбора аммиака; с – сосуд фиксации аммиака с 6%-ной азотной кислотой

Наиболее четко ход процесса отображает динамика величины давления газа (рис. 3), выделяющегося в ходе окисления органических отходов. Видно, что спустя некоторое время после начала процесса давление начинает лавинообразно расти и необходимо снижать напряжение, чтобы избежать прорыва пены из реактора. Далее давление вновь начинает лавинообразно расти, достигает некоторого максимума, а затем снижается до атмосферного или ниже при полном выходе газа (значение 0...-20 мм вод. ст. на графике) - это и есть момент окончания реакции. Такой вид динамики давления связан с тем, что окисление органических соединений в перекиси водорода протекает по радикально-цепному механизму. Таким образом, контролировать работу реактора было решено, ориентируясь на показания датчика давления. Давление в 200 мм водного столба является критичным для хода реакции, при данном значении необходимо понижать напряжение до 50 В и включать пеногаситель, что и делали при ручном управлении процессом. В случае переключения напряжения со 100 на 50 В при давлении выше 200 мм вод. ст., наблюдается бурный ход реакции с чрезмерным выбросом газа, при котором необходимо выключать напряжение и экстренно сливать раствор из реактора. Переключение со 100 на 50 В при давлении 80 мм вод. ст. давало устойчивый ход процесса, это значение и было выбрано как рабочее для автоматического переключения напряжения, а -20 мм вод. ст. - как сигнал завершения реакции и отключения реактора. Общее время процесса при устойчивом режиме составляло 1,5 ч, а при критичном давлении – 75 мин.

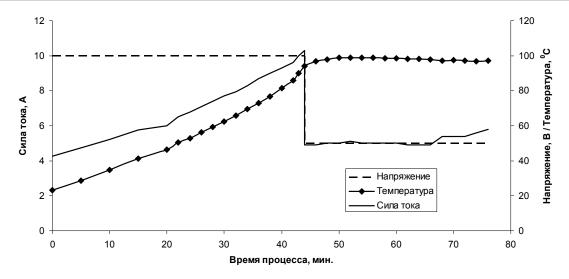


Рис. 2. Динамика температуры раствора, силы тока и напряжения

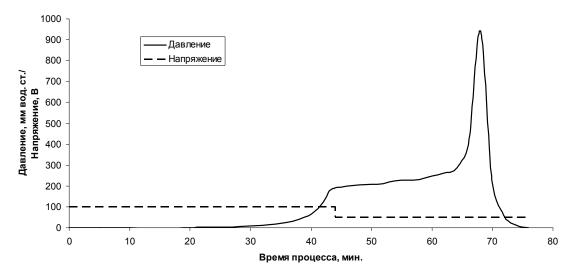


Рис. 3. Динамика давления газа в реакторе (превышение над атмосферным) и напряжения

Устройство системы автоматического управления и ее работа. Создание системы автоматики для управления процессом окисления в реакторе соответствует схеме по типу «одной кнопки». В основе схемы управления процессом по сигналу датчика давления лежит схема преобразователя сигнала от величины давления в сигналы включения соответствующих реле, предназначенных для ведения технологического процесса.

Система автоматики состоит из силового блока (трансформаторы № 1 и 2), блока управления и блока измерения давления.

Силовой блок состоит из трансформаторов ТПП-245, установленных на заранее заданное напряжение. В случае работы установки в режиме окисления экзометаболитов человека трансформатор № 1 установлен на 100 В, трансформатор № 2 — на 50 В. Плата питания преобразователя сигнала выдает напряжение для питания реле преобразователя, схемы управления и датчика давления ИКЗ6ТДф. Измерение температуры в реакторе осуществляется датчиком температуры ИС 567 (с характеристикой 100 Ω при 20 °C), поме-

щенным в кварцевый корпус и находящимся в реакторе, и преобразователем сигнала TPM 210, выводящим данные о температуре оператору.

Трансформаторы включают коммутирующие пускатели на 40 А. Электрические элементы помещены в экранирующий кожух, заземлены и отвечают всем требованиям электробезопасности.

Работа системы автоматики:

- 1. При нажатии кнопки инициации процесса происходит общее включение питания системы: трансформатора № 1, преобразователя сигнала, блока измерения давления, пускателя пеногасителя.
- 2. По сигналу датчика давления, соответствующего величине 80 мм вод. ст., реле выключает трансформатор № 1 и включает трансформатор № 2 и пеногаситель. Это основная часть процесса.
- 3. По сигналу датчика давления (-20 мм вод. ст.) происходит общее отключение питания системы. Процесс автоматически завершается.
- 4. Слив продуктов реакции может быть произведен спустя любое время после окончания процесса.

Важно, что время не является параметром процесса, и присутствие оператора не нужно для завершения процесса. Динамика хода реакции при автоматическом управлении представлена на рис. 4. Видно ступенчатое изменение давления: первая ступень соответствует переключению напряжения со 100 до 50 В, а вторая – уменьшению скорости роста давления из-за открывшегося водного замка и последующего стравливания давления. Газовый путь реактора выходит в раствор НОО3 (6 %) для фиксации аммиака, выделяющегося с газом из минерализуемого раствора, и опущен на некоторую глубину в кислотный раствор, создавая таким образом водный замок. Далее происходит лавинообразное нарастание давления с достижением некоторого максимума и резкое снижение до отрицательной величины. Достижение отрицательного давления связано с окончанием выхода газа из раствора и охлаждением газовой среды реактора обратным холодильником.

Минерализованный раствор, получаемый при автоматическом ходе процесса, не отличается по химическим показателям от раствора, получаемого в ходе ручного управления (см. таблицу), и может быть использован для выращивания культурных растений в замкнутых системах жизнеобеспечения. Отличие в содержании азота связано с более интенсивным газовыделением при ручном управлении (см. рис. 2), что привело к большему выносу аммиака из раствора и, как следствие, снижению содержания азота в растворе. Отличие в содержании основных элементов, таких как K, Na, P и S, достоверно не обнаружено. То есть степень выпадения этих элементов в осадок не увеличилась, а значит, доступность для растений при гидропонном выращивании сохраняется. Степень окисления растворов сравнивали по значению химического поглощения кислорода (ХПК), эта величина также достоверно не различалась.

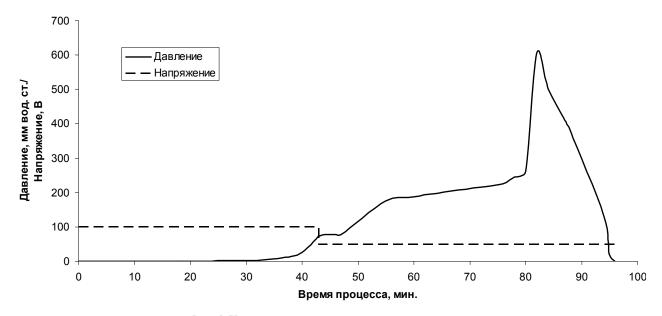


Рис. 4. Ход процесса при автоматическом управлении

Элементарный состав раствора минерализованных экзометаболитов человека во вновь созданном реакторе (относительная погрешность определения – 10 %)

	Азот, мг/л		K,	Na,	P,	S,	ХПК,
Управление	По Кьельдалю	NH_{4+}	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
Ручное	4813,3	883,3	1100	2300	156,2	469,3	1998
Автоматическое	6800	1400	1300	2000	173,2	478,5	2220

Созданная система автоматического управления позволяет минерализовать органические отходы с минимальным участием человека, при этом сохраняя эффективность метода в смысле глубины окисления и доступности основных элементов для растений. Система работает, основываясь на значении величины давления, являющейся критическим показателем процесса, что означает ее способность провести реакцию до конца в стабильном режиме, снижая вероятность аварийной ситуации.

Библиографические ссылки

- 1. Manukovsky N. S., Kovalev V. S., Rygalov V. Ye., Zolotukhin I. G. Waste bioregeneration in life support CES: development of soil organic substrate // Advances In Space Research. 1997. Vol. 10. P. 1827–1832.
- 2. Wenting H., Yidong X., Hong L. A technique for preparing soil-like substrate for bioregenerative life support system // 17th IAA Humans in Space Symposium. 2009. P. 53.

- 3. Tikhomirov A. A. [et al]. Use of Human Wastes Oxidized to Different Degrees in Cultivation of Higher Plants on the Soil-Like Substrate Intended for Closed Ecosystems // Advances In Space Research. 2010. Vol. 46. P. 744–750.
- 4. Пат. 2111939 Российская Федерация. Способ утилизации отходов жизнедеятельности человека и несъедобной биомассы растений, приводящий к получению из них удобрений / Куденко Ю. А., Павленко Р. А. № 96114242/13, Бюл. № 15. 4 с.
- 5. Tsuga S. [et al]. Research and development of the waste processing system in the closed ecology experiment facilities // Application of a Closed Experimental System Modeling of ¹⁴C Transfer in the Environment / Institute for Inveronmental Sciences. Japan, 2007. P. 119–126.
- 6. Tikhomirov A., Kudenko Yu., Trifonov S., Ushakova S. Assessing the feasibility of involving gaseous products resulting from physicochemical oxidation of human liquid and solid wastes in the cycling of a biotechnical life support system // Advances in Space Research. 2012. Vol. 49. P. 249–253.
- 7. Tikhomirov A. [et al]. Research in the Bios-3 Closed Controlled Experiment Facility of the Institute of Biophysics of the Siberian Branch of Russian Academy of Science // Application of a Closed Experemental System to Modeling of ¹⁴C Transfer in the Environment / Institute for Environmental Sciences. Japan, 2007. P. 155–162.

References

1. Manukovsky N. S., Kovalev V. S., Rygalov V. Ye., Zolotukhin I.G. Waste bioregeneration in life support CES: development of soil organic substrate. *Advances In Space Research.* 1997, vol. 10, p. 1827–1832.

- 2. Wenting H., Yidong X., Hong L. A technique for preparing soil-like substrate for bioregenerative life support system. *17th IAA Humans in Space Symposium*. 2009, p. 53.
- 3. Tikhomirov A. A., Kudenko Yu. A., Ushakova S. A. et al. Use of Human Wastes Oxidized to Different Degrees in Cultivation of Higher Plants on the Soil-Like Substrate Intended for Closed Ecosystems. *Advances In Space Research*. 2010, vol. 46, p. 744–750.
- 4. Kudenko Ju. A., Pavlenko R. A. *Sposob utilizatsii otkhodov zhiznedejatel'nosti cheloveka i nesjedobnoj biomassy rastenij, privodjashhij k polucheniju iz nih udobrenij* [Way of utilization of human wastes and inedible plant biomass, gaining hydroponic fertilizer]. Patent RF2111939, no. 96114242/13; Bjul. № 15, 4 p.
- 5. Tsuga S., Tako Y., Endo M., Nishidate K., Fukuda S. Research and development of the waste processing system in the closed ecology experiment facilities. *Application of a Closed Experimental System Modeling of* ¹⁴C *Transfer in the Environment.* Japan, IES, 2007, p. 119 126.
- 6. Tikhomirov A., Kudenko Yu., Trifonov S., Ushakova S. Assessing the feasibility of involving gaseous products resulting from physicochemical oxidation of human liquid and solid wastes in the cycling of a biotechnical life support system. *Advances in Space Research*. 2012, vol. 49, p. 249–253.
- 7. Tikhomirov A., Degermendzhi A., Ushakova S., et al. Research in the Bios-3 Closed Controlled Experiment Facility of the Institute of Biophysics of the Siberian Branch of Russian Academy of Science. *Application of a Closed Experimental System Modeling of ¹⁴C Transfer in the Environment.* Japan, IES, 2007, p. 155–162.

© Трифонов С. В., Куденко Ю. А., Тихомиров А. А., Мурыгин А. В., 2014



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS



УДК 693.22

ФИЛЬТРАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

 Γ . Γ . Крушенко¹, M. A. Воеводина²

Применяемые в аэрокосмическом машиностроении алюминиевые сплавы делятся на два класса: литейные, из которых изготовляют детали сложной объемной геометрии типа корпусов авиационных пориневых двигателей и турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей, и деформируемые, из которых отливают слитки, а впоследствии прокаткой получают листы, из которых сваркой изготовляют топливные баки, а также прессованием и штамповкой — шпангоуты, стрингеры, лонжероны и силовые каркасы. При приготовлении сплавов обеих групп применяются по существу одинаковые технологии, сводящиеся к двум основным — дегазация (удаление водорода) и модифицирование (измельчение структуры). Однако при этом зачастую в расплаве остаются продукты взаимодействия рафинирующих и модифицирущих средств с жидким металлом, что ухудшает качество литых изделий. Приведены результаты исследований по очистке металлических расплавов от этих продуктов путем фильтрования как при литье слитков полунепрерывным способом, так и при литье деталей.

Ключевые слова: аэрокосмическое машиностроение, алюминиевые сплавы, фильтрование, качество литых изделий.

THE FILTRATION OF ALUMINUM ALLOYS USED IN CONSTRUCTIONS OF AIRCRAFTS

G. G. Krushenko¹, M. A. Voevodina²

¹ Institute Computational Modeling Siberia Branch Russian Academy of Science 50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation E-mail: genry@icm.krasn.ru
 ² Khakasski Technical Institute – branch of Siberia Federal University 27, Chetinkin str., Abakan, 655017, Khakass Republic E-mail: v.m.a@list.ru

Aluminum alloys used in aerospacemachine-building are divided into two classes – casting, which the components of complicated geometry (eg. frame cases of aviation free-piston engines and turbo-pump assemblies of liquid-propellant rocket engines) are made from, and deformable, which the ingots are casted of, afterwards the plates are made by rolling for fuel tanks made by welding and also frames, stringers, longerons, power frames made by pressing. By preparation the alloys of both groups, in essence, the identical technologies reduced to two main – degassing (moving hydrogen off) and modification (decomposition of structure) are used. However, the products of interaction between fining and modifying substances and fluid metal often remain in liquid. And it makes the quality of molded articles worse. The results of investigations for the refinement of metallic liquids from these products by filtration during ingots casting by semicontinuos method and so during details casting are demonstrated in this work.

Keywords: aerospacemachine-building, aluminium alloys, filtration, quality molded articles.

Алюминиевые сплавы широко применяются в машиностроении, в том числе и при изготовлении конструкций аэрокосмических летательных аппаратов (ЛА) [1–3], главным образом, в связи с тем, что они обладают высокой удельной прочностью (отношение временного сопротивления разрушению к плотности

металла — $\sigma_{\text{в}}/\rho$), которая показывает, насколько прочной в эксплуатации будет конструкция при ее массе. По этому показателю высокопрочные алюминиевые сплавы [4] превосходят чугун, низкоуглеродистые и низколегированные стали и уступают лишь высоколегированным сталям повышенной прочности, а также

сплавам титана. Кроме того, алюминиевые сплавы обладают высокой стойкостью против коррозии, а также высокими технологическими характеристиками — низкой температурой плавления, хорошей деформируемостью и обрабатываемостью резанием и др. [5].

Для работы узлов в реальных условиях эксплуатации в космосе необходима также стойкость материалов к воздействию факторов космического пространства: высокого вакуума, перепадов температур, радиации и пр. В настоящий момент этим требованиям максимально отвечают алюминиевые деформируемые сплавы, которые и используются наиболее активно. Наглядные примеры — материалы конструкции планеров отечественного орбитального корабля «Буран» и американского космического корабля Space Shuttle (см. http://www.buran.ru/htm/inside.htm/).

Наличие таких положительных характеристик и объясняет тот факт, что в современных ЛА доля алюминиевых сплавов составляет от 2/3 до 3/4 сухого веса пассажирского самолета и от 1/20 до 1/2 сухого веса ракеты (см. http://www.aluminiumleader.com/around/transport/aircraft).

Применяемые в аэрокосмическом машиностроении алюминиевые сплавы делятся на два класса: литейные, из которых изготовляют детали типа корпусов двигателей летательных аппаратов, и деформируемые, из которых прокаткой изготовляют листы, которые применяется для изготовления корпусов и топливных баков, а также прессованием и штамповкой – шпангоутов, стрингеров, лонжеронов и силовых каркасов ЛА. Таким образом, в основе и деформационных, и литейных технологий лежат литейные технологии как приготовления сплавов, так и получения из них литейной продукции [6]. Поэтому при приготовлении обеих групп сплавов применяются по сути одинаковые технологии, сводящиеся к двум основным - рафинирование, при котором из расплава удаляется водород (дегазация) [7; 8] и частично неметаллические включения [9], и модифицирование (измельчение структуры) различными средствами [10-13].

Однако при этом зачастую в расплаве остаются продукты взаимодействия рафинирующих и модифицирущих средств с жидким металлом, что ухудшает физико-механические характеристики литых изделий. В связи с этим еще в 60-е годы прошлого столетия были проведены исследования по очистке металлических расплавов от этих продуктов [14; 15]. Эффективность этой технологии оказалась настолько высокой, что работы в этом направлении были продолжены впоследствии [16; 17] и проводятся в настоящее время [18].

Фильтрование алюминиевых расплавов при литье слитков полунепрерывным способом. Фильтрование алюминиевых расплавов рассмотрено на примере литья слитков Ø 300 мм полунепрерывным способом из деформируемого алюминиевомагниевого сплава АМг6. При этом в качестве исходной шихты использовался электролизный алюминий, который после перелива в миксер путем легирования доводился до нужного состава. Температура литья слитков составляла 710...720 °C, скорость литья

(опускания слитка из кристаллизатора) – 70 мм/мин. При получении алюминия электролизным способом происходит его нагревание вплоть до 900°, что приводит к существенному уменьшению количества, а также к дезактивации присутствующих в расплаве центров кристаллизации и, как результат, к формированию в слитках крупнокристаллической структуры. В свою очередь, крупнокристаллическая структура является причиной низких механических свойств получаемой из слитков методами обработки давлением продукции. С целью повышения качества слитков сплав модифицировали нанопорошками (НП) нитрида бора BN, нитрида тантала ТаN и карбида кремния SiC, которые вводили в расплав в объеме прутков, предварительно уложенных в лоток. Расплав фильтровали в восходящем потоке по принятой на металлургическом заводе технологии через последовательно установленные сетки из стеклоткани ССФ-4 и СФФ-0,06. Отлитые слитки гомогенизировали, разрезали на заготовки длиной 550 мм, обтачивали их до Ø 280 мм и затем на прессе с усилием 3500 тс со скоростями 10,0, 12,5 и 15,0 мм/с прессовали прутки диаметром 35 мм, из выходного, среднего и утяжного сечений которых вырезали образцы для испытания механических свойств как в горячепрессованном, так и в отожженном (нагрев с печью до 583...608 К, выдержка 30 мин, охлаждение на воздухе) состояниях и полученные при испытаниях результаты для трех сечений усредняли. С целью определения степени загрязненности сплава неметаллическими включениями из поперечных темплетов слитков вырезали по 8 заготовок для изготовления технологических проб. Изучение шлифов поперечных темплетов слитков показало, так же как и во всех ранее проведенных исследованиях, измельчающее воздействие НП. Изучение шлифов поперечных темплетов слитков показало наличие измельчающего эффекта в результате введения в расплав НП. При анализе микроструктуры серийных слитков выявились грубые скопления интерметаллидов, тогда как в результате введения в расплав НП они раздробляются. Механические свойства образцов в горячепрессованном состоянии оказались более высокими по сравнению со свойствами серийных слитков ($\sigma_{\text{в}}$ = 364 МПа; $\sigma_{0,2}$ = 192 МПа; δ = 18,1 %). Так, модифицирование BN без последующей фильтрации повышает $\sigma_{\scriptscriptstyle B}$ до 379 МПа (на 4,1 %), ТаN (без фильтрации) – до 383 МПа (на 5,2 %) и SiC с последующей фильтрацией - до 378 МПа (на 3,8 %); соответственно, повышается и $\sigma_{0,2}$: до 209 МПа (на 8,6 %), до 213 МПа (на 10,6 %) и до 206 МПа (на 7,0 %). При модифицировании Та б возрастает до 21,0 % (на 15,4 %), SiC – до 19,2 % (на 5,5 %), но несколько снижается в случае BN.

В проведенном исследовании была установлена возможность повышения в 1,5 раза (до 10 мм/с) скорости прессования прутков по сравнению с серийной технологией. При этом качество поверхности прутков практически не отличалось от серийных.

Из полученных данных видно, что фильтрация (на примере НП SiC) не ухудшает модифицирующее воздействие НП, выразившееся в приросте механических свойств. Более того, при работе с SiC коэффициент загрязненности сплава K_{cp} составил всего $0.07 \text{ мм}^2/\text{см}^2$ $(K_{cp} = \Sigma F$ дефектов на изломах технологических проб / ΣF изломов проб, $\text{мм}^2/\text{см}^2$), что оказалось наиболее близким к серийному слитку, для которого этот показатель оказался равным нулю. В то же время при введении в расплав прутка-свидетеля, отпрессованного из гранул без НП, K_{cp} составляет 1,65 mm^2/cm^2 , прутка c HII TaN $- 1,47 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$, a c HII BN $- 0,67 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$. Что касается загрязнений, связанных с введением в расплав НП, то этому можно дать следующее объяснение. Известно, что избыточная энергия частиц НП способствует их активному насыщению газами из окружающей атмосферы как на стадии синтеза, так и особенно при хранении на воздухе, даже в двойной полиэтиленовой упаковке. При этом просматривается связь между интенсивностью насыщения газами и технологией синтеза. Так, продукты хлоридного синтеза, к которым относится и НП ТаN [19], по сорбционной активности превосходят соединения, полученные синтезом из элементов, которые, в свою очередь, превосходят по этой характеристике продукты восстановительной переработки оксидного сырья, включая и получение SiC с использованием SiO2. В подавляющем большинстве случаев наиболее вредными из адсорбированных газов является кислород и его соединения, вызывающие при последующих переделах, связанных с нагревом, формирование на поверхности частиц оксидного или карбонитридного (нитридного) слоя, что в итоге затрудняет или делает невозможным достижение у порошковых материалов специального комплекса свойств. В то же время относительно SiC известно [20], что это соединение обладает высокой окислительной способностью вплоть до 1873 К. Приведенные данные могут свидетельствовать в пользу того, что SiC не является источником загрязнений. Что касается загрязнений, связанных с применением НП BN, то анализ процесса его получения путем карботермического восстановления оксида бора в высокоэнтальпийном газовом потоке (исходные реагенты: порошкообразный В2О3, углеродистый восстановитель пропан и азотирующий агент аммиак, в качестве плазмообразующего газа использовали азот) [21] не позволил установить их прямых источников. Возможно, это связано с повышенной химической активностью BN [22]. Тем не менее, как отмечается всеми, кто связан с производством НП, источником загрязнений могут служить только газы, адсорбированные либо в процессе синтеза НП, либо при их хранении. Установить источник загрязнений при применении прутка, отпрессованного из гранул, еще сложнее, так как в нем вообще отсутствует НП, и, кроме того, в данном исследовании в расплав вводили точно такой же пруток, но содержащий в своем объеме НП SiC, и загрязнения при этом было близко к нулю.

Фильтрование алюминиевых расплавов при литье деталей. В качестве примера рассмотрены

результаты применения фильтрования расплава при литье широко применяемого в промышленности доэвтектического алюминиево-кремниевого сплава АК7. При производстве отливок из сплавов этого вида с целью измельчения структурных составляющих и, как следствие, повышения уровня механических свойств литых изделий применяется известный еще с 20-х годов прошлого столетия способ обработки расплава натрием [23], называемый в настоящее время модифицированием и выполняемый посредством нанесения на зеркало металла 1,5...2,0 мас. % флюсов, состоящих из натрийсодержащих солей с последующей выдержкой до 15 мин без перемешивания [24].

Однако при таком способе обработки расплава взаимодействие между солями и жидким металлом происходит в основном в поверхностных слоях металлической ванны, и выделившийся при этом натрий распространяется по ее объему только путем диффузии, что, во-первых, замедляет процесс модифицирования, и, во-вторых, весь объем расплава не «прорабатывается» равномерно: по направлению к его донной части эффект модифицирования уменьшается, что, в конечном счете, проявляется в том, что залитые из этого объема отливки будут иметь более низкий уровень механических свойств, чем залитые из верхнего объема.

В работе опробовано модифицирование путем замешивания в расплав при 730...750 °C в течение 4...6 мин уменьшенного до 0,8 % по сравнению с обычной дозой (1,5...2,0 %) количества универсального флюса (50 % NaCl + 30 % NaF + 10 % KCl + 10 % Na₃AlF₆). При этом упакованную в алюминиевую фольгу дозу флюса помещали в окрашенный титановый колокольчик, погружали в расплав и производили его перемешивание. Затем с поверхности металла снимали окисную пленку и шлак с целью его очистки от непрореагировавших солей и продуктов их взаимодействия. Заливку металла в форму производили через частицы фильтрующего материала, помещенного в цилиндрическую керамическую емкость с соотношением высоты засыпки фильтра к диаметру h/D == 1,17, имеющую отверстие в дне и устанавливаемую на заливочное отверстие в кокиле. Такое устройство имеет идентичную конструкцию с конструкцией вертикальных фильтрующих колонн, широко применяемых в химической промышленности для очистки различных жидкостей [25].

Фильтрующим материалом служила смесь предварительно сплавленных при 1300 °C фторидов (50 % ${\rm MgF_2}+50$ % ${\rm CaF_2}$), которую после разливки в изложницы и затвердевания дробили на кусочки размером 4...6 мм и подогревали до 800 °C перед засыпкой в установленную на кокиль нагретую «заливочную» емкость. Оценочный расчет суммарной площади поверхности всех фильтрующих частиц, находящихся во внутреннем цилиндрическом объеме (D=60 мм, h=70 мм) заливочной емкости, с учетом их «рельефа», дает величину порядка 0,25 м². Назначение фильтрующего материала заключается в адсорбции остатков расплава модифицирующих солей и механического

«захвата» различных инородных примесей (частицы окисной плены, неметаллические включения, а также удаление водорода, адсорбированного на этих частицах и др.). Эти процессы интенсифицируются в результате протекания расплава по поверхности частиц множеством струек [15].

Выбор фторидов в качестве фильтрующего материала объясняется тем, что согласно данным, полученным на сплаве АК9ч, отличающемся от сплава АК7 малыми добавками магния и марганца [16], при близком увеличении механических свойств в результате фильтрования через графит, магнезит, корунд и сплав фторидов последний дает максимальное снижение содержания водорода. Этот эффект, согласно гипотезе, высказанной М. Б. Альтманом еще в 1965 году [9], связан с удалением из расплава при фильтровании комплексов «оксид алюминия – водород» (Al₂O₃–H₂).

Для сравнения заливали детали из сплава той же плавки, но модифицированного обычным способом (засыпка 1,5 % универсального флюса на поверхность расплава, выдержка 15 мин, очистка зеркала металла) и залитого без фильтрации. В качестве отливки была выбрана серийная фасонная деталь с черновой массой 5 кг, из вертикальной стенки которой вырезали горизонтально расположенные фрагменты, а из них вытачивали стандартные 5-кратные образцы для испытания механических свойств.

Результаты испытаний при литье в кокиль показали, что эффект повышения физико-механических характеристик сплава наступает раньше при модифицировании замешиванием, а полученные из этого сплава отливки имеют более высокие механические свойства и плотность (определяли методом гидростатического взвешивания) (табл. 1).

Фильтрование расплава было использовано и при литье из специального сплава системы Al–Si–Mg (6,0–6,5 % Si; 1,0–1,2 % Mg; ост. – Al) детали типа заглушки, входящей в сборочную единицу силового агрегата, работающего в сложнонагруженных условиях. Изучаемыми факторами являлись очередность загрузки и агрегатное состояние шихтовых материалов, а также температурные режимы плавки и металлургической обработки расплава (рафинирование и модифицирование) и температуры заливки. Особенностями

проведенного исследования является применение двух нестандартных, но взаимосвязанных технологий, используемых при приготовлении и заливке сплава. Одна из них заключается в применении высокого перегрева расплава и способа его охлаждения перед заливкой, другая — в очередности загрузки шихтовых материалов, причем в разных агрегатных состояниях (твердом и жидком).

Первая из них (перегрев расплава) заключается в применении так называемой температурной обработки расплава, технологию которой еще в 40-е годы прошлого столетия разработал и использовал при приготовлении сплава Al-12% Si известный специалист в области литейного производства, профессор А. Г. Спасский [26]. В этой работе было установлено, что в результате перегрева жидкого сплава Al-12% Si выше обычно применяемых «низкотемпературных» технологий, при кристаллизации формируется тонкодисперсная структура фаз (дендриты α -твердого раствора и эвтектика), аналогичная структуре, получаемой при модифицировании сплава общепринятым тройным модификатором (45,0 % NaCl + 40 % NaF + 15 % Na₃AlF₆).

В настоящем исследовании рабочий сплав готовили путем введения в расплавленную основу сплава (силумин СИЛ0) в разной очередности: магния, образующего в сплаве упрочняющее соединение Mg2Si; лигатур Al – 4,34 % Ti и Al – 3,40 % Zr, содержащих интерметаллические соединения, соответственно $TiAl_3$ и ZrAl₃, частицы которых выполняют роль центров кристаллизации; лигатуры Al – 3,0 % Ве, с помощью которой на поверхности расплава образуется прочная защитная пленка BeO и лигатуры Al – 50 % Cu, coдержащей упрочняющее соединение CuAl₂. При приготовлении сплава варьировали очередность загрузки шихтовых материалов и их агрегатного состояния, используя технологию, при реализации которой объем расплава, содержащего 50 % навески силумина и лигатуру Al-Mn, доводили до 950 °C с целью улучшения растворимости марганца, а объем расплава, содержащего остальной силумин, доводили до 700 °C, после чего в него вводили лигатуру Al-Mg с целью уменьшения окисления магния и вливали первый объем во второй открытой струей.

Влияние способа обработки сплава АК7 универсальным флюсом на механические свойства и плотность

Время	Времен	ное	Относител	іьное	Твердость,		Плотность	
между	сопротив	ление	удлинени	e, %	HB, MI	Ta	в твердом со	стоянии
заливкой и	$\sigma_{\rm B}, M$	Па					ρ, κΓ/m ³	
обработкой	Флюс на	При-	Флюс на	При-	Флюс на	При-	Флюс на	Прирост,
расплава,	поверхнос-	рост, %	поверхности /	рост, %	поверхности /	рост, %	поверхности /	%
МИН	ти / заме-		замешивание		замешивание		замешивание	
	шивание							
ГОСТ	160	_	2,0	_	500	_	Не оговари	ивается
0	165	_	5,8	-	520	-	2640	_
4	171/181	5,85	12,9/15,6	20,93	530/535	0,94	2643/2662	0,71
7	176/185	5,11	14,2/16,7	17,60	535/545	1,87	2646/2755	4,12
10	175/183	4,57	14,8/16,9	14,19	535/540	0,93	2655/2755	3,77
15	179/184	3,37	16,0/16,4	2,50	535/540	0,93	2654/2750	3,62

Таблица 1

Влияние технологии плавки и заливки на механические свойства сплава АК9ч

Технология плавки: вливание перегретого до 950 °C	Механические свойства				
объема расплава (силумин + лигатура Al-Mn) в низко-	Временное	Относительное	Твердость		
температурный (700 °C) объем (силумин + лигатура Al–Mg)	сопротивление $\sigma_{\scriptscriptstyle B}$,	удлинение δ,	НВ, МПа		
при заливке в кокиль	МПа	%			
Открытой струей	253/7,70	6,0/в 2 раза	700/-		
Закрытой струей	260/10,63	8,2/2,73	700/-		
С фильтрацией через стеклоткань	275/17,02	8,2/2,73	897/28,14		
ΓOCT 1583–93	235	3,0	700		

Примечание. В графах «механические свойства»: первая цифра – величина, вторая – прирост относительно ГОСТ 1583–93.

Затем при 750 °C производили модифицирование сплава тройным модификатором и производили заливку в кокиль. Результаты испытания механических свойств при литье в кокиль показали их увеличение (табл. 2) по сравнению с требуемыми по ГОСТ 1583-93 ($\sigma_{_{B}} \geq 235$ МПа; $\delta \geq 3,0$ %) при заливке открытой струей: σ_R до 253 МПа (на 7,7 %), δ до 6,0 % (в два раза), твердость НВ практически не изменялась и оставалась на уровне 700 МПа. В случае приготовления сплава по описанной выше технологии, но с заливкой металла в форму закрытой струей, ов повысилось до 260 МПа (на 10,63 %), δ – до 8,2 % (в 2,73 раза), а при дополнительной фильтрации расплава через стеклоткань ССФ-06 $\sigma_{\rm B}$ повысилось до 275 МПа (на 17,02 %), δ осталось на том же уровне - 8,2 %, тогда как НВ увеличилась до 897 МПа (на 28,14 %).

Библиографические ссылки

- 1. Heinz A. A [et al.] Recent development in aluminium alloys for aerospace applications // Materials Science and Engineering: A. 2000. Vol. 280. Iss. 1. P. 102–107.
- 2. Starke E. A., Jr., Staley J. T. Application of modern aluminium alloys to aircraft. Fundamentals of Aluminium Metallurgy. 2011. P. 747–783.
- 3. Клочков Г. Г., Плотников А. Д. Применение новых сплавов в конструкциях ракет // Цветные металлы. 2013. № 9. С. 51–57.
- 4. Постников Н. С. Упрочнение алюминиевых сплавов и отливок. М.: Металлургия, 1983. 119 с.
- 5. Codden R. Aluminium: Physical properties, characteristics and alloys. Training in aluminium application technologies. Alcan. Banbury: European Aluminium Association. 1994. 60 p.
- 6. Алюминиевые сплавы. Плавка и литье алюминиевых сплавов. Справочное руководство. М. : Металлургия, 1970. 416 с.
- 7. Крушенко Г. Г. Предотвращение образования и блокирование отрицательного воздействия пористости на свойства отливок из алюминиевых сплавов // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 3 (43). С. 124–126.
- 8. Irfan M. A., Schwam D., Karve A., Ryder R. Porosity reduction and mechanical properties in die engine blocks // Materials science and engineering. 2012. Vol. A 535. P. 108–114.
- 9. Альтман М. Б. Неметаллические включения в алюминиевых сплавах. М.: Металлургия. 1965. 127 с.

- 10. Бондарев Б. И., Напалков В. И., Тарарышкин В. И. Модифицирование алюминиевых деформируемых сплавов. М.: Металлургия, 1979. 224 с.
- 11. Модифицирование силуминов. Киев : АН УССР. 1970. 180 с.
- 12. Kashyap K. T., Chandrashekar T. Effects and mechanisms of grain refinement in aluminium alloys // Bull. Mater. Sci. 2001. Vol. 24, no. 4. P. 345–353.
- 13. Крушенко Г. Г., Фильков М. Н. Модифицирование алюминиевых сплавов нанопорошками // Нанотехника. 2007. № 4. С. 58–64.
- 14. Спасский А. Г., Калягина Н. С. Очистка металлов от неметаллических включений // Литейное производство. 1959. № 4. С. 30–32.
- 15. Калабушкин В. С., Пикунов М. В. Фильтрование металла // Литейное производство. 1960. № 6. С. 30–31
- 16. Курдюмов А. В. [и др.] Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. М.: Металлургия, 1980. 196 с.
- 17. Тэн Э. Б. Механизм фильтрационного рафинирования металлических расплавов // Литейное производство. 1990. № 9. С. 5–6.
- 18. Воеводина М. А., Крушенко Г. Г. Фильтрование металлических расплавов : монография / Хакасский техн. ин-т филиал Сиб. федер. ун-та, Абакан, 2013. 80 с.
- 19. Гаврилко В. П., Галевский Г. В., Крутский Ю. Л. О механизме синтеза нитридов ниобия и тантала из хлоридов в высокотемпературном потоке азота // Физико-химия и технология дисперсных порошков : сб. науч. тр. Киев : ИПМ АН УССР. 1984. С. 33–36.
- 20. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений : справ. изд. / под ред. Т. Я. Косолаповой М. : Металлургия. 1986. 928 с.
- 21. Крутский Ю. Л., Корнилов А. А., Галевский Г. В. Исследование процесса получения ультрадисперсного порошка гексагонального нитрида бора // Материалы на основе нитридов. Киев: ИПМ АН УССР. 1988. С. 17–21.
- 22. Косолапова Т. Я. [и др.] Исследование структуры и свойств нитрида бора // Материалы на основе нитридов. Киев: ИПМ АН УССР. 1988. С. 17–21.
- 23. Pacz A. Patent US 1387900. Serial № 358555. Alloy. Application filed February 13, 1920. Patented August 16, 1921.

- 24. Цветное литье : справочник. М. : Машиностроение. 1989. 528 с.
- 25. Gibson W. D. Get more from towers & columns // Chemical Engineering, 1998. Vol. 105, no. 9. P. 107–108.
- 26. Спасский А. Г., Рогожин В. В. К вопросу о модификации силуминов // Юбилейный сборник научных трудов МИЦМи3. 1930–1940. № 9. М. : Металлургиздат. 1940. С. 566–567.

References

- 1. Heinz A., Haszler A., Keidel C. et al. Recent development in aluminium alloys for aerospace applications. *Materials Science and Engineering*, A. 15 March 2000. Vol. 280, Issue 1. P. 102–107.
- 2. Starke E. A., Jr., Staley J. T. Application of modern aluminium alloys to aircraft. Fundamentals of Aluminium Metallurgy, 2011, p, 747–783.
- 3. Klochkov G. G., Plotnikov A. D. [Application of new alloys in the construction of missiles]. *Cvetnye metally*. 2013, no. 9, p. 51–57 (In Russ.).
- 4. Postnikov N. S. *Uprochnenie aljuminievyh splavov i otlivok* [Hardening aluminum alloys and castings]. Moscow, Metallurgija Publ., 1983, 119 p.
- 5. Codden R. Aluminium: Physical properties, characteristics and alloys. Training in aluminium application technologies. Alcan. Banbury: European Aluminium Association, 1994, 60 p.
- 6. Aljuminievye splavy. Plavka i lit'e aljuminievyh splavov. Spravochnoe rukovodstvo [Aluminum alloys. Melting and casting of aluminum alloys. Reference Guide]. Moscow, Metallurgija Publ., 1970, 416 p.
- 7. Krushenko G. G. [Prevention and blocking of the negative impact of porosity on the properties of aluminum alloy castings]. *Vestnik SibGAU*, 2012, vol. 43, no. 3, p. 124–126 (In Russ.).
- 8. Irfan M. A., Schwam D., Karve A., Ryder R. Porosity reduction and mechanical properties in die engine blocks. Materials science and engineering, 15 February 2012, vol. A 535, p. 108–114.
- 9. Al'tman M. B. *Nemetallicheskie vkljuchenija v aljuminievyh splavah* [Non-metallic inclusions in aluminum alloys]. Moscow, Metallurgija Publ., 1965, 127 p.
- 10. Bondarev B. I., Napalkov V. I., Tararyshkin V. I. *Modificirovanie aljuminievyh deformiruemyh splavov* [Modification of wrought aluminum alloys]. Moscow, Metallurgija Publ., 1979, 224 p.
- 11. *Modificirovanie siluminov* [Modification silumins]. Kiev, AN USSR Publ., 1970, 180 p.
- 12. Kashyap K. T., Chandrashekar T. Effects and mechanisms of grain refinement in aluminium alloys. *Bull. Mater. Sci.*, August 2001, vol. 24, no. 4, p. 345–353.
- 13. Krushenko G. G., Fil'kov M. N. [Modification of aluminum alloy nanopowders]. *Nanotehnika*. 2007, vol. 12, no. 4, p. 58–64 (In Russ.).

- 14. Spasskij A. G., Kaljagina N. S. [Refining of metals from non-metallic inclusions]. *Litejnoe proizvodstvo*. 1959, no. 4, p. 30–32 (In Russ.).
- 15. Kalabushkin V. S., Pikunov M. V. [Filtration metal]. *Litejnoe proizvodstvo*. 1960, no. 6, p. 30–31 (In Russ.).
- 16. Kurdjumov A. V., Inkin S. V., Chulkov V. S. et al. *Fljusovaja obrabotka i fil'trovanie aljuminievyh raspla- vov* [Flux processing and filtering molten aluminum]. Moscow, Metallurgija Publ., 1980, 196 p.
- 17. Tjen Je. B. [Mechanism of filtration of molten metal refining]. *Litejnoe proizvodstvo*. 1990, no. 9, p. 5–6 (In Russ.).
- 18. Voevodina M. A., Krushenko G. G. *Fil'trovanie metallicheskih rasplavov, monografija* [Filtration of molten metal, monograph]. Abakan Khakassia tehn. Inst branch Sib. Fader. University Press, 2013, 80 p.
- 19. Gavrilko V. P., Galevskij G. V., Krutskij Ju. L. O mehanizme sinteza nitridov niobija i tantala iz hloridov v vysokotemperaturnom potoke azota. Fiziko-himija i tehnologija dispersnyh poroshkov [On the mechanism of the synthesis of niobium and tantalum nitride chlorides in high nitrogen flow. Physical chemistry and technology of dispersed powders]. Kiev, Ukrainian Academy of Sciences IPM Publ., 1984, p. 33–36.
- 20. Svojstva, poluchenie i primenenie tugoplavkih soedinenij. Sprav. izd. Pod red. T. Ja. Kosolapovoj [Properties, production and application of refractory compounds. Right. ed. Ed. T. J. Kosolapovo]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 928 p.
- 21. Krutskij Ju. L., Kornilov A. A., Galevskij G. V. *Issledovanie processa poluchenija ul'tradispersnogo poroshka geksagonal'nogo nitrida bora. Materialy na osnove nitridov* [Investigation of the process of obtaining ultrafine powder of hexagonal boron nitride. Materials based on nitrides]. Kiev, Ukrainian Academy of Sciences IPM Publ., 1988, p. 17–21.
- 22. Kosolapova T. Ja., Ljashenko V. I., Serebrjakova T. I. i dr. *Issledovanie struktury i svojstv nitrida bora. Materialy na osnove nitridov* [Investigation of the structure and properties of boron nitride. Materials based on nitrides]. Kiev, Ukrainian Academy of Sciences IPM Publ., 1988, p. 17–21.
- 23. Pacz A. Patent US № 1387900. Serial № 358555. Alloy. Application filed February 13, 1920. Patented August 16, 1921.
- 24. *Cvetnoe lit'e*. [Ferrous castings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989, 528 p.
- 25. Gibson W. D. Get more from towers & columns. *Chemical Engineering*. 1998, vol. 105, no. 9, p. 107–108.
- 26. Spasskij A. G. i Rogozhin V. V. [On the modification silumins]. *Jubilejnyj sbornik nauchnyh trudov MICMiZ*, 1940, no. 9, p. 566–567 (In Russ.).

© Крушенко Г. Г., Воеводина М. А., 2014

УДК 620.197

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЛАСТИН ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С МДО-ПОКРЫТИЕМ*

А. Е. Михеев, А. В. Гирн, Р. В. Алякрецкий, Д. В. Раводина, Т. В. Трушкина

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: michla@mail.ru

Проведены исследования излучающей способности покрытий на алюминиевых сплавах, нанесенных микродуговым оксидированием в электролитах различного состава при изменении технологических режимов. Определены режимы обработки для получения покрытий с коэффициентом излучения более 0,9. Представлены результаты сравнительного анализа по излучательной способности покрытий: МДО-покрытий и покрытий, применяемых на теплоизлучающих пластинах инфракрасных нагревателей (лакокрасочное и гальваническое покрытия). Исследования показали, что по техническим характеристикам нагреватели с МДО-покрытием не уступают существующим нагревателям по излучательной способности.

Ключевые слова: МДО-покрытие, коэффициент излучения, инфракрасные нагреватели.

STUDY OF EMISSIVITY INFRARED HEATERS COATED WITH MAO COATING

A. E. Miheev, A. V. Girn, R. V. Alyakretsky, D. V. Ravodina, T. V. Trushkina

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: michla@mail.ru

The researches of emissivity coatings on aluminum alloys deposited by microarc oxidation in electrolytes of different composition changing technological regimes have been conducted. The modes of processing to produce coatings with emissivity greater than 0.9 have been defined. The results of comparative analysis emissivity coatings: MAO coatings and coatings used on the heat radiating plate infrared heaters (paint and plating) are shown. The studies have shown that the technical characteristics heaters with MAO coating are as good as the existing heaters on emissivity.

Keywords: MAO coating emissivity, infrared heaters.

В настоящее время задача энергосбережения является актуальной во многих сферах деятельности. В частности, это касается систем теплоснабжения. В последнее время для обогрева бытовых и промышленных объектов широко применяются электрические панельные нагреватели с алюминиевыми излучающими пластинами. Достоинством таких нагревателей по сравнению с чугунными и стальными радиаторами водяного отопления является высокая теплоотдача, низкая стоимость, удобство монтажа и современный дизайн.

С другой стороны, передача тепла излучением у чистого алюминия низкая. Коэффициент излучения алюминия составляет 0,1. Для увеличения коэффициента излучения пластины инфракрасных (ИК) нагревателей покрывают порошковой краской или применяют гальваническое анодирование.

Окрашивание поверхности радиаторов снижает теплопроводность, что приводит к снижению теплоотдачи. К недостаткам анодирования можно отнести

необходимость предварительной подготовки и использования кислот в электролитах, что экологически небезопасно.

В работе предлагается наносить излучающие покрытия на поверхности ИК-нагревателей методом микродугового оксидирования (МДО), так как этот процесс более производителен и экологичен [1–3].

На первом этапе работы были выявлены технологические режимы обработки, позволяющие получать покрытия с наибольшим коэффициентом излучения є на образцах из различных алюминиевых сплавов. Были проведены исследования по теплостойкости, шероховатости, электрической прочности, удельному сопротивлению полученных покрытий.

Для проведения исследования был использован тиристорный источник тока, который позволяет осуществлять независимую регулировку анодной и катодной составляющих тока и одновременно стабилизировать средние величины этих токов, что существенно упрощает проведение процесса МДО и ведет

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Российской Федерации, государственный контракт № 02.G2531.0043.

к улучшению качества получаемых покрытий. Источник имеет следующие технические характеристики: диапазон регулируемых напряжений до $1000~\mathrm{B}$; диапазон регулируемых токов до $50~\mathrm{A/дm}^2$; погрешность стабилизации тока до 5~%.

Время обработки в наибольшей степени зависит от состава электролита и влияет на толщину покрытий. Максимальное время обработки составляло 90 мин, а минимальное время выбиралось для каждого электролита опытным путем. Соотношение анодной и катодной составляющей по току влияет на толщину и твердость получаемых покрытий. Увеличение катодной составляющей приводит к получению более твердых, но менее толстых покрытий по сравнению с обработкой при увеличенной анодной составляющей по току. В работе I_k/I_a варьировалась в пределах 0,8 до 1,2.

Напряжение анодной составляющей зависит от силы тока, электросопротивления электролита и материала обрабатываемого изделия. Увеличение напряжения ведет к снижению энергоэффективности процесса и увеличению стоимости конечной продукции. В исследованиях значение напряжения анодной составляющей не превышало 600 В.

Увеличение температуры электролита в процессе обработки ведет к увеличению пористости, снижению прочности и расходу электролита на испарение. Температура электролита не должна превышать 40 °C, поэтому для обработки использовалась электролитическая ванна с контуром водяного охлаждения.

Для исследования были выбраны широко распространенные алюминиевые сплавы: А5, Д-16, АМг-6, АМг-3 и АМц. Размеры образцов 100×100×3 мм, обработка производилась с двух сторон.

Обработка проводилась в слабощелочных водных электролитах следующих типов:

- № 1 силикатно-щелочной (содержит NaOH и Na₂SiO₃) цвет покрытия серый;
- № 2 фосфатно-боратный (содержит Na_2HPO_4 , $Na_2B_4O_7$, NaF) цвет покрытия белый;
- № 3 боратный (содержит H_3BO_3 и NaOH) цвет покрытия светло-серый;
- № 4 фосфатный, с добавками солей щелочных металлов (содержит Na_2HPO_4 , $K_4[Fe(CN)_6]$, Na_2MoO_4) цвет покрытия насыщенный черный.

Толщину покрытий контролировали толщиномером ТТ-260 с вихретоковым датчиком N-01, на поперечных шлифах — при помощи оптического микроскопа Neophot-32.

При обработке в электролите N = 1 качественные равномерные покрытия получены на всех сплавах при следующих режимах:

- время обработки t = 10—60 мин;
- плотность тока $i = 5-20 \text{ A/дм}^2$;
- соотношения анодной и катодной составляющей по току $I_k I_a = 0,8-1,2;$
 - напряжение анодной составляющей U_a = 530–600 B;
 - температура электролита T = 15-40 °C.

Для обеспечения необходимой толщины покрытия $20 \pm 5\,$ мкм время обработки для различных сплавов

t=2–5 мин; процесс вели при следующих технологических параметрах: $i=15~\mathrm{A/дm^2},\,I_k/I_a=1,\,U_a=550$ –560 (в зависимости от сплава), T= до 30 °C. Время обработки для различных сплавов составляло: $\mathrm{A5}-12~\mathrm{Muh},\,\mathrm{AMr3}-12~\mathrm{Muh},\,\mathrm{AMr6}-15~\mathrm{Muh},\,\mathrm{AMu}-20~\mathrm{Muh},\,\mathrm{Д-}16-18~\mathrm{Muh}.$

При обработке в фосфатно-боратном электролите \mathcal{N}_{2} качественные покрытия получены для всех сплавов, за исключением сплава АМГ-6. Режимы обработки:

- время обработки t = 2-5 мин;
- плотность тока $i = 20-40 \text{ A/дм}^2$;
- соотношения анодной и катодной составляющей по току $I_k/I_a = 0.8-1.2$;
 - напряжение анодной составляющей $U_a = 200-400 \text{ B}$;
 - температура электролита T = 15-40 °C.

Покрытие на образцах из материала АМг-6 получается с дефектами, углы обгорают. Это можно объяснить большим содержанием в сплаве магния, который активно взаимодействует с большим количеством элементов в составе электролита.

При обработке в боратном электролите N_2 3 качественные покрытия получены для всех сплавов:

- время обработки t = 60-90 мин;
- плотность тока $i = 5-20 \text{ A/дм}^2$;
- соотношения анодной и катодной составляющей по току $I_k I_a = 1$;
 - напряжение анодной составляющей $U_a = 590-650 \text{ B}$;
 - температура электролита T = 15-40 °C.

Толщина покрытия на образцах всех сплавов, полученная в данном электролите, не превышает 15 мкм. Поэтому обработка деталей большой площади в данном электролите экономически нецелесообразна.

При обработке в электролите N = 4 качественные покрытия получены для всех сплавов:

- время обработки t = 5-15 мин;
- плотность тока $i = 10-20 \text{ A/дм}^2$;
- соотношения анодной и катодной составляющей по току $I_k I_a = 1$;
 - напряжение анодной составляющей $U_a = 200-300 \text{ B}$;
 - температура электролита T = 15-40 °C.

Для определения микроструктуры были изготовлены поперечные шлифы образцов. Поверхность шлифов перед исследованием подвергалась химическому травлению. Исследования проводили с использованием металлографического исследовательского комплекса SIAM на базе оптического микроскопа Neophot 32 при увеличениях ×100–800.

В результате исследования выявлено, что в покрытии на всех образцах можно выделить две характерные зоны, имеющие достаточно четкие границы раздела:

- внешний очень пористый и непрочный слой, содержащий муллит;
- переходный твердый слой, примыкающий к металлу, содержащий преимущественно кристаллический оксид алюминия двух модификацийю γ -Al $_2$ O $_3$ и α -Al $_2$ O $_3$, которые образуются только при участии микродуговых разрядов.

На образцах, полученных в силикатном электролите, наблюдается четкая граница раздела верхнего пористого, рыхлого слоя и плотного твердого слоя.

На образцах, полученных в фосфатно-боратном электролите, наблюдается снижение неровностей на поверхности образца, поверхность ровная, верхний рыхлый слой отсутствует или имеет минимальное значение по толщине. На образцах, полученных в фосфатном электролите с добавками солей переходных металлов, наблюдается значительная неровность поверхности и пористость покрытия.

Исследования показали, что характер пористости оксидного покрытия зависит от плотности и соотношения токов, времени микроплазменной обработки и состава электролита. Из результатов исследования выявлено, что минимальная пористость покрытий получена в фосфатно-боратном электролите. Максимальная пористость покрытий получена в фосфатном электролите с добавками солей переходных металлов.

Результаты исследования стехиометрического состава МДО-покрытий приведены в работе [2], выявлено, что в поверхности покрытия присутствуют оксид алюминия Al_2O_3 , который получается в результате плазмохимических реакций, и элементы, перешедшие в покрытие из электролита в результате химических реакций (SiO_2 , P_2O_5 и др.). Также в покрытии в небольших количествах присутствуют оксиды металлов, содержащихся в алюминиевых сплавах. Например, для сплава Д16 наблюдается повышенное содержание в покрытии оксида меди, поскольку содержание меди в этом сплаве составляет 3,8–4,9 %.

Шероховатость покрытия, сформированного МДО, определяли с помощью профилометра Г145. Значение шероховатости покрытия определялось как среднее арифметическое между пятью измерениями на отрезке 5 мм на одном образце.

Шероховатость варьировалась от 2,2 до 4,5 Ra. Максимальное значение шероховатости (от 4 до 4,5 Ra) — на образцах, обработанных в фосфатном электролите с добавками солей переходных металлов. Минимальное значение шероховатости (от 2,2 до 2,5 Ra) достигнуто на образцах, обработанных в фосфатноборатном электролите. Значения шероховатости образцов, обработанных в силикатном электролите, составило 3–3,8 Ra.

Для определения теплостойкости МДО-покрытий образцы выдерживали при температурах 400, 500 и 600 °С в течение 60 мин. Теплостойкость покрытия определяли по изменению внешнего вида образцов с покрытием.

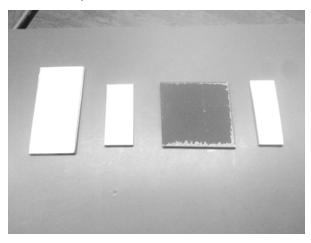
Результаты исследований показали, что на образцах, обработанных в фосфатном электролите с добавками солей переходных металлов, происходит отслаивание покрытия при температуре 400 °C. На образцах, обработанных в остальных электролитах, не наблюдалось отслоения покрытия, изменения цвета, появления трещин и прочих дефектов (рис. 1).

Испытания электрической прочности покрытия проводили на универсальной пробойной установке УПУ-1М переменным напряжением до 10 кВт.

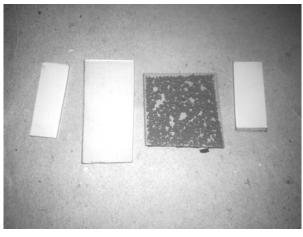
Результаты исследования показали, что напряжение пробоя для образцов составляет:

- обработанных в силикатном электролите - 620-680 B;

- обработанных в фосфатно-боратном электролите 420–450 В:
- обработанных в фосфатном электролите с добавками солей переходных металлов – 280–320 В.



а



б

Рис. 1. Внешний вид образцов с покрытием: a – до испытания на теплостойкость; δ – после испытания на теплостойкость

Удельное сопротивление измеряли на приборе «тераомметр E6-13A». Выявлено, что в зависимости от выбора электролита, параметров обработки и марки алюминиевого сплава удельные сопротивления покрытий изменялись в пределах от $6 \cdot 10^{13}$ до $1 \cdot 10^{14}$ Ом·м.

Измерение коэффициента *En* проводили рефлектометром ТРМ-И. Результатом контроля является среднее арифметическое значение из 3-х измерений на образце.

Измерение толщины оксидного покрытия МДО проводилось прибором ТТ-260 с вихретоковым датчиком. Измерение проводили в пяти точках образца. Результатом контроля является среднее арифметическое значение.

Результаты измерений En и толщины покрытий представлены в таблице.

Электролит	Технологические	Алюминиевый сплав	Толщина, мкм	Коэффициент
	режимы обработки	(номер образца)	40	излучения Еп
Силикатный (содержит	$I_k/I_a=1$	A5	42	0,881
KOH и Na ₂ SiO ₃)	$I_a = I_k = 30 \text{ A}$	Д-16	37	0,896
	$U_a^+ = 508 - 560 \text{ B}$	АМг-6	41	0,903
	t = 20 мин	АМг-3	42	0,897
	t = 20 мин $S = 2 \text{ Дм}^2$	АМц	26	0,843
Фосфатно-боратный	$I_k/I_a = 1$	A5	13	0,832
(содержит Na ₂ HPO ₄ ,	$I_a = I_k = 60 \text{ A}$	Д-16	12	0,821
Na ₂ B ₄ O ₇ , NaF)	$U_a^+ = 240 - 310 \text{ B}$	АМг-3	18	0,845
	t = 3 мин $S = 2$ Дм ²	АМц	13	0,816
Фосфатный, с добавками	$I_k/I_a = 1$	A5	15	0,891
солей щелочных металлов	$I_a = I_k = 25 \text{ A}$	Д-16	18	0,884
(содержит Na ₂ HPO ₄ ,	$U_a^+ = 220-250 \text{ B}$	АМг-6	20	0,889
$K_4[Fe(CN)_6], Na_2MoO_4)$	t = 10 мин	АМг-3	19	0,891
	$S = 2 \text{Лм}^2$	АМц	18	0,891

Результаты экспериментальных измерений толщины и коэффициентов излучения

Для выявления зависимости влияния толщины покрытия на коэффициент излучения были проведены дополнительные исследования. Обработке подвергались образцы алюминиевых сплавов АМг-6 и А-5 в электролитах № 1 и 2. Для получения образцов с различной толщиной в процессе обработки изменялось время и плотность тока. Результаты исследований, представленные на рис. 2, показывают, что с увеличением толщины покрытия коэффициент излучения повышается, при этом толщина покрытия должна составлять не менее 20 мкм.

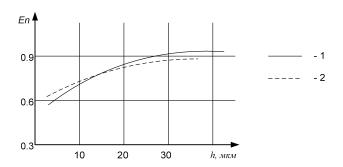


Рис. 2. Зависимость коэффициента излучения En от толщины покрытия: 1 – обработка в электролите \mathbb{N}_2 1 сплава AMr-6; 2 – обработка в электролите \mathbb{N}_2 2 сплава A-5

Исследования свойств покрытий позволили выявить технологические режимы обработки для получения покрытий с высоким коэффициентом излучения. Такими свойствами обладают образцы, полученые в фосфатно-боратном и силикатном электролитах.

При проведении исследований было выявлено следующее:

 нанесение покрытий в электролите № 3 нецелесообразно, поскольку полученные в данном электролите покрытия обладают низкими физико-механическими характеристиками: низкой твердостью, большой пористостью и шероховатостью, низкой теплостойкостью (при нагреве происходит отслаивание покрытия);

- для нанесения покрытий на инфракрасные обогреватели приемлемыми являются силикатный и фосфатно-боратный электролиты;
- с увеличением толщины покрытия коэффициент излучения повышается, при этом толщина покрытия должна составлять не менее 20 мкм.

На следующем этапе исследований было нанесено МДО-покрытие на пластины ИК-нагревателей. Испытания излучательной способности проводили для пластин без покрытия \mathbb{N}_2 1, с МДО-покрытием двух типов — силикатным (\mathbb{N}_2 2) и фосфатно-боратным (\mathbb{N}_2 3), а также с покрытием, полученным гальваническим анодированием (\mathbb{N}_2 4).

Схема испытания приведена на рис. 3. К пластине ИК-нагревателя тепло подводилось через электронагреватель (ТЭН). Через каждые 10 мин проводили замеры температуры поверхности нагревателя и нагреваемого тела (медной пластины).

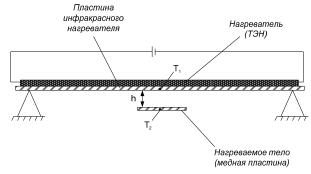


Рис. 3. Схема измерения температур нагревателя и нагреваемого тела

На гистограмме (рис. 4) видно, что МДО-покрытия по своим характеристикам близки к покрытиям, полу-

ченным гальваническим анодированием. Пластина без покрытия значительно нагревается и обладает меньшей теплоотдачей, что также подтверждается результатами измерения тепловизора (рис. 5).

Результаты измерений тепловизором подтверждают данные измерения температур контактным методом.

По полученным данным можно сделать вывод, что покрытия, получаемые методом МДО, практически не уступают по теплоотдаче анодным. Возможно увеличение коэффициента излучения путем подбора технологических режимов обработки.

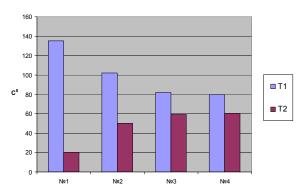


Рис. 4. Результаты измерений температур поверхности нагревателя (T1) и нагреваемого тела (T2)

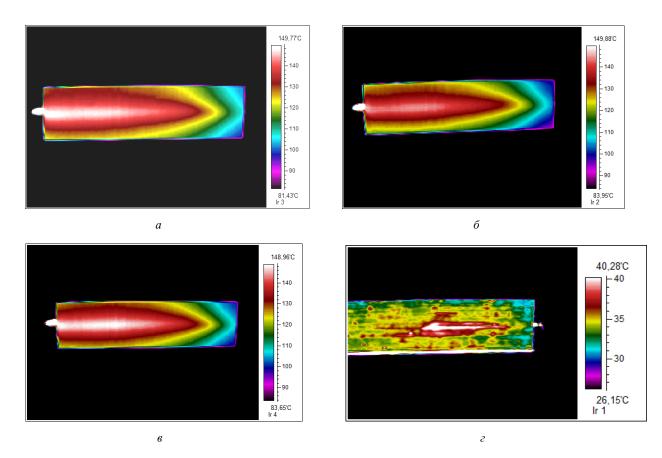


Рис 5. Распределение температур на поверхности нагревательных пластин: $a-{\rm MДO}$ -покрытие (фосфатно-боратный электролит); $b-{\rm MДO}$ -покрытие (силикатно-щелочной электролит); $b-{\rm mq}$ - анодное покрытие; $b-{\rm mq}$ - без покрытия

Технологии микродугового оксидирования могут быть рекомендованы для получения покрытий для ИК-нагревателей, так как по сравнению с гальваническим анодированием этот процесс более производительный, экологически безопасный и не требующий предварительной подготовки поверхности под покрытие.

сев С. С. Химические процессы при микродуговом оксидировании // Вестник СибГАУ. 2013. № 2(48). С. 212–216.

2. Михеев А. Е., Трушкина Т. В., Гирн А. В., Ива-

3. Тихонов В. Н. Аналитическая химия алюминия. М.: Наука, 1971. 266 с.

Библиографические ссылки

1. Микродуговое оксидирование: теория, технология, оборудование / И. В. Суминов [и др.]. М. : Экомет, 2005.368 с.

References

1. Suminov I. V. et al. *Mikrodugovoe oksidirovanie:* teoriya, tekhnologiya, oborudovanie [Microarc oxidation

theory, technology, equipment]. Moscow, Ekomet Publ., 2005, 368 p.

- 2. Miheev A. E., Trushkina T. V., Girn A. V., Ivasev S. S. [Chemical processes at microarc oxidation]. *Vestnik SibGAU*. 2013, vol. 48, no. 2, p. 212–216 (In Russ.).
- 3. Tihonov V. N. *Analiticheskaya himiya aluminiya* [Analytical chemistry of aluminum]. Moscow, Nayka Publ., 1971, 266 p.
 - © Михеев А. Е., Гирн А. В., Алякрецкий Р. В., Раводина Д. В., Трушкина Т. В., 2014

УДК 62.347

МАЛОГАБАРИТНЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МОТОР-РЕДУКТОР

Ц. Г. Надараиа¹, И. Я. Шестаков², А. А. Фадеев²

¹OOO «KBOHT»

Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 75 E-mail: svoy 2010@list.ru

² Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Сиоирскии государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнев Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: yakovlevish@mail.ru

Представлен мотор-редуктор, в котором бесколлекторные двигатели расположены внутри цилиндрической зубчатой передачи. Такой мотор-редуктор может работать в режимах редуцирования, редуцирования с усилением крутящего момента, мультиплицирования и рекуперации при торможении. На основе предложенной конструкции мотор-редуктора показаны различные механизмы: двухпоточный и планетарный редуктор, силовой электромеханический привод для рулевых поверхностей.

Ключевые слова: мотор-редуктор, бесколлекторный двигатель.

SMALL-SIZED MULTI-MOTOR-REDUCER

C. G. Nadaraia¹, I. Y. Chestakov², A. A. Fadeev²

1"CVONT" LLC

75, Svobodniy prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
E-mail: svoy_2010@list.ru

² Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: yakovlevish@mail.ru

The work presents the motor-reducer, which brushless motors are located inside the cylindrical gears. Such a motor-reducer can work in modes reduction, reduction with increased torque, multiplicidade and regenerative braking. Based on the proposed construction of a motor-reducer, the different mechanisms: bi-flow and planetary gearbox, power Electromechanical actuator for steering surfaces are shown.

Keywords: geared motor, brushless motor.

Редукторы широко применяются в различных отраслях машиностроения. Для уменьшения габаритов и массы применяют мотор-редукторы, представляющие агрегат, в котором объединены электродвигатель и редуктор [1]. Такие мотор-редукторы выполняют только одну функцию – редуцирование, имеют значительные габариты и массу. Поэтому на рынке появляются вентильно-индукторные двигатели с редукторами [2]. Бесколлекторные двигатели могут работать в режиме генератора, имеют небольшие габариты и

массу, что позволяет создать мотор-редукторы с расширенной сферой применения.

Однако для развития современной авиационной и космической техники нужны многофункциональные устройства малой массы и габаритов.

Проектирование электромеханических приводов для самолётов 5-го поколения потребует, прежде всего, разработки и совершенствования основных элементов, входящих в электромеханический привод — электродвигателей и редукторов с лучшими массога-

баритными и энергетическими характеристиками по сравнению с существующими.

Установка вентильно-индукторных двигателей внутри зубчатых шестерни и колеса позволит уменьшить массу и габариты мотор-редуктора, расширить его функциональные возможности [3].

Мотор-редуктор (рис. 1) включает: корпус 1, блок управления 2, зубчатые полые шестерню 3 и колесо 4, внутри которых на полых осях 5, 6, закреплённых на корпусе 1, установлены статоры 7, 8 с обмотками 9, 10, на внутренней поверхности шестерни 3 и колеса 4 расположены постоянные магниты 11, 12, на торцах шестерни 3 и колеса 4 закреплены дисковые ступицы 13, 14, которые за счёт пар подшипников 17, 18 вращаются относительно осей 5, 6. Каждая пара ступиц имеет один полый вал 15, 16 и благодаря подшипникам 19, 20 совместно с шестерней 3 и колесом 4 вращаются относительно корпуса 1. Блок управления 2 с помощью проводов 21, 22 соединен с обмотками статора через отверстия в осях 5, 6.

В зависимости от варианта включения (подачи) управляющего сигнала на обмотки статора моторредуктор может работать в режимах редуцирования,

редуцирования с усилением крутящего момента, мультиплицирования и рекуперации при торможении.

Мотор-редуктор работает в режиме редуктора при условии, что вал 15 – быстроходный, а вал 16 – тихоходный. В режиме мультиплицирования, наоборот, вал 16 – быстроходный, а вал 15 – тихоходный

В режиме редуцирования мотор-редуктор работает следующим образом: при подаче напряжения от блока управления 2 на обмотку 9 статора 7 возникает электромагнитное поле, которое взаимодействует с постоянными магнитами 11 и создает вращающий электромагнитный момент, который приводит в движение шестерню 3. Под действием окружной силы происходит передача крутящего момента на колесо 4.

При подаче напряжения от блока управления 2 дополнительно на обмотку 10 статора 8 возникающее электродинамическое усилие приводит к увеличению крутящего момента на валу 16.

Установка мотор-генератора внутри зубчатых колеса и шестерни позволяет уменьшить габариты устройства, упростить конструкцию и расширить эксплуатационные возможности устройства, используя мотор-редуктор как редуктор, мультипликатор или генератор электрической энергии.

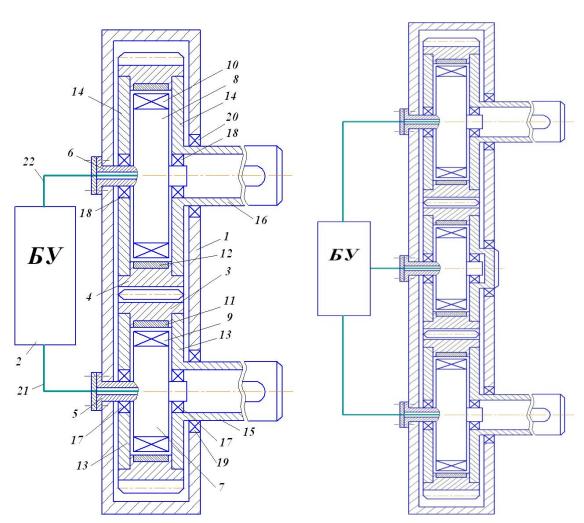


Рис. 1. Схема мотор-редуктора

Рис. 2. Схема двухпоточного мотор-редуктора

На основе предложенной конструкции моторредуктора возможна разработка различных механизмов: двухпоточных редукторов (рис. 2), планетарных механизмов (рис. 3). Их достоинства в следующем: снижение габаритов, расширение кинематических возможностей (получение на одном механизме нескольких передаточных чисел с плавным регулированием скоростей вращения и моментов), возможность рекуперации механической энергии.

Был спроектирован и изготовлен одноступенчатый цилиндрический мотор-редуктор с вентильно-индукторным двигателем. Расчёт зубчатой передачи производился по известным методикам. Определение геометрических параметров вентильно-индукторного двигателя производилось по методике, изложенной в работе [4]. При одинаковой передаваемой мощности серийно выпускаемый мотор-редуктор с вентильно-индукторным двигателем имеет габариты в 1,5...2 раза больше изготовленного устройства.

На основе двухпоточного редуктора разработан силовой электромеханический привод для рулевых поверхностей (рис. 4). На неподвижных осях *I* расположены статорные обмотки *2* вентильно-индукторного двигателя. Коаксиально осям на подшипниках качения (на рис. 4 не показаны) установлены зубчатые колёса) *3*, на внутренней поверхности которых размещены сегменты *4* из магнитотвёрдых материалов. Колесо *5* с зубьями, расположенными по внутренней поверхности, жёстко соединено с рулевой поверхностью *6*. При такой конструкции привода крутящий момент на зубчатом колесе *5* будет равен сумме моментов, создаваемых каждым электродвигателем при равенстве диаметров зубчатых колёс, в которых установлены электродвигатели.

В заводских условиях была изготовлена партия рассмотренных выше приводов. В крыле беспилотного летательного аппарата (длина крыла 2200 мм, ширина 700 мм) было установлено 6 силовых миниприводов: 2 — в элероне и 4 — в закрылке. Мощность одного электромеханического привода равна 700 Вт, напряжение питания 24 В, число оборотов роторов регулировалось от 10 до 1000 об/мин. Габариты минипривода: диметр 30 мм, ширина 20 мм. Испытания беспилотного аппарата прошли успешно. Силовой минипривод отработал всю программу полета без замечаний.

На данном этапе развития авиастроения принята концепция самолёта с повышенным уровнем электрификации, предусматривающая использование электрической энергии для широкой номенклатуры потребителей, в том числе для электромеханических приводов [5]. Представленный малогабаритный силовой электромеханический привод отвечает современной концепции развития авиастроения и позволит заменить гидропривод в системе управления самолётами, поскольку не имеет недостатков, присущих гидроприводам.

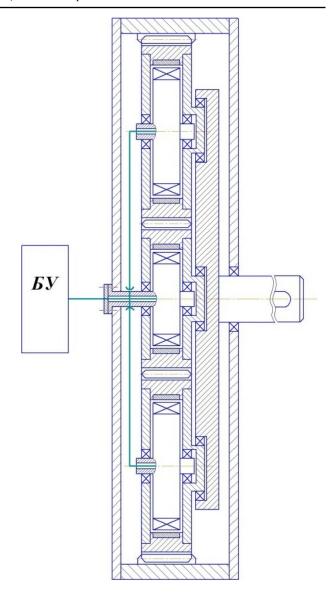


Рис. 3. Схема планетарного мотор-редуктора

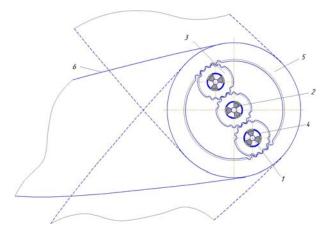


Рис. 4. Силовой электромеханический привод

Библиографические ссылки

- 1. Анурьев В. И. Справочник конструкторамашиностроителя. В 3 т. Т. 3. М.: Машиностроение, 2001. С. 699–701.
- 2. Бесколлекторные двигатели [Электронный ресурс]. URL: http://www.stepmotor.ru/production/cnc. (дата обращения: 20.09.2013).
- 3. Пат. 96707 Российская Федерация. МПК 7 Н 02 К 23/04. Мотор-редуктор / Надараиа Ц. Г. ; заявитель и патентообладатель Ц. Г. Надараиа. Заявл.11.01.10 ; опубл. 10.08.10, Бюл. № 22.
- 4. Нестеров Е. В. Определение базовых геометрических параметров вентильно-индукторного двигателя обращённой конструкции // Электричество. 2006. № 5. С. 32–35.
- 5. Кузьмичёв Р. В., Ситин Д. А., Степанов В. С. Исполнительные механизмы петлеобразной формы приводов самолётов с повышенным уровнем электрификации [Электронный ресурс]. // Труды МАИ. 2011. № 45. URL: http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=25426 (дата обращения: 20.09.2013).

References

- 1. Anur'ev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelja* [Reference book of the designer-mechanician]. 2001, vol. 3, p. 699–701 (In Russ.).
- 2. Beskollektornye dvigateli [Brushless motors]. Available at: http://www.stepmotor.ru/production/cnc (accessed 1 October 2013).
- 3. Nadaraia C. G. *Motor-reduktor* [Geared motor], Patent RF, no. 96707, 2010 (In Russ.).
- 4. Nesterov E. V. [Definition of basic geometrical parameters of the valve-inductor motor facing design]. *Jelektrichestvo*, 2006, no. 5, p. 32–35(In Russ.).
- 5. Kuzmichev R. V., Sitin D. A., Stepanov V. S. [Actuators loop shape drives aircraft with increased electrification]. *Trudy MAI*, 2011, no. 45 (In Russ.), available at: http://www.mai.ru/science/trudy/published.php? ID=25426 (accessed 20.09.2013).

© Надараиа Ц. Г., Шестаков И. Я., Фадеев А. А., 2014

УДК 004.942.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Т. В. Пискажова, А. В. Завизин, А. В. Линейцев, С. М. Тинькова

Институт цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета Российская Федерация, 660025, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 95 E-mail: zavizin.anton@yandex.ru

Несмотря на значительное разнообразие теплового оборудования, используемого в цветной металлургии, вопрос совершенствования металлургических печей и разработки новых алгоритмов управления остается актуальным. Улучшения могут быть направлены на энергосбережение, удешевление и увеличение срока службы печей. При этом построение 3D-моделей сложносоставного технологического оборудования с высокой степенью детализации и проведение расчетов физических полей является необходимым условием современной конструкторской и технологической деятельности.

Создана трехмерная модель тигельной печи conpomuвления с использованием программы SolidWorks. Проведены расчеты температурных полей в SolidWorks Flow Simulation при различных значениях мощности нагревателей. Показана применимость программы SolidWorks для возможной оптимизации конструкции и режимов работы металлургического печного оборудования.

Ключевые слова: тигельная печь сопротивления, модель, температура.

3D-MODELING OF THERMAL WORK OF RESISTANCE-HEATED POT-TYPE FURNACE

T. V. Piskazhova, A. V. Zavizin, A. V. Lineytsev, S. M. Tinkova

Siberian Federal University Institute of Nonferrous Metals and Materials 95, Krasnoyarskiy Rabochiy Av., Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation E-mail: zavizin.anton@yandex.ru

Despite the considerable variety of thermal equipment used in non-ferrous metallurgy, the issue of improving of metallurgical furnaces and development of new control algorithms remains topical. Improvements can be made to energy saving, cost reduction and increased service life of furnaces. In this case the construction of 3D models of a multi-

processing equipment with a high degree of detail and carrying out the calculations of physical fields are necessary for the modern design and technological activities.

A 3D model of resistance-heated pot-type furnace with the use of SolidWorks has been created. The calculations of the temperature fields in SolidWorks Flow Simulation for different values of capacity of the on-greately have been done. The applicability of SolidWorks for possible optimization of designs and operating modes of the metallurgical furnace equipment is shown.

Keywords: resistance-heated pot-type furnace, model, temperature.

В связи с огромным разнообразием видов цветных металлов и процессов их обработки, тепловое оборудование, используемое в цветной металлургии, различается по конструкции, механизмам нагрева и функциональности [1]. При этом остается актуальным вопрос оптимизации конструкции и режимов работы металлургических печей. Совершенствование тепловых устройств и разработка алгоритмов управления могут быть направлены на энергосбережение, удешевление и увеличение их срока службы.

Одним из путей решения этой проблемы является моделирование теплового и напряженно-деформированного состояния работающей или проектируемой печи в среде SolidWorks для выполнения оптимизационных расчетов по заданному технико-экономическому критерию. Программный комплекс SolidWorks предназначен для автоматизации работ на этапах конструкторской и технологической подготовки производства изделий любой степени сложности и назначения [2].

Имеется определенный опыт использования SolidWorks для оптимального проектирования в машиностроении [3; 4], но в металлургии пока этот перспективный подход применяется мало в связи с недостаточным качеством моделей печей.

Целью настоящей работы является построение 3D-модели сложносоставного технологического оборудования с высокой степенью детализации.

Ограничимся рассмотрением печного оборудования резистивного типа. Эти печи обладают некоторыми общими характеристиками, которые обусловливают их широкое применение в производстве и обработке цветных металлов:

- сравнительная простота конструкции;
- относительно невысокая стоимость;
- возможность применения для обработки широкой номенклатуры цветных металлов;
- применение одной и той же печи для различных режимов термообработки, отличающихся уровнем и режимом изменения температуры, продолжительностью процесса;
- возможность точного регулирования температурного режима обработки цветных металлов;
- возможность контролирования атмосферы в рабочем объёме печи;
 - высокий коэффициент полезного действия;
- возможность улучшения санитарно-гигиенических условий труда в литейных цехах.

Одним из наиболее распространённых видов оборудования являются тигельные печи сопротивления на температуры от 600 до 1000 °C с объёмом рабочего пространства от 0.1 до 0.5 м³ (рис. 1).

Конструктивно электропечь является шахтной, с тиглем, изготовленным из жаропрочной стали или чугуна.

Шахта электропечи представляет собой цилиндрический кожух, футерованный огнеупорными и теплоизоляционными материалами. Контроль теплового режима рабочего пространства электропечи производится автоматически с помощью встроенных в конструкцию печи термодатчиков и регулятора температуры, расположенного в шкафу управления.

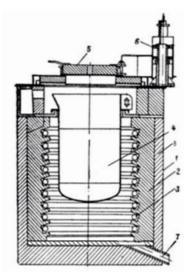


Рис. 1. Тигельная печь сопротивления: I – кожух; 2 – огнеупор; 3 – нагреватели; 4 – тигель; 5 – крышка; 6 – механизм подъема крышки; 7 – отверстие для аварийного слива металла; 8 – теплоизоляция

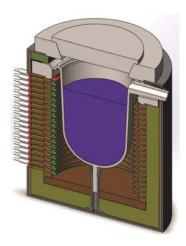


Рис. 2. Трехмерная модель тигельной печи сопротивления

На рис. 2 представлен разрез трехмерной модели тигельной печи сопротивления, разработанной в программе SolidWorks.

Для простоты вычислений данную модель было решено упростить (рис. 3). Были убраны носик для слива металла, выводы от нагревателей, аварийный канал в футеровке.

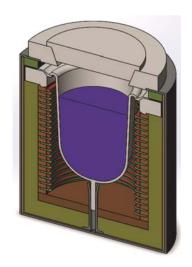


Рис. 3. Упрощенная трехмерная модель тигельной печи сопротивления

Материалы, используемые в данной модели, представлены в табл. 1.

Таблица 1 Теплофизические свойства материалов

Материал	ρ, κг/м ³	c_p , Дж/(кг·К)	λ , BT/(M·K)
Обычная углеродистая сталь	7800	440	43
Асбестовый картон	1250	835	0,157
Диатомит	444	920	0,163
Шамот	1800	865	0,7
Многошамот- ные изделия	2300	865	1,04
Нихром	8400	450	23
Алюминий	2688,9	858-1180*	237–225*

^{*}В диапазоне температур 300-933,4 К

Объем заливаемого металла (алюминия) в тигель составляет $0.14~{\rm m}^3$, а масса заливаемого металла равняется $376.4~{\rm kr}$.

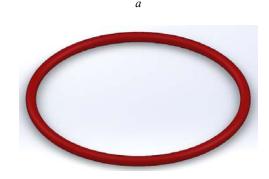
Моделируемая тигельная печь сопротивления имеет 18 нагревателей, расположенных на полочках, изготовленных из многошамотного материала. Нагреватели (рис. 4) изготовлены из нихрома и могут быть представлены в форме спирали (рис. 4, a).

Для удобства расчетов нагреватели будут иметь форму замкнутого кольца (рис. 4, δ).

Расчет тигельной печи сопротивления проводился в программном комплексе SolidWorks в пакете Flow Simulation [5; 6], так как этот пакет позволяет упростить процесс создания расчётной конечно-элементной сетки по сравнению с пакетом Simulation. Также

плюсом данного пакета является более простое задание граничных условий, мощности нагревателя и теплоотдачи излучением от поверхностей. В дальнейшем планируется произвести расчет в пакете Simulation, COMSOL Multiphysics, FloTherm XT для верификации результатов и моделей.





 δ Рис. 4. Форма нагревателя: a – спираль; δ – кольцо

Было проведено несколько расчетов с разными значениями мощности нагревателя, целью которых было нахождение необходимой мощности нагревателей для достижения заданной средней температуры нагрева металла. Во всех расчетах неизменным остается только температура окружающей среды, равная 293 К, и коэффициент внешнего теплообмена, у днища он равен 5 Вт/м²·К, у остальных стенок и крышки — 20 Вт/м²·К. Степень черноты поверхности расплава равняется 0,3, других поверхностей — 0,8. Излучение с внешних поверхностей печи в окружающую среду не учитывалось. Мощность нагревателей менялась со 126 до 40 кВт.

Было определено стационарное распределение температур в печи при нахождении в тигле расплава алюминия. На рис. 5 представлен результат расчета тепловых полей при мощности нагревателей 40 кВт, где значение температуры можно определить по цветовой температурной шкале.

Результаты остальных расчетов сведены в табл. 2, в которой отображены температуры областей печи при различной мощности нагревателей.

В табл. 2 представлены расчетные температуры областей и поверхностей, которые достигаются при указанной мощности в условиях длительной работы печи. В производственной практике известные температуры расплава и кожуха меньше, так как в цехе

работа печи ограничивается временем нагрева металла в тигле до нужной температуры.

По результатам, представленным на рис. 5 и в табл. 2, можно судить о качественной адекватности

тепловых расчетов как по распределению температур, так и по изменению температур областей при изменении подведенной мощности.

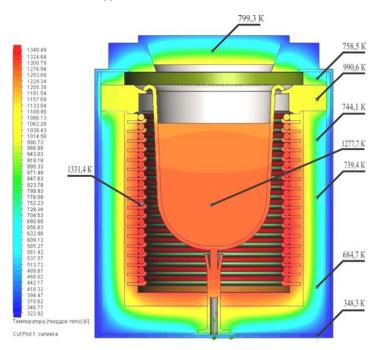


Рис. 5. Распределение температуры в тигельной печи сопротивления при мощности нагревателей 40 кВт (на выносках представлены температуры контрольных точек)

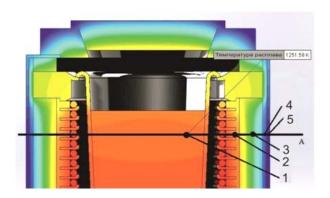


Рис. 6. Температура в контрольной точке на уровне А

Температура, К		Мощя	ность нагрева	телей	
температура, К	126 кВт	100 кВт	80 кВт	60 кВт	40 кВт
Средние температуры:					
в металле	1680,96	1578,56	1484,18	1417,05	1265,24
нагревателей	1766,64	1658,24	1559,10	1472,26	1315,16
тигля	1588,88	1489,98	1399,39	1366,50	1219,37
крышки	983,16	903,63	830,41	671,98	608,16
кожуха	427,15	427,17	413,82	402,82	382,62
Температуры на уровне А (рис. 6):					
в контрольной точке 1	1641,09	1545,21	1454,57	1399,36	1251,59
в контрольной точке 2	1650,20	1547,49	1467,33	1387,37	1248,55
в контрольной точке 3	1017,88	930,49	910,80	837,78	749,67
в контрольной точке 4	485,47	458,05	454,02	438,37	430,60
в контрольной точке 5	409,24	400,36	389,28	384,86	369,49

Разработана 3D-модель тигельной печи сопротивления, выполнены расчеты стационарных тепловых полей при работе печи с различной подведенной мощностью. Качественная адекватность расчетов позволяет использовать инструменты программного пакета SolidWorks для автоматического поиска оптимальных конструктивных и технологических решений.

Библиографические ссылки

- 1. Гутман М. Б., Кацевич Л. С., Лейканд М. С. Электрические печи сопротивления и дуговые печи. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.
- 2. SolidWorks Russia [Электронный ресурс]. URL: http://www.solidworks.ru (дата обращения 06.03.2014).
- 3. Константинов А. Д., Щербаков А. Н. Оптимизация отбора тепла нагретых газов // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовки кадров : материалы Междунар. науч.техн. конф. ААИ, посвященной 145-летию МГТУ МАМИ. Сер. 9, Техническая физика. С. 58–68.
- 4. Митясов С., Есавкин К. Технологии SolidWorks для проектирования приборов точной механики // САПР и графика. 2010. № 12. С. 102–104.
- 5. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. SolidWorks 2009 на примерах. СПб. : БХВ-Петербург, 2009. 544 с.
- 6. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПБ. : БХВ-Петербург, 2012. 448 с.

References

- 1. Gutman M. B., Kacevich L. S., Lejkand M. S. *Jelektricheskie pechi soprotivlenija i dugovye pechi* [Electric resistance furnaces and arc furnaces]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 360 p.
- 2. SolidWorks Russia, Available at: http://www.solidworks.ru (accessed 6 March 2014).
- 3. Konstantinov A. D., Shherbakov A. N. Optimizing choice heated gases [Optimizacija otbora tepla nagretyh gazov]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii AAI "Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: prioritety razvitija i podgotovki kadrov", posvjashhennoj 145-letiju MGTU MAMI, serija 9 "Tehnicheskaja fizika"* [Materials of the International Scientific and Technical Conference AAI "Automobile and Tractor in Russia: Development Priorities and training", dedicated to the 145th anniversary of Moscow State Technical University MAMI Series 9 "Technical Physics"]. Moscow, 2012, p. 58–68 (In Russ.).
- 4. Mitjasov S., Esavkin K. [SolidWorks technology for designing devices for precision mechanics]. *SAPR i grafika*. 2010, no. 12, p. 102–104 (In Russ.).
- 5. Dudareva N. Ju., Zagajko S. A. *SolidWorks 2009 na primerah* [SolidWorks 2009 examples]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2009, 544 p.
- 6. Alyamovskij A. A. *SolidWorks Simulation. Kak reshat' prakticheskie zadachi* [SolidWorks Simulation. How to solve practical problems]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2012, 448 p.

© Пискажова Т. В., Завизин А. В., Линейцев А. В., Тинькова С. М., 2014

УДК 620.197

МОРФОЛОГИЯ И ПОРИСТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ*

Т. В. Трушкина, А. Е. Михеев, А. В. Гирн, Р. В. Алякрецкий, Д. В. Раводина

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: michla@mail.ru

Изучена морфология поверхности покрытий, полученных микродуговым оксидированием в силикатнощелочном электролите при различных режимах обработки. Выявлено, что морфология поверхности зависит от толщины покрытия и соотношения катодной и анодной составляющих тока. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению и расчету общей пористости МДО-покрытий. Установлено, что при повышении времени обработки количество пор в покрытии становится меньше, а их размеры увеличиваются.

Ключевые слова: МДО-покрытие, морфология поверхности, пористость.

MORPHOLOGY AND POROSITY OF THE SURFACE OF OXIDE COATINGS

T. V. Trushkina, A. E. Miheev, A. V. Girn, R. V. Alykretsky, D. V. Ravodina

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: michla@mail.ru

The morphology of the surface coatings obtained by microarc oxidation in silicste-alkalin electrolyte under different processing conditions has been studied. It is revealed that the surface morphology depends on the coating thickness and ratio of the cathode and anodic current components. The results of experimental studies on the definition and calculation of the total porosity with frame surface micrographs of MAO coating are given. It is determined that the processing time increases the number of pores in the coating becomes smaller and their longer dimensions.

Keywords: MAO coating, surface morphology, porosity.

Алюминиевые сплавы широко применяются в аэрокосмической и других областях промышленности, что связано с их высокими удельными характеристиками. Однако существуют области, где применение этих сплавов ограничено из-за невысокой твердости, износо- и коррозионной стойкости. В связи с этим актуальной является задача повышения поверхностных характеристик алюминиевых сплавов. Перспективным методом осуществления этой задачи является микродуговое оксидирование (МДО) [1].

МДО-покрытия обладают высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, а также электроизоляционными и декоративными свойствами. В настоящее время широкое применение МДО ограничено недостаточными сведениями о влиянии технологических параметров на структуру и свойства оксидных покрытий. Данная работа посвящена изучению влияния технологических параметров процесса МДО на структуру и свойства покрытий [2–4].

Экспериментальные исследования по определению морфологии и пористости МДО-покрытий были проведены на алюминиевом сплаве АМг-6, который широко применяется в машиностроении при производстве летательных и космических аппаратов. Для изготовления образцов был использован листовой прокат толщиной 1 мм, из которого были изготовлены образцы размером 100×100 мм. Формирование покрытий производилось на установке ИАТ-Т в силикатно-щелочном электролите, содержащем КОН (4 г/л) и Na_2SiO_3 ($10~r/\pi$). В процессе обработки менялись следующие технологические параметры:

- время обработки 30 и 60 мин;
- плотность тока в диапазоне от 10 до 30 A/дм 2 ;
- соотношение катодной и анодной токовых составляющих (0,6-1,2).

Исследования стехиометрии и фазового состава полученных покрытий описаны в работе [4], выявлено, что покрытия состоят из двух основных слоев:

- 1) внешнего очень пористого и непрочного слоя, содержащего муллит и различные химические комплексы, которые образуются за счет электрохимических реакций;
- 2) твердого слоя, примыкающего к металлу и содержащего преимущественно кристаллический оксид алюминия двух модификаций: α - Al_2O_3 и γ - Al_2O_3 .

Металлографический анализ поперечных шлифов выявил четкую границу раздела фаз верхнего пористого очень рыхлого слоя и глубже — плотного менее пористого твердого слоя (рис. 1).

Важным параметром процесса МДО является соотношение катодной и анодной составляющих, которое наряду со временем обработки сильно влияет на толщину покрытия, пористость и шероховатость поверхности. Анализ морфологии поверхности проводился с помощью рентгеновского энергодисперсионного спектрометра ARL QUANT'X Thermo Fisher Scientific.

На рис. 2 представлены микрофотографии морфологии поверхности полученных МДО-покрытий.

На электронно-микроскопических изображениях видны поры, диаметр которых достигает 3–5 мкм. С увеличением соотношения катодной и анодной составляющих по току идет изменение структуры морфологии поверхности с уменьшением размера пор. Также наблюдаются внутренние поры, диаметр которых составляет 0,1–0,2 мкм.

Поры могут иметь разнообразную форму (точечная, канальчатая пористость) и значительно отличаться по размерам. Пористость МДО-покрытий варьируется в интервале от 5 до 50 %, размеры пор колеблются от 0,01 до 10 мкм. Строение пор при толщине покрытия более 5-10 микрон сложное, разветвленное, с множеством ответвлений и замкнутых пространств. При необходимости пористость может быть понижена с помощью пропитки различными материалами либо с помощью нанесения слоя полимера (красителя). Наиболее часто применяется пропитка фторопластами и нанесение полимерных порошковых красок. Покрытия, не содержащие пор, получить невозможно, что обусловлено природой процесса. В ряде случаев пористость является положительным фактором. При работе покрытия на износ в условиях смазки, последняя входит в поры покрытия и обеспечивает постепенное поступление в зону трения. В медицине биоактивные МДО-покрытия могут содержать в порах лекарственные препараты [2].

Значительную площадь на поверхности занимают поры в виде кратера, которые образуются при воздействии локальных разрядов. Их микроструктура визуализируется с оплавленными краями (рис. 3).

Быстрое затвердевание расплавленного оксида алюминия образует микротрещины и скопления частиц на разрядных каналах и вокруг них. Пора-кратер состоит из наружной стенки с центральным кратером, внутренней стенки и внутренней полости между ними. Большее количество альфа-фазы находится во внутренних слоях покрытия из-за низкой скорости охлаждения расплавленного оксида алюминия. При высокой скорости охлаждения формируется большое количество гамма-фазы оксида алюминия.

^{*} Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Российской Федерации, государственный контракт № 02.G2531.0043.

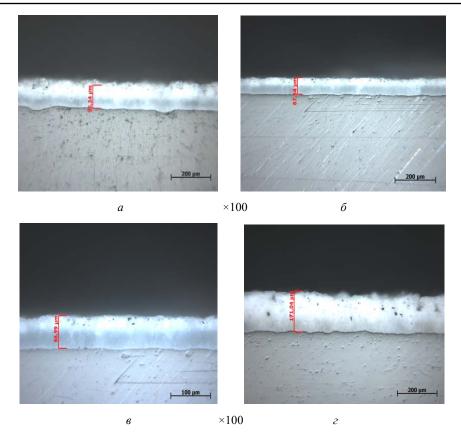


Рис. 1. Микрофотографии поперечного шлифа с МДО-покрытием: $a-I_k/I_a=0,6;~~\delta-I_k/I_a=0,8;~~ s-I_k/I_a=0,1;~~ \varepsilon-I_k/I_a=1,2$

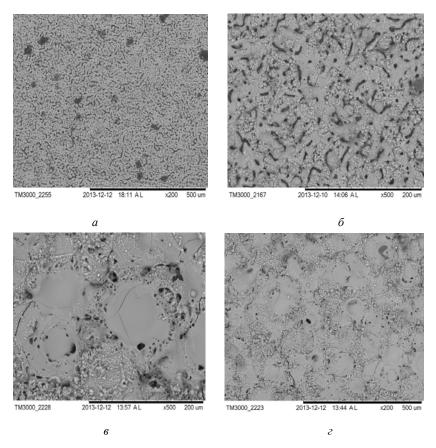


Рис. 2. Морфология поверхности образцов: $a, \ \delta$ – тонкослойное МДО-покрытие 19 мкм; $b, \ \varepsilon$ – толстослойное МДО-покрытие 61 мкм

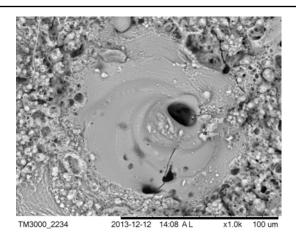


Рис. 3. Микрофотография поры-кратера Гидрооксид алюминия и бемит, образовавшиеся в начальный момент, при повышении температуры преобразовываются в одну из фаз оксида алюминия:

$$AIOH_3 \rightarrow 450-750 \text{ °C} \rightarrow \gamma-Al_2O_3 \tag{1}$$

$$AlOH_3 \rightarrow > 1100 \, ^{\circ}C \rightarrow \alpha - Al_2O_3$$
 (2)

Alooh
$$\rightarrow$$
 450–750 °C $\rightarrow \gamma$ -Al₂O₃ (3)

Alooh
$$\rightarrow > 1100 \,^{\circ}\text{C} \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$$

Основными химическими элементами, присутствующими в МДО-покрытии, является Al, O, Si. Наиболее вероятными соединениями и фазами на поверхности обработанного с помощью МДО алюминия в силикатно-щелочном электролите являются фазы оксида алюминия, фазы кремнезема, фазы алюмосиликата [2]. Вблизи кратера наблюдается повышенное содержание оксида алюминия, при удалении от кратера содержание оксида алюминия снижается, в то время как содержание оксида кремния увеличивается.

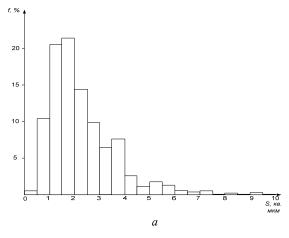
Определение общей пористости проводили с помощью программы Siams 700, для чего с кадров микрофотографий морфологии поверхности полученных образцов при увеличении ×200 производили визуальный подсчет пор-кратеров методом выделения каждой области темного цвета на фоне общей светлой площади образца. Результаты определения количества и размеров пор представлены в таблице.

Результаты измерения пористости МДО-покрытий

Параметры	Толщина покрытия, мкм					
	17	19	28	37	61	
Число пор	5,013·10 ⁵	$2,016\cdot10^{5}$	1,941·10 ⁵	$0,985 \cdot 10^5$	$0,893 \cdot 10^5$	
на 1 см ²						
Площадь:						
минималь-	0,56	9,20	0,44	0,43	0,88	
ное значение,						
MKM ²						
максималь-	62,01	395,07	9,67	75,18	221,63	
ное значение,						
MKM ²						
среднее	8,22	30,41	2,30	7,32	8,21	
значение,						
MKM ²						
СКО, мкм ²	8,83	24,76	1,34	12,02	13,28	
Медиана,	4,80	24,09	1,76	2,61	4,84	
MKM ²						
Размах, мкм ²	6,59	14,61	0,98	4,19	4,24	

Распределение пор по размеру представлено на рис. 4.

Число пор в тонкослойных покрытиях высокое и достигает $5{,}013 \cdot 10^5$ на 1 см 2 . Из них примерно 98 % составляют поры с минимальной площадью S = 0,56 мкм² и примерно 1–2 % занимают поры с площадью до S = 395 мкм². В толстослойных покрытиях количество пор снижается и составляет $0.893 \cdot 10^5$ на 1 см². Поры с максимальной площадью S = 221,63 мкм² занимают примерно 96 %, и 3–4 % занимают поры с площадью до $S = 0.88 \text{ мкм}^2$.



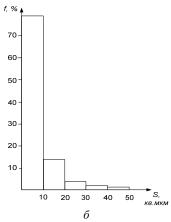


Рис. 4. Распределение пор по размеру: а – тонкослойные МДО-покрытия;

- δ толстослойные МДО-покрытия

Зависимость количества пор от толщины покрытия представлена на рис. 5.

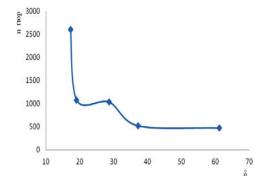


Рис. 5. Зависимость количества пор образцов с МДО-покрытием от толщины покрытия

По результатам расчетов среднего значения пор наблюдается тенденция к снижению количества пор с ростом толщины покрытия.

Исследования показали, что характер пористости оксидного покрытия зависит от толщины, а следовательно, от технологических режимов обработки. Установлено, что минимальная пористость покрытий получена при следующих режимах: плотность тока — $15~{\rm A/дm}^2$, напряжение до $520~{\rm B},$ $I_k/I_a=0,8$ и время обработки — $60~{\rm muh}.$ Объясняется это тем, что осаждение оксида происходит и внутри пор, что приводит к уменьшению их диаметра и постепенному зарастанию. Процесс зарастания пор ведет к снижению значения объёмной пористости до 8-10~%.

Библиографические ссылки

- 1. Микродуговое оксидирование: теория, технология, оборудование / И. В. Суминов [и др.]. М. : Экомет, 2005. 368 с.
- 2. Михеев А. Е., Трушкина Т. В., Гирн А. В., Ивасев С. С. Химические процессы при микродуговом оксидировании // Вестник СибГАУ. 2013. № 2(48). С. 212–216.
- 3. Тихонов В. Н. Аналитическая химия алюминия. М.: Наука, 1971. 266 с.

4. Трушкина Т. В., Михеев А. Е., Гирн А. В. Коррозионная стойкость МДО-покрытий в агрессивных средах // Вестник СибГАУ. 2013. № 1 (53). С. 179–184.

References

- 1. Suminov I. V. Epel'fel'd A. V., Lyudin V. B. [et al.] *Mikrodugovoe oksidirovanie: teoriya, tekhnologiya, oborudovanie* [Microarc oxidation theory, technology and equipment]. Moscow, Ekomet Publ., 2005, 368 p.
- 2. Miheev A. E., Trushkina T. V., Girn A. V., Ivasev S. S. [Chemical processes at microarc oxidation]. *Vestnik SibGAU*. 2013, vol. 48, no. 2, p. 212–216 (In Russ.).
- 3. Tihonov V. N. *Analiticheskaya khimiya aluminiya* [Analytical chemistry of aluminium]. Moscow, Nauka Publ., 1971, 266 p.
- 4. Trushkina T. V., Miheev A. E., Girn A. V. [Corrosion resistance of MAO coatings in corrosive environments]. *Vestnik SibGAU*. 2014, vol. 53, no. 1, p. 179–184 (In Russ.).

© Трушкина Т. В., Михеев А. Е., Гирн А. В., Алякрецкий Р. В., Раводина Д. В., 2014

УДК 628.16.087

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ ПРИ БАРБОТИРОВАНИИ ВОЗДУХОМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ КОАГУЛЯЦИЕЙ И ОТСТАИВАНИЕМ

И. Я. Шестаков¹, О. В. Раева²

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: yakovlevish@mail.ru

²OAO «Красмаш»

Российская Федерация, 660123, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 29 E-mail: O.V.Raeva@yandex.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований очистки воды от ионов металлов комбинированным способом, заключающимся в электрохимическом воздействии переменным током при барботировании воздухом с последующей коагуляцией и отстаиванием. Наибольшая степень очистки воды достигается при пропускании через очищаемую воду переменного асимметричного тока с использованием нерастворимых разнородных электродов (нержавеющая сталь 12X18H10T, титановый сплав OT 4-0) при барботировании воздухом, введении коагулянта — сернокислого железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ в соотношении начальных концентраций ионакомплексообразователя и удаляемого иона 5:1 и отстаивании воды в течение 8 суток.

Ключевые слова: вода, электрохимическое воздействие, барботирование воздухом, переменный ток, коагулянт, отстаивание.

WATER CLEANING FROM METAL IONS BY ELECTROCHEMICAL TREATMENT WITH ALTERNATING CURRENT AND AIR BUBBLING FOLLOWED BY COAGULATION AND SETTLING

I. Ya. Shestakov¹, O. V. Rayeva²

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: yakovlevish@mail.ru

²JSC Krasmash

29, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660123, Russian Federation E-mail: O.V.Raeva@yandex.ru

The article presents the results of experimental studies of water cleaning from metal ions by combined method which includes the electrochemical treatment by alternating current and simultaneous air bubbling followed by coagulation and settling. The highest degree of water cleaning from all considered metal ions is achieved by passing through water to be cleaned the asymmetrical alternating current using dissimilar insoluble electrodes (stainless steel 12X18H10T, titanium alloys OT 4-0) at air bubbling, introducing coagulant – ferrous sulfate $FeSO4.7H_2O$ with the initial ratio of concentration complex forming ion and exhaust ion 5:1 and water settling for 8 days.

Keywords: water, electrochemical treatment, air bubbling, AC current, coagulant, settling.

Загрязнение воды является одной из острейших экологических проблем в мире. Более 90 % сточных вод сбрасывается в открытые водоемы без предварительной очистки. В большей мере причиной тому являются сточные воды гальванических производств, содержащие целый ряд ионов металлов, пагубно воздействующих на здоровье людей и окружающую среду. Поэтому рациональное использование водных ресурсов и сохранение чистоты природных вод стало одной из актуальных проблем человечества.

В настоящее время существует большое количество способов очистки воды и водных растворов – механические, химические, электрические, физические, биологические, комбинированные и др. [1]. Например, для очистки воды от железа эффективно используется отстаивание, от меди, никеля, хрома (VI) широко применяют электрокоагуляцию, ионообменные технологии, биологическую очистку и т. д. Сточные воды гальванических производств содержат совокупность различных ионов металлов при концентрации последних 0,5 мг/л и менее. Исследований по комплексной очистке воды от ионов металлов при таких условиях недостаточно.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований очистки воды от ионов металлов комбинированным способом, заключающимся в электрохимическом воздействии переменным током при барботировании воздухом с последующей коагуляцией и отстаиванием.

Электрохимическое воздействие переменным асимметричным током проводили в реакторе с использованием пар нерастворимых разнородных электродов [2–7]. Электрохимический реактор выполнен из чередующихся электродов в виде пластин толщиной 1 мм. Материал пластин: нержавеющая сталь 12X18H10T (3 пластины) и титановый сплав ОТ4-0 (2 пластины). Расстояние между электродами 12 мм. Электроды подключали параллельно к источнику переменного тока частотой 50 Гц. Барботирование очищаемой воды проводили воздухом,

который пропускали через воду при помощи компрессора по трубкам, расположенным между электродами. Отверстия для прохода воздуха равномерно распределены по длине трубки. Наружный диаметр трубки равен расстоянию между электродами – 12 мм, диаметр отверстий 1 мм. Объем заливаемой воды 1 л. Переменный электрический ток пропускали через воду в течение 10 мин при силе тока 0,5 А и напряжении на клеммах электродов 5,6 В. В воде растворяли соли Cd(II), Cu(II), Ni(II), Cr(VI) и Fe(III) при средней концентрации каждого иона 0,5 мг/л.

После электрохимической обработки в воду добавляли коагулянт — сернокислое железо $FeSO_4$ · $7H_2O$ при различном соотношении начальных концентраций иона-комплексообразователя и удаляемого иона (C_{oFe}^{2+}/C_{oi}) . При введении в воду коагулянта происходило его растворение и электролитическая диссоциация с последующим образованием малорастворимого гидрата окиси железа (III), выпадающего в осадок в виде хлопьев и выступающего в качестве комплексообразователя. Соотношение начальных концентраций иона-комплексообразователя и удаляемого иона (C_{oFe}^{2+}/C_{oi}) изменяли от 1:1 до 5:1. Далее воду отстаивали в закрытых емкостях при температуре 20–25 °C и атмосферном давлении. Время отстаивания воды (τ_{orc}) изменяли от 1 до 8 суток.

Опыты проводили с использованием лабораторных автотрансформаторов ЛАТР-220-9 и компрессора АСО-308 30W. Для регистрации параметров процесса использовали стандартные приборы — вольтметр (класс точности 0,4), амперметр (0,5), осциллограф С1-83 (0,5).

Принципиальная схема экспериментальной установки и схема электрохимического реактора представлены на рис. 1, 2.

Степень очистки определяли по формуле

$$Y = \left(\frac{C_{\rm o} - C_{\rm k}}{C_{\rm o}}\right) 100 \, [\%],$$

где $C_{\rm o}$, $C_{\rm k}$ начальная и конечная концентрации удаляемого иона металла, мг/л.

Удельные энергозатраты W на очистку единицы объема воды складывались из затрат электроэнергии на электрохимическую обработку воды W_{\Im} и на работу компрессора $W_{\Bbb K}$:

$$W = W_{\mathfrak{I}} + W_{K} [\kappa B_{T} \cdot \mathbf{q})/M^{3}],$$

$$W_{\Im} = \frac{IU\tau_{\rm np}}{V} 10^{-3}, \quad W_{\rm K} = \frac{P_{\rm K}\tau_{\rm np}}{V} 10^{-3},$$

где I — сила тока, A; U — напряжение на клеммах электродов, B; $\tau_{\rm np}$ — время пропускания электрического тока через очищаемую воду, ч; V — объем заливаемой воды, ${\rm M}^3$; $P_{\rm K}$ — мощность компрессора, ${\rm BT}$; 10^{-3} — переводной коэффициент из ${\rm BT}$ в ${\rm kBT}$.

Исследование влияния соотношения начальных концентраций иона комплексообразователя и удаляемого иона на степень очистки воды проводилось при постоянном времени отстаивания (8 суток).

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 3.

Исследование влияния времени отстаивания воды на степень очистки проводилось при постоянном соотношении начальных концентраций ионакомплексообразователя и удаляемого иона (5:1).

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 4.

Эксперименты показали, что повышение соотношения начальных концентраций иона-комплексообразователя и удаляемого иона металлов более чем 5:1 и времени отстаивания более 8 суток не приводят к существенному увеличению степени очистки воды от ионов.

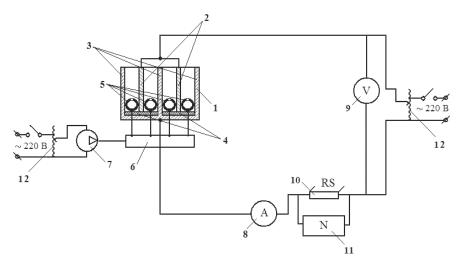


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: I – корпус; 2 – титановые электроды OT4-0; 3 – стальные электроды 12X18H10T; 4 – пластины диэлектрические (оргстекло); 5 – трубки ПВХ; 6 – ресивер; 7 – компрессор ACO-308; 8 – амперметр; 9 – вольтметр; 10 – шунт измерительный; 11 – осциллограф C1-83; 12 – автотрансформаторы

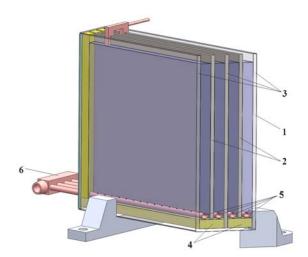


Рис. 2. Схема электрохимического реактора: 1 – корпус; 2 – титановые электроды ОТ4-0; 3 – стальные электроды 12Х18Н10Т; 4 – пластины диэлектрические (оргстекло); 5 – трубки ПВХ; 6 – ресивер

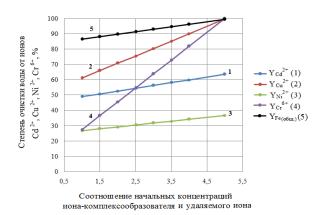


Рис. 3. Зависимость степени очистки воды от соотношения начальных концентраций ионакомплексообразователя и удаляемого иона (степень очистки воды от: 1 – кадмия; 2 – меди; 3 – никеля; 4 – хрома; 5 – железа)

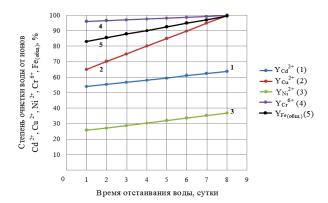


Рис. 4. Зависимость степени очистки воды от времени отстаивания воды (степень очистки воды от: 1 – кадмия; 2 – меди; 3 – никеля; 4 – хрома; 5 – железа)

При увеличении соотношения начальных концентраций от 1:1 до 5:1 степень очистки увеличивается для кадмия в 1,3 раза, меди – в 1,6 раза, никеля – в 1,4 раза, хрома – в 3,8 раза и железа – в 1,2 раза.

При увеличении времени отстаивания воды от 1 до 8 суток степень очистки увеличивается от кадмия в 1,2 раза, меди – в 1,5 раза, никеля – в 1,5 раза, хрома – в 1,1 раза и железа – в 1,2 раза.

Экспериментальные исследования показали, что наибольшая степень очистки воды от всех рассматриваемых ионов металлов достигается комбинированным способом, заключающимся в пропускании через очищаемую воду переменного асимметричного тока с использованием нерастворимых разнородных электродов (нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, титановый сплав ОТ 4-0) при барботировании воздухом, введении коагулянта – сернокислого железа FeSO₄·7H₂O в соотношении начальных концентраций иона-комплексообразователя и удаляемого иона 5:1 и отстаивании воды в течение 8 суток. При этом степень очистки воды равна: от кадмия -63.3%, от меди -99.1%, от никеля – 36,3 %, от хрома – 98,4 % и от железа – %. Удельные 99,3 энергозатраты составляют $W = 1.8 (\kappa B_T \cdot \Psi)/M^3$.

Комбинированный способ очистки позволил очистить воду от ионов хрома (VI), меди (II) и железа до ПДК. Для очистки воды от ионов никеля и кадмия необходимо подобрать другой коагулянт.

Библиографические ссылки

- 1. Аксенов В. И. [и др.]. Водное хозяйство промышленных предприятий : справочное издание. В 2 кн. Кн. 1 / под ред. В. И. Аксенова. М. : Теплотехник, 2005.640 с.
- 2. Способ очистки воды и водных растворов от анионов и катионов : патент РФ 2213701 : С 02 F 1/46 С 02 F 103:16. / Стрюк А. И., Шестаков И. Я., Фадеев А. А., Фейлер О. В., Сурсяков А. А., Кушнир А. А. Опубл. 10.10.2003. Бюл. № 28.
- 3. Установка очистки воды и водных растворов от анионов и катионов : а. с. 18532 : С 02 F 1/46 /

- А. И. Стрюк, И. Я. Шестаков, А. А. Фадеев, О. В. Фейлер, А. А. Сурсяков, А. А. Кушнир. Опубл. 27.06.01, Бюл. № 18.
- 4. Способ электрохимической очистки воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов : а. с. 1724591 : С 02 F 1/46 / И. Я. Шестаков, В. Г. Вдовенко. Опубл. 07.04.92, Бюл. № 13.
- 5. Шестаков И. Я., Раева О. В., Фейлер О. В. О механизме электрохимической очистки сточных вод переменным током // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 1(34). С. 147–150.
- 6. Шестаков И. Я., Раева О. В. Электрохимический метод очистки сточных вод переменным током // Техника и технологии. СФУ. 2011. № 4/3. С. 348–355.
- 7. Шестаков И. Я., Раева О. В., Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г. Исследование очистки воды электрохимическим способом в нестационарном электрическом поле с последующей коагуляцией [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/107-8154 (дата обращения: 10.03.2014).

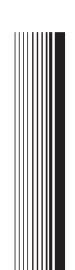
References

- 1. Aksenov V. I., Ladygichev M. G., Nichkova I. I., Nikulin V. A., Klyain S. E., Aksenov E. V. *Vodnoe hozjajstvo promyshlennyh predprijatij* [Water equipment of the industrial enterprises]. Moscow, Teplotekhnik Publ., 2005, 640 p.
- 2. Stryuk A. I., Shestakov I. Ya., Fadeev A. A., Feiler O. V., Sursyakov A. A., Kushnir A. A. *Sposob ochistki vody i vodnykh rastvorov ot anionov i kationov* [A method of purifying water and aqueous solutions of anions and cations]. Patent RF, no. 2213701, 2003.
- 3. Stryuk A. I., Shestakov I. Ya., Fadeev A. A., Feiler O. V., Sursyakov A. A., Kushnir A. A. *Ustanovka ochistki vody i vodnykh rastvorov ot anionov i kationov* [Installation of the purification of water and aqueous solutions of anions and cations]. Author's certificate no. 18532, Publ. in B.I., no. 18, 2001.
- 4. Shestakov I. Ya., Vdovenko V. G. *Sposob elektrokhimicheskoy ochistki vody i vodnykh rastvorov ot ionov tyazhelykh metallov* [Installation of the purification of water and aqueous solutions of anions and cations]. Author's certificate no. 1724591, Publ. in B.I., no. 13, 1992.
- 5. Shestakov I. Ya., Raeva O. V., Feiler O. V. [On the mechanism of electrochemical wastewater alternating current]. *Vestnik SibGAU*. 2011, vol. 34, no. 1, p. 147–150 (in Russ.).
- 6. Shestakov I. Ya., Raeva O. V. [Electrochemical method of wastewater alternating current]. *Tekhnika i tehnologii*. *SFU*. 2011, no. 4/3, p. 348–355 (in Russ.).
- 7. Shestakov I. Ya., Raeva O. V., Nikiforova E. M., Eromasov R. G. Study of water treatment by electrochemical methods in non-stationary electric field with subsequent coagulation. *Journal of Modern problems of science and education*, 2013, no. 1, available at: www.science-education.ru/107-8154. (accessed 10.03.2014).

© Шестаков И. Я., Раева О. В., 2014

Раздел Part 4

ЭКОНОМИКА ECONOMICS



УДК 332.1

ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОГО И СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН ИННОВАЦИЙ

В. М. Аврамчиков, А. Н. Антамошкин

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: opk-11@yandex.ru

Рассматриваются проблемы, связанные с недостаточностью эффективных механизмов продвижения инноваций в социально-экономической системе. Отмечается высокая практическая значимость развития в центрах инновационного развития функции управления продвижением инноваций на стадии их роста и экспансии, что позволит обеспечить инновационное содержание экономики и реализацию ключевых конкурентных преимуществ. Систематизированы направления взаимодействия волн инноваций, позволившие разработать систему показателей оценки мультипликативного и синергетического эффектов взаимодействия волн инноваций, учитывающую степень взаимодополняемости инноваций, что способствует повышению эффективности деятельности центров инновационного развития по продвижению инноваций в социально-экономической системе.

Ключевые слова: инновации, распространение инноваций, взаимодействие волн инноваций, мультипликативный и синергетический эффекты.

TOOLS OF THE ASSESSMENT OF MULTIPLICATIVE AND SYNERGETIC EFFECTS OF INTERACTION OF INNOVATIONS WAVES

V. M. Avramchikov, A. N. Antamoshkin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: opk-11@yandex.ru

In this article the problems connected with insufficiency of effective mechanisms of innovations promotion in social and economic system are considered. The high practical importance of development in the centers of innovative development of function of management by innovations promotion at the stage of their growth and expansion that will allow to provide the innovative maintenance of economy and realization of key competitive advantages is noted. The author has systematized the directions of interaction of innovations waves, allowed to develop the system of indicators of an assessment of multiplicative and synergetic effects of interaction of innovations waves, considering the degree of innovations complementarity that promotes the increase of the efficiency of the centers of innovative development activity on advance of innovations in social and economic system.

Keywords: innovations, distribution of innovations, interaction of waves of innovations, multiplicative and synergetic effects.

Основной целью государственной политики в области науки и технологий является переход к инновационному развитию. Для социально-экономических систем развитие инновационной деятельности и формирование экономики, основанной на знаниях, имеет особое значение, поскольку в любой экономической системе конкурентоспособными могут быть только высокотехнологичные и наукоемкие производства и предприятия.

- В ходе исследования автором были выявлены и систематизированы основные факторы, оказывающие влияние на уровень инновационности региональной социально-экономической системы [1]:
- степень разработанности законодательной базы, обеспечивающей инновационное развитие социальноэкономической системы и продвижение инноваций;

- состояние инновационного климата, способствующего развитию инновационных предприятий, в том числе и в сфере малого и среднего бизнеса;
- полнота использования имеющегося инновационного потенциала социально-экономической системы, определяющая степень вовлечения в сферу инновационной деятельности природных ресурсов;
- степень развитости рыночной инновационной инфраструктуры в экономике, создающей условия для активизации инновационных процессов;
- степень обновления продукции и ее техникоэксплуатационного состояния, определяющая повышение конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках:
- активность международного научно-технического сотрудничества и выход на мировой рынок;

 скорость освоения и массового распространения результатов научных исследований и технических разработок.

В ходе исследования выделены основные проблемы инновационного развития социально-экономической системы (на примере развития экономики Красноярского края в 2011 г.) [2]:

- высокий удельный вес отраслей с низким технологическим укладом в структуре экономики с преобладанием (78 %) отраслей 4-го технологического уклада: добыча нефти и газа, цветная металлургия;
- монопрофильность экономики, высокая зависимость от конъюнктуры мирового рынка и преобладание в структуре экспорта (69 %) минерального сырья;
- низкая мотивация к вкладыванию средств в науку и технические разработки и низкий удельный вес объема инновационной продукции в составе ВРП: в РФ он составил 4 %, в Красноярском крае -1 %, при пороговом значении данного показателя 20 %;
- недостаточный уровень развития хозяйственнопроизводственной и рыночной инфраструктур и каналов коммуникаций по продвижению инноваций, наличие слабого спроса на инновации со стороны организаций;
- недостаточность собственных средств предприятий, средств государственной финансовой поддержки и низкий платежеспособный спрос на инновационные продукты;
- высокая стоимость нововведений и длительный срок окупаемости новшеств;
- недостаточная восприимчивость предприятий к нововведениям, нехватка информации о новых технологиях;
- отсутствие достаточного количества квалифицированного персонала, недостаток возможностей для кооперации с другими инновационно активными предприятиями и научными организациями.

Активность инновационного развития социальноэкономической системы в значительной степени зависит от процесса распространения инноваций. Особенностью инновационного развития социально-экономических систем любого уровня в РФ является недостаточность действия рыночных механизмов, определяющих процесс распространения инноваций:

- мотивации центров инновационного развития к распространению инноваций, основанной на спросе и предложении;
- наличия коммуникационных каналов, обеспечивающих доступность инноваций воспринимающим их субъектам рынка;
- существующих классических рыночных методов распространения инноваций.

Проведенные исследования свидетельствуют, что социально-экономическая система не содержат эффективных механизмов распространения инноваций, учитывающих специфику развития российских территорий, что позволяет сделать вывод о необходимости разработки инструментов управления данным процессом.

Учитывая, что распространение инноваций по территории осуществляется волнообразно, автором вы-

двинута гипотеза о повышении активности их продвижения с использованием эффекта взаимодействия волн взаимозависимых инноваций. В ходе исследования проблемы рассмотрены имеющиеся подходы к классификации инноваций и осуществлена систематизация типов инноваций по признаку их взаимозависимости (табл. 1).

Приведенная систематизация инноваций, позволяющая определить направления взаимодействия существующих инноваций, способствует активизации их распространения за счет использования имеющихся между ними взаимозависимостей.

Степень взамодополняемости и взаимозависимости отдельных видов инноваций определена с помощью экспертных оценок специалистов в области инновационного менеджмента. Наиболее важными для потребителей являются продуктовые инновации, осуществляемые как в форме внедрения новых продуктов, так и в форме совершенствования потребительских характеристик, уже известных на рынке. Группа технологических инноваций включает инновации в области производственных технологий. В результате технологических инноваций, являющихся неотъемлемой частью производства товаров и предоставления услуг, могут быть произведены улучшенные и менее дорогие товары и услуги. Данные изменения в производственных технологиях жизненно важны для повышения конкурентоспособности нового продукта.

Результатом взаимодействия волн взаимодополняющих инноваций является возникновение мультипликативного и синергетического эффектов, усиливающих степень восприятия инноваций в социальноэкономической системе [3].

Мультипликационный эффект возникает в том случае, когда первичный эффект увеличивается благодаря многоразовому использованию соответствующих мероприятий не только на данном, но и на других предприятиях или в других сферах деятельности. Он проявляется в нескольких специфических формах — диффузной и резонансной, а также эффектах «стартового взрыва», сопровождающих возможности акселерации.

Диффузный эффект реализуется в том случае, когда инновация определенного типа распространяется на другие отрасли, благодаря чему происходит мультипликация. Резонансный эффект имеет место, если какая-то инновация в определенной отрасли активизирует и стимулирует развитие других явлений в производственной сфере. Эффект «стартового взрыва» — это своеобразная цепная реакция, дающая начало последующему лавиноподобному увеличению эффекта в той или другой отрасли производства или деятельности. Эффект акселерации может иметь место в любом виде деятельности, он означает ускорение темпов распространения и применения конкретного положительного результата [4].

На состояние и эффективность функционирования инновационного развития социально-экономической системы действует множество внутренних и внешних

факторов. Совместное действие нескольких факторов всегда или почти всегда отличается от суммы отдельных эффектов. Именно это отличие, называемое эффектом синергии, фактором взаимодействия или кооперативным эффектом, является количественным выражением эмерджентности или синергетического эффекта.

В ходе исследования выявлено, что синергетический эффект выражает комбинированное влияние реализации совокупности инноваций на финансово-экономическое состояние центра инновационного развития и социально-экономической системы в целом, тогда как общий эффект превышает сугубо арифметическую сумму влияния каждой инновации в частности, т. е. когда продвижение и реализация каждой инновации усиливает влияние всех других [5].

В связи с вышеизложенным выдвинута гипотеза об использовании центрами инновационного развития мультипликативного и синергетического эффектов,

возникающих при волнообразном распространении инноваций, в управлении их продвижением.

Существующие в настоящее время методы управления инновационным развитием социальноэкономических систем осуществляются с использованием данных официальной статистической отчетности, содержащей ограниченное число показателей, характеризующих эффективность деятельности центров инновационного развития (ЦИР) по продвижению инноваций, что обусловливает необходимость введения дополнительной отчетности по учету оценки эффектов взаимодействия волн инноваций и их влияния на продвижение инноваций.

На основе экспертных оценок специалистов в области инновационного менеджмента уточнена система показателей оценки мультипликативного и синергетического эффектов взаимодействия волн инноваций и их совокупного влияния на продвижение инноваций (табл. 2).

Взаимозависимость типов инноваций*

Таблица 1

Инновационное содержание	Структурная типология инноваций				
типов инноваций	Продуктовые	Процессные	Маркетинговые	Организационные	
	инновации	инновации	инновации	инновации	
4.77			·	·	
1. Продуктовые ин	новации (товар	или услуга)			
Обладающие новыми потребительскими свойствами					
Обладающие новыми техническими характеристиками					
Имеющий новые, не используемые ранее компоненты					
или изготовленные из нового сырья					
Обладающие улучшенными свойствами или способами					
использования					
2. Процессные инновации (новые или изме	ененные техно	логии)		
Новый или значительно улучшенный метод производства					
Новый или значительно улучшенный метод дистрибу-					
ции продукта					
Значительные изменения в технологии производства					
Значительные изменения в производственном обору-					
довании и программном обеспечении					
3. Маркетинговые	инновации (но	вый метод)			
Предполагающий значительные изменения в дизайне					
продукта, его хранении					
Предполагающий значительные изменения в упаковке					
и хранении продукта					
Предполагающий значительные изменения в продви-					
жении продукта на рынок и ценообразовании					
4. Организационны	е инновации (н	овый метод)			
В деловой практике фирмы					
В организации рабочих мест					
Во внешних связях					
— тесная взаимозависимость инноваций; — менее тесная взаимозависимость инноваций; — слабая взаимозависимость инноваций					

156

Система показателей оценки мультипликативного и синергетического эффектов взаимодействия волн инноваций

Группы показателей	Состав групп показателей				
Мультипликативный эффект					
Показатели оценки диффузного эффекта	Число коммерциализированных инноваций, ед. Число акцепторов, воспринимающих инновации (физические и юридические лица), ед. Количество авторских прав на научно-технические разработки и производство инноваций, переданных юридическим и физическим лицам, ед. Число совместных инновационных проектов, созданных с ЦИР-партнерами, ед. Число инновационных технологий, используемых в новых отраслях, ед.				
Показатели оценки резонансного эффекта	Число инноваций-продуктов, производимых в связи с возникновением инноваций в смежных отраслях, ед. Число инноваций-технологий, возникших в связи с производством инновационных товаров, ед. Динамика обновляемости портфеля инноваций, ед. в 5 лет				
Показатели оценки эффекта «стартового взрыва»	Число научно-исследовательских и проектных организаций, проектирующих инновации, возникших за последние 5 лет, ед.: — инновации-продукты; — инновации-процессы Численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, чел.: — инноваций-продуктов; — инноваций-процессов Число инновационных продуктов 6-го технологического уклада, ед. Число цифровых и ІТ-технологий, ед.				
Показатели эффекта акселерации	Темпы роста, в % к предыдущему году: — объема производства инновационной продукции; — числа научно-исследовательских и проектных организаций, проектирующих инновации; — численности исследователей с учеными степенями; — объема прибыли Число технологий, созданных на основе «подрывных» инноваций				
Показатали опанки	Синергетический эффект				
Показатели оценки синергетического эффекта	Объем производства инновационных товаров, работ, услуг, млн руб.: — инноваций-продуктов; — инноваций-процессов Объем затрат, связанный с производством инноваций, млн руб.: — инноваций-продуктов; — инноваций-процессов Число вновь созданных объектов инновационной инфраструктуры, ед. Число экспортируемых передовых производственных технологий, ед. Инвестиции в основной капитал за счет всех источников финансирования, млн руб. Общая рентабельность, % Рентабельность выпускаемой инновационной продукции, % Наличие организационных структур в ЦИР по управлению продвижением инноваций, ед. Численность сотрудников, занятых управлением продвижения инноваций, чел. Объем затрат на продвижение инноваций в общем объеме затрат ЦИР, млн руб. Наличие инвестиционных проектов и бизнес-инициатив, ед. Число инвестиционных проектов и бизнес-инициатив, ед., рассмотренных органами: — государственного управления; — местного самоуправления по изменению существующего законодательства в области инновационной деятельности и изменению инновационного климата, ед., поданных в органы: — государственного управления; — местного самоуправления — местного самоуправления				

Предложенная система показателей оценки мультипликативного и синергетического эффектов взаимодействия волн инноваций, обладающих свойством эмерджентности, позволяет определить степень взаимодействия волн инноваций и повысить эффективность деятельности центров инновационного развития по продвижению инноваций в социально-экономической системе.

Таким образом, для решения задачи оценки мультипликативного и синергетического эффектов взаимодействия волн инноваций, способствующих активизации их продвижения и повышения инновационности развития социально-экономической системы, необходима разработка следующих инструментов:

- дополнительная отчетность по учету распространения инноваций и их взаимодействия;

- развитие в центрах инновационного развития функции управления распространением инноваций;
- система показателей оценки мультипликативного и синергетического эффектов взаимодействия волн инноваций, позволяющих определить их совокупное влияние на продвижение инноваций центрами инновационного развития;
- система мер, осуществляемых в области инновационной и правовой политик и, способствующих развитию в центрах инновационного развития функции управления распространением инноваций с учетом эффекта их взаимодействия.

Библиографические ссылки

- 1. Аврамчиков В. М. Инструменты управления распространением и взаимодействием волн инноваций // Инновационный вестник регион. 2014. № 1 (35). С. 12–17.
- 2. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю [Электронный ресурс]. URL: http://www.krasstat.gks.ru (дата обращения: 12.03.2014).
- 3. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. СПб. : Питер Ком, 1999. 416 с.

- 4. Hiroyuki Itami, Thomas W. Roehl. Mobilizing Invisible Assets. Harvard University Press, 1991. 200 p.
- 5. Эггерсон Р. Проблемы и институты. СПб. : Питер, 2001. 245 с.

References

- 1. Avramchikov V. M. [Tools to control the distribution and interaction of waves of innovation]. *Innovatsionnyy Vestnik Region*. 2014, vol. 35, no. 1, p. 12–17 (In Russ.).
- 2. Territorial'nyy organ Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Krasnoyarskomu krayu [Territorial body of Federal State Statistics Service in Krasnoyarsk Krai]. Available at: http://www.krasstat.gks.ru.
- 3. Ansoff I. *Novaya korporativnaya strategiya* [New corporate strategy]. St. Petersburg, Peter Kom Publ., 1999, 416 p.
- 4. Hiroyuki Itami, Thomas W. Roehl. Mobilizing Invisible Assets. Harvard University Press, 1991. 200 p.
- 5. Eggerson R. *Problemy i instituty* [Problems and institutes]. St. Petersburg, Peter Publ., 2001, 245 p.
 - © Аврамчиков В. М., Антамошкин А. Н., 2014

УДК 65

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

К. И. Горлевский, А. В. Кукарцев, И. В. Огурченок

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: kempf@sibsau.ru

Представлен алгоритм управления инновационными бизнес-процессами предприятия ракетно-космической промышленности. Приведен пример реализации методики управления инновационной деятельностью предприятий ракетно-космической промышленности. Показано применение CALS-технологий как одного из инструментов управления бизнес-процессами для совершенствования системы управления документооборотом предприятия. В качестве другого инструмента управления бизнес-процессами в методике использован продукт структурно-функционального моделирования All Fusion Process Modeler 4.1. Разработаны модели бизнеспроцессов конструкторско-технологической подготовки производства и показатели их эффективности. Представлен анализ разработанных моделей.

Ключевые слова: ракетно-космическая промышленность (РКП), конструкторско-технологическая подго-товка производства, CALS-технологии, модели бизнес-процессов предприятия РКП.

ALGORITHM OF INNOVATIVE BUSINESS-PROCESS OF SPACE-ROCKET INDUSTRY ENTERPRISE MANAGEMENT

K. I. Gorlevsky, A. V. Kukartsev, I. V. Ogurchjonok

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: kempf@sibsau.ru

The algorithm of innovative business-process of space-rocket industry enterprise management is considered in this article. The example of realization of the methodic of innovative activity management on space-rocket industry enterprise is shown. The use of the continuous acquisition and lifecycle support (CALS) technology as an instrument of business-process management for the improvement of the system of enterprise document workflow is considered, too. Another instrument of business-process management of methodics – structural and functional modelling - All Fusion Process Modeler 4.1 - is used in the algorithm. The models of business-process of process design preparation for the production and the factors of their effectiveness are worked up. Moreover, the analysis of models, which worked up in the example, is given in this article.

Keywords: space-rocket industry, process design preparation for the production, CALS-technology space-rocket industry enterprise.

Масштабы предприятий и наукоемкое производство обусловливают высокие требования к управлению предприятиями ракетно-космической отрасли. Управление инновационными бизнес-процессами таких предприятий требует от современных менеджеров высокого уровня владения современными технологиями и инструментами менеджмента.

Для создания эффективной системы управления предприятием РКП необходимо использовать современные методы повышения конкурентоспособности инновационных бизнес-процессов, поскольку инновационная деятельность является основой наукоемкого предприятия. Разработка методологии управления инновационными бизнес-процессами основана на разработке, анализе и использовании инструментов управления бизнес-процессами ракетно-космического предприятия [1].

Апробация общего алгоритма управления бизнеспроцессами предприятия проводилась на одном из ведущих российских предприятий РКП - ОАО «Красмаш» (рис. 1). Решение задачи повышения эффективности конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) неразрывно связано с обеспечением информационной поддержки процессов. Для РКП проблема информационного взаимодействия и применения CALS-технологий особенно актуальна, поскольку она включают в себя НИИ, КБ, основных подрядчиков, субподрядчиков, поставщиков, географически удаленных друг от друга, использующих разнородные компьютерные платформы и программные решения. В целях реализации политики и стратегии на предприятии необходимо постоянно вести работу по определению возможностей для улучшений и других изменений. Для этого необходимо определять возможности для улучшений (или/и изменений) и расставлять приоритеты развития.

Важнейшим методом совершенствования обмена информацией между людьми являются современные информационные технологии. В соответствии с Концепцией информатизации Роскосмоса на 2010–2015 гг. одна из приоритетных целей ОАО «Красмаш» – разработать совместно с организациями-разработчиками регламент обращения конструкторской документации (КД), выполненной в электронной форме согласно требованиям ГОСТ в условиях единого информационного пространства (ЕИП).

Для построения реальной («как есть») и идеальной («как должно быть») моделей бизнес-процессов

предприятия необходимо максимально точно и правильно сформировать модель бизнес-процессов «как есть» для сравнения и анализа реально существующих бизнес-процессов с идеальными, разработанными на основе нормативных документов и оптимизированной с использованием метода разделения административных задач управления (РАЗУ) нагрузки.

Программный продукт для структурнофункционального моделирования All Fusion Process Modeler 4.1 поддерживает описание деятельности на основе функций, потоков данных или работ, интегрируя в одном инструменте все три ключевых аспекта деятельности и позволяя удовлетворить потребности в анализе как самого бизнеса, так и технологии.

Под моделью бизнес-процесса в стандарте IDEFO понимается текстовое и графическое описание системы работ, их исполнителей, регламентирующих деятельность документов, а также информационных и материальных потоков между работами.

Основным процессом в КТПП для ОАО «Красмаш» является технологическая подготовка производства (ТПП). Для разработки модели «как есть» (рис. 2), рассмотрим содержание сети ключевых бизнеспроцессов исследуемой системы (табл. 1).

Подразделения предприятия используют в работе преимущественно КД на бумажных носителях, количество копий которых для них весьма ограничено, что создаёт трудности для доступа к информации. Наряду с прямым использованием документов на бумажных носителях, часть из них вводится в базу данных (БД) предприятия для последующей обработки и получения сводной информации об изделии.

Для создания максимально полного электронного описания изделия необходимо формирование электронной структуры изделия (ЭСИ), содержащей в электронной форме состав изделия, его составных частей, иерархические связи между составными частями, конструкторскую и технологическую документацию (ТД) и другие данные.

Формирование единой ЭСИ с включением в неё КД от организации-разработчика и ТД от предприятияизготовителя возможно только при внедрении CALSтехнологий с применением основных принципов и реализацией базовых технологий.

Во всех подразделениях ОАО «Красмаш», ответственных за ТПП, существует насущная необходимость получения от организации-разработчика КД в электронной форме (в виде 3D-моделей), что позволит значи-

тельно сократить сроки ТПП. Для реализации работы подразделений в условиях ЕИП и ведения единой ЭСИ необходимо обеспечить информационный обмен посредством защищённой среды передачи данных.

Все пользователи электронного архива несут ответственность за сохранность электронных документов и содержащейся в них информации. КД в электронной форме, поступающая на хранение в электронный архив ОТД СГК и участвующая в документообороте, должна быть получена в результате автоматизированного 3D-проектирования.

Статусом оригинала обладают документы, представленные в электронной форме, утвержденные

электронными цифровыми подписями, подтверждающими целостность КД. В электронном архиве PDM-системы документ может находиться в одном из следующих состояний:

- «разработка» (у автора);
- «согласование» (у руководителя, ведущего специалиста);
 - «изменение» (у автора или специалиста);
 - «утвержден» (сдан в архив);
- «аннулирован» (помещен в архив аннулированной документации).

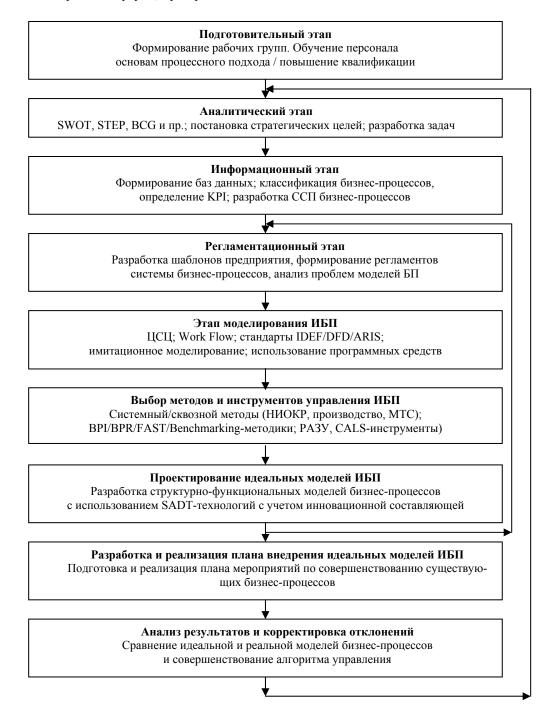


Рис. 1. Алгоритм управления бизнес-процессами предприятия РКП

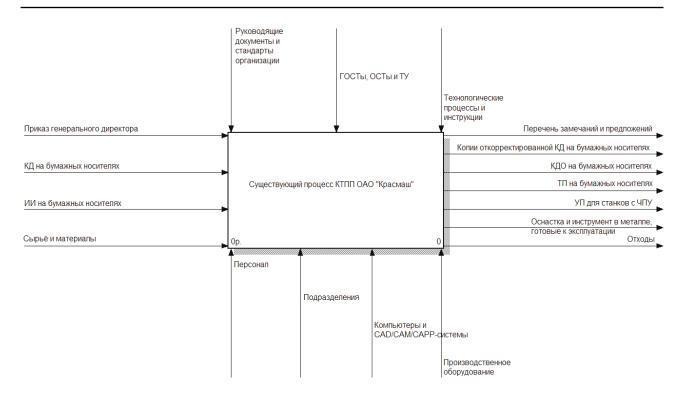


Рис. 2. Диаграмма А-0 модели «как есть» КТПП ОАО «Красмаш»

Правом управления КД в электронной форме, принятой на учет для использования в ОАО «Красмаш» от организации-разработчика КД, обладают разработчик КД и уполномоченные исполнители ОТД СГК. Правом управления КТД в электронной форме, разработанной СГТ на основе КД в процессе ТПП, обладают уполномоченные исполнители ОТД СГТ согласно своим должностным инструкциям.

Любые размещения, изменения и дополнения документов и данных в электронном архиве выполняются ответственными исполнителями, наделенными соответствующими правами доступа на работу с архивом. Для организации доступа пользователей к работе с электронным архивом PDM-системы необходима их регистрация в рамках указанной системы.

Регистрация пользователей электронного архива выполняется системным администратором. После регистрации пользователя в PDM-системе все его действия «подписываются» именем, данным ему администратором. Каждая версия объекта, конфигурация и т. п. сопровождаются обязательным атрибутом, указывающим, кто и когда их создал или изменил.

КД в электронной форме от разработчика передаётся в виде «пакетов» через PDM-систему в соответствии с ГОСТ. КД в электронной форме, поступающая для предварительной технологической проработки, подлежит предварительному учёту в ОТД службы главного конструктора (СГК) с обязательным уведомлением разработчика о получении пакетов КД. Специалисты СГК и СГТ ОАО «Красмаш» используют синхронизированную с организацией-разработчиком ЭСИ и КД в электронной форме через PDM-систему в условиях ЕИП согласно правам доступа. Отличительной особенностью модели является присутствие в качестве механизма исполнения PDM-системы, реализующей базовые технологии CALS в условиях ЕИП.

Отличительной особенностью модели «как должно быть» является присутствие в качестве механизма исполнения PDM-системы, реализующей базовые технологии CALS в условиях ЕИП. В табл. 2 показаны преимущества и недостатки реальной и идеальной моделей бизнес-процессов предприятия.

Показатели эффективности сети ключевых бизнес-процессов, входящих в состав разработанного идеального процесса КТПП, для организации-разработчика КД и предприятия-изготовителя представлены в табл. 3. Основная цель — повышение эффективности управления КТПП от внедрения САLS-технологий, а также приведение КТПП в соответствие с современными мировыми и отечественными стандартами менеджмента качества.

Анализ представленных моделей позволяет сделать следующие выводы:

- модели построены на основе стандартов организации, современных международных стандартов менеджмента качества, а также государственных стандартов и отражают процессный подход к управлению;
- существующие процессы модели «как есть» выполняются с локальным применением CAD/CAM/CAPP-систем;
- бизнес-процессы идеальной модели выполняются с применением CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM-систем в условиях ЕИП, что обеспечивает нагляд-

ность этапов жизненного цикла оснастки, что в дальнейшем обеспечит наглядность и прозрачность процесса КТПП для руководителей и специалистов;

- инструменты PDM-системы позволяют выполнять процессы не только в более короткие сроки, но и на более высококачественном уровне;
- СALS-технологии не нарушают принятый и установленный порядок, правила и процедуры КТПП на предприятии и требования организационных и государственных стандартов;
- CALS-технологии в целом вносят комплекс преимуществ в работу конструкторов, технологов и руководителей организации – разработчика КД и предприятия – изготовителя РКТ;
- сокращение сроков КТПП и снижение затрат достигается за счет организации параллельной работы и улучшения управляемости подразделений, повышения качества разрабатываемой КТД и оперативности её внедрения в производство, обеспечения специалистов, кураторов и руководителей оперативной и актуальной информацией о ходе разработки, составе и качестве КТД;
- внедрение в будущем промышленной MRP/ERP-системы и интеграция с информационной системой КТПП является актуальной задачей для планирования, а также управления ресурсами и предприятием.

Таблица 1

Содержание сети бизнес-процессов модели «как есть»

Получение КД на бумажных посителях Верификация Оформление перечия замечаний разработчику для корректировки КД Оформление приёмосдаточного акта Регистрация КД Учёт КД Хранение КД Размножение КД Выдача копий КД абонентам Оформление поступивших от разработчика извещений об изменении Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РТД о запуске в производство нового изделия Преварительняя проработка копий КД подразделениями Разработка перечия замечаний и предложений СТК, СТТ СТК, СТТ Распоряжение о запуске ИИ СТК, СТГ Отд. аказчик Проверка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ и ВИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление и утверждение КТ Составление и утверждение КТ Составление и утверждение КТ Оставление и утверждение постоятия Проектирование и изменение оснастки Проверка Согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архива оснастки Проверка Согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архива и ОПП Составление СДО на бумажных носителях Отпрака копий КДО в цехи и ОПП Составление и изменение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Профомление акта внедрения Эксплуатация оснастки Профомление акта внедрения Эксплуатация оснастки	Подразделение	Содержание бизнес-процесса
Оформление перечня замечаний разработчику для корректировки КД Оформление приёмосдаточного акта Регистрация КД Учёт КД Хранение КД Размножение КД Выдача копий КД абопентам Оформление поступивших от разработчика извещений об изменении Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверае контрольных и рабочих экземпазров КД РТД о запуске в производство нового изделия Преднарительная проработка копий КД подразделениями Разработка перечня Корректировка КД — выпуск ИИ СТК, СТТ СТ, техбюро Цех-заказчик Разработка КЗ и ИИ на осноастку Проверка КЗ и а применяемость Составление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Составление и утверждение кКГ Составление и утверждение план-графика Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проверка, согласование, пормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в абумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление КДО в бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление оснастки Опробование оснастки Вистотовитель, ЦИС Оформление оснастки Вистотовитель, ЦИС Оформление оснастки Вистотовитель и ИКДО в доста в перачива изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовитель, ЦИС Оформление оснастки Вистотовитель и ИКДО в затем в пех-заказчик Опробование оснастки Вистотовитель и ИКДО в доста в пех-заказчик Опробование оснастки Вистотовитель и ИКДО в доста в пех-заказчик Опробование оснастки Опробование оснастки Эксплуатация оснастки Висдрение оснастки Эксплуатация оснастки		Получение КД на бумажных носителях
Оформление приёмосдаточного акта Регистрация КД Учет КД Хранение КД Размножение КД Выдача копий КД абонентам Оформление поступивших от разработчика извещений об изменении Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РТД о запуске в производство нового изделия СТК, СТТ СТК, СТТ СТК, СТТ СТК, СТТ СТК, СТТ Разработка перечия замечаний и предложений Корректировка КД – выпуск ИИ СТК, СТТ СТК, СТТ ОТД, техборо Пех-заказчик Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КТ Составление, оформление и утверждение КДО на бумажных носителях Проверка Согасование, пормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Тиражирование КДО в абумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление рафика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Опробование оснастки Висдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Висдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Висдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснаствия Зксплуатация оснаствия Эксплуатация оснаствия		Верификация
Регистрация КД Учёт КД Хранение КД Размножение КД Выдача копий КД абонентам Оформление поступивших от разработчика извещений об изменении Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РТД о запуске в производство нового изделия СТК, СТТ Предварительная проработка копий КД подразделениями Разработка перечия замечаний и предложений СТК, СТТ СТК, СТТ Распоряжение о запуске ИИ СТК, СТТ СТТ, техбюро Пех-заказчик Разработка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление и утверждение КТ Составление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в эректронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО в пехи и ОПП Составление Рафика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовитель, ЦИС ОПП, цех- изготовитель, ПИС ОПП, акача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедение оснастки Внедение оснастки Опробование оснастки Внедение оснастки Оформление акта внедрения Океплуатация оснастки Окранием сата внедрения Океплуатация оснастки Окранием сата внедрения Океплуатация оснастки		Оформление перечня замечаний разработчику для корректировки КД
ССТК ОТД СТК ОТД СТС		Оформление приёмосдаточного акта
СГК ОТД СТК ОТД СТС ОТОВ ОТД СТС ОТОВ		Регистрация КД
ОТДСТК Кранение КД Размножение КД Размножение КД Выдача копий КД абонентам Оформление поступивших от разработчика извещений об изменении Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РТД о запуске в производство нового изделия СГК, СГТ СГК СГК СГК СГК СГК СГК СГК СГК СПТ Разработка перечия замечаний и предложений ССТК, СТТ Разработка перечия замечаний и предложений ССТК, СТТ Распоряжение о запуске ИИ СПТ, техбюро Пдех-заказчик Разработка КЗ на Ин а оснастку Проверка КЗ на применземость Составление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Составление и и и утверждение КП Проектирование и и и учетреждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготоление оснастки Сдача оснастки В ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Эксплуатация оснастки	CER	Учёт КД
Размножение КД Выдача копий КД абонентам Оформление поступивших от разработчика извещений об изменении Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РГД о запуске в производство нового изделия Предварительная проработка копий КД подразделениями Разработка перечня замечаний и предложений ССГК, СГТ СГК СГК СГК СГК ОТ Распоряжение о запуске ИИ СТК, СГТ Распоряжение о запуске ИИ СТК, техбюро Презаработка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение план-графика Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проектирование и и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО в бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление оснастки Сдача оснастки В ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		Хранение КД
Оформление поступивших от разработчика извещений об изменении Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РТД о запуске в производство нового изделия Предварительная проработка копий КД подразделениями Разработка перечня замечаний и предложений Согласование перечия Корректировка КД – выпуск ИИ СГК, СГТ Распоряжение о запуске ИИ СГТ, техбюро Пдех-заказчик Проверка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение план-графика Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проектирование и и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в эрхивах Тиражирование КДО в абумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	ОТДСТК	Размножение КД
Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РТД о запуске в производство нового изделия Предварительная проработка копий КД подразделениями Разработка перечия замечаний и предложений СГК, СГТ СГТ, техбюро Пректировка КД – выпуск ИИ СГК, СГТ Распоряжение о запуске ИИ СГТ, техбюро Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение план-графика Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовитель, ЦИС Проверка, согластки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		Выдача копий КД абонентам
Проведение на основании ИИ изменений в КД Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РТД о запуске в производство нового изделия Предварительная проработка копий КД подразделениями Разработка перечия замечаний и предложений СГК, СГТ СГТ, техбюро Пректировка КД – выпуск ИИ СГК, СГТ Распоряжение о запуске ИИ СГТ, техбюро Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение план-графика Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовитель, ЦИС Проверка, согластки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		Оформление поступивших от разработчика извещений об изменении
Проверка контрольных и рабочих экземпляров КД РТД о запуске в производство нового изделия Предварительная проработка копий КД подразделениями Разработка перечия замечаний и предложений СГК СГК СГК Распоряжение о запуске ИИ СГК, СГТ Распоряжение о запуске ИИ СГТ, техбіоро Дех-заказчик Проверка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ и Пирменяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Составление и утверждение КП Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Слача оснастки В ЦИС, а затем в цех-заказчик Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		
РТД о запуске в производство нового изделия Предварительная проработка копий КД подразделениями СГК, СГТ СГК Корректировка КД — выпуск ИИ СГК, СГТ Распоряжение о запуске ИИ СГТ, техбюро Цех-заказчик Разработка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Составление и утверждение КЯ Проектирование КЗ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		
ТСГК, СГТ СГК СГК СПК СПК СПК СПК СПК СПК		
СГК, СГТ СГК СПА	GEVA GETT	
СГК СГК, СГТ Распоряжение о запуске ИИ СГТ, техбюро Пех-заказчик Разработка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Составление и утверждение план-графика Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	Cl'K, Cl'T	
Корректировка КД – выпуск ИИ СГК, СГТ Распоряжение о запуске ИИ СГТ, техбюро Анализ КД на технологичность Цех-заказчик Разработка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение КП Составление и утверждение КП Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовитель, ЦИС Цех – заказчик оснастки Пробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		
СГТ, техбюро Цех-заказчик Разработка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение КЗ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях ОПП, цехизготовитель, ЦИС ОСтавление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки ВЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	Clk	
СГТ, техбюро Цех-заказчик Разработка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение КЯ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Оппл, цехизготовитель, ЦИС Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки ВЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	СГК, СГТ	Распоряжение о запуске ИИ
Цех-заказчик Разработка КЗ и ИИ на оснастку Проверка КЗ на применяемость Составление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение План-графика Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		Анализ КД на технологичность
ССТавление, оформление и утверждение КГ Составление и утверждение КГ Составление и утверждение КП Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	Цех-заказчик	Разработка КЗ и ИИ на оснастку
ССТ Составление и утверждение план-графика Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	,	Проверка КЗ на применяемость
Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Эксплуатация оснастки		Составление, оформление и утверждение КГ
Анализ и распределение КЗ по исполнителям Проектирование и изменение оснастки Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Эксплуатация оснастки	CET	Составление и утверждение план-графика
Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	CII	Анализ и распределение КЗ по исполнителям
ОТД СГТ Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах Хранение КДО в архивах Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		Проектирование и изменение оснастки
ОТД СГТ Хранение КДО в архивах		Проверка, согласование, нормоконтроль и утверждение КДО на бумажных носителях
ОПП, цех- изготовитель, ЦИС Цех – заказчик оснастки Опробование оснастки Опробование оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Тиражирование КДО на бумажных носителях Отправка копий КДО в цехи и ОПП Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии Изготовление оснастки Сдача оснастки В ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		Учёт и регистрация КДО в электронном и бумажном архивах
ОПП, цех- изготовитель, ЦИС Цех – заказчик оснастки оснастки Оформление акта внедрения Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	OTH OFT	Хранение КДО в архивах
ОПП, цех- изготовитель, ЦИС Цех – заказчик оснастки Опробование оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	ОТДСГГ	Тиражирование КДО на бумажных носителях
ОПП, цех- изготовитель, ЦИС		Отправка копий КДО в цехи и ОПП
изготовитель, ЦИС		Составление графика изготовления оснастки, разработка маршрута и технологии
Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик Опробование оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	/ '	Изготовление оснастки
Цех – заказчик оснастки Внедрение оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки	изготовитель, циС	Сдача оснастки в ЦИС, а затем в цех-заказчик
Цех – заказчик оснастки Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки Окартический		
Оформление акта внедрения Эксплуатация оснастки		*
Эксплуатация оснастки	,	*
•	оснастки	
110p110q11 tookus iipobopku oomotkii		Периодическая проверка оснастки

Основные отличия реальной и идеальной моделей бизнес-процессов КТПП

Бизнес-процесс	Особенности и недостатки модели «как есть»	Особенности и преимущества модели «как должно быть»
Получение, верификация, учёт, хранение и обращение КД	Получение, верификация, учёт, хранение и обращение КД в подразделениях на бумажных носителях	Получение, верификация, учёт, хранение и обращение КД в подразделениях в электронной форме на основе ЭСИ от разработчика в РDМ-системе, в условиях ЕИП с учётом прав доступа пользователей
Запуск в производство КД (предварительная проработка) и технологическая подготовка производства (ТПП)	КД на бумажных носителях, количество копий для подразделений ограничено, предварительная проработка КД и анализ технологичности КД (с разработкой КЗ) последовательны	КД в электронной форме доступна всем заинтересованным подразделениям через PDM-систему в условиях ЕИП с учётом прав доступа, проработка КД и ТПП параллельны
Проектирование и изменение оснастки	Проектирование оснастки в электронной форме, согласование и утверждение КДО на бумажных носителях. Последовательное изменение КДО в электронной форме и на бумажных носителях	Проектирование оснастки в электронной форме на основе ЭСО в PDM-системе, согласование и утверждение с помощью электронной цифровой подписи через PDM-систему в условиях ЕИП. Изменение КДО в электронной форме
Выводы	Процесс КТПП последователен и непрозрачен, степень оснащённости изделия и результаты ненаглядны для восприятия руководителям и специалистам	Процесс КТПП в условиях ЕИП параллелен и прозрачен, степень оснащённости изделия и результаты наглядны и понятны для восприятия всем участникам

Показатели эффективности идеального процесса КТПП

Таблица 3

Бизнес-процесс	Эффект от внедрения CALS-технологий	Показатели эффективности
Получение, верификация, учёт, хранение и обращение КД	Создание ЕИП; формирование электронного архива КД; перенос данных из бумажного архива в электронный архив; централизованное и структурированное хранение документов в электронной форме; защита документов от несанкционированного доступа	Уменьшение площадей, используемых для хранения документов на бумажных носителях; повышение оперативности; снижение затрат
Изменение КД	Создание ЕИП; автоматизация процедуры формирования, передачи, рассмотрения ИИ и внесения изменений в КД, регистрация изменений	Сокращение сроков КТПП; повышение качества КД; снижение затрат
Запуск КД в про- изводство (пред- варительная проработка)	Создание ЕИП; обеспечение параллельной коллективной работы над проектами разных групп специалистов; оперативный поиск, получение и обработка документов в электронной форме и данных	Сокращение сроков КТПП; повышение оперативности; снижение затрат
Технологическая подготовка про- изводства	Создание ЕИП; обеспечение параллельной коллективной работы над проектами разных групп специалистов; защита документов от несанкционированного доступа; контроль сроков исполнения работ; назначение маршрута согласования документов в электронной форме и контроль за сроками его исполнения; автоматизация процедуры формирования, передачи, рассмотрения ИИ и внесения изменений в ТП и КДО, регистрация изменений; оперативный поиск, получение и обработка документов и данных	Сокращение сроков КТПП; повышение качества КДО, ТП и УП; снижение затрат

Несмотря на трудности, применение CALSтехнологий оправданы и повышают эффективность стратегического управления инновационной деятельностью на предприятиях РКП.

Библиографическая ссылка

1. Лазарев Е. А., Кукарцев А. В. CALS-технологии как инструмент повышения эффективности стратегического управления предприятиями РКП // Современ-

ные проблемы экономического и социального развития: межвуз. сб. науч. тр., посвящ. памяти проф. Г. С. Михалёва / под. общ. ред. Ю. В. Ерыгина; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. 2012. Вып. 8. 223 с.

management of space-rocket industry enterprises]. *Sovremennyye problemy ekonomicheskogo i sotsial'nogo razvitiya.* 2012, vol. 8, 223 p. (In Russ.)

Reference

1. Lazarev E. A., Kukartsev A. V. [CALS-technology as an instrument of increasing of effectiveness of strategic

© Горлевский К. И., Кукарцев А. В., Огурченок И. В., 2014

УДК 350.5.(450+571)(07)

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ НА РЫНКЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ (НАУКОЕМКОЙ) ПРОДУКЦИИ: РОССИЙСКИЙ ГУДВИЛЛ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ВОСТРЕБОВАННЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

Т. С. Попова

Воронежский государственный университет инженерных технологий Российская Федерация, 394000, г. Воронеж, просп. Революции, 19 E-mail: popovatatser@yandex.ru

Показано, что при формировании политики конкурентоспособности промышленности России государственные управленческие воздействия на федеральном и региональных уровнях должны быть приоритетно направлены на повышение российского гудвилла конкурентоспособности на мировом рынке высокотехнологичной (наукоемкой) продукции ракетно-космической отрасли. В фундаментальной экономической проблеме предлагается авторский научно-практический подход, методология и современный инновационный инструментарий ее решения с учетом критических технологий РФ, современных РТП применительно к государственному масштабу и территории Красноярского края, значимости учебно-научно-производственного инновационного кластера для предприятий этой высокотехнологичной отрасли промышленности и компетенций кадрового потеницала.

Ключевые слова: гудвилл конкурентоспособности, устойчивое развитие региона и ракетно-космической отрасли, государственное управление, технологические платформы.

COMPETITIVENESS OF THE NATIONAL ECONOMY ON THE MARKET OF HIGH-TECH (HIGH TECHNOLOGY) PRODUCTS: RUSSIAN GOODWILL OF ROCKET AND SPACE INDUSTRY AND POPULAR PROFESSIONAL COMPETENCES

T. S. Popova

Voronezh State University of Engineering Technology 19, Revolution Av., Voronezh, 394000, Russian Federation E-mail: popovatatser@yandex.ru

It is shown that for the purpose of the formation of Russian industrial competitiveness, state administrative impact on the federal and regional levels should be aimed at increasing the priority of Russian goodwill globally competitive high-tech (high technology) products space industry. In the fundamental economic problem the author proposes a scientific and practical approach, methodology and tools of its modern innovative solutions tailored to the critical RF technology, modern RTP in relation to a national scale and Krasnoyarsk Territory, the importance of educational, scientific and industrial innovation cluster for companies in these high-tech industries, competencies of human resources

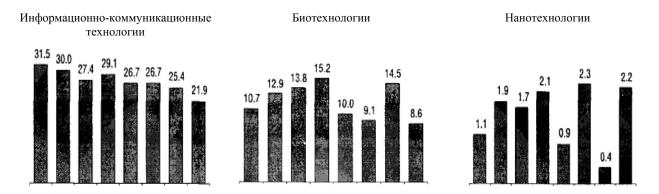
Keywords: goodwill competitiveness, sustainable development of the region and the space industry, public administration, technology platforms.

В традиционном понимании дефиниция «система национальных инновационных приоритетов» включает в себя достижение масштабности и высокой значимости для обеспечения конкурентоспособности российской экономики и ее ракетно-космической отрасли, принадлежность к сфере государственного управления. В таком понимании в качестве объекта регулирования выступает только один из возможных срезов приоритетов развития, которые в современный период обсуждаются в рамках национальной модели роста и развития страны. При этом государство как один из субъектов национальной инновационной системы осуществляет функции управления в системе инновационных приоритетов, определяемой по количеству уровней как одноуровневая система, а по способу управления такой подход называют моделью ответственности государства [1].

Примерами упомянутых выше подходов и моделей выступают изученные автором «Критические технологии РФ», «Приоритетные направления модернизации», «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в РФ», «Об утверждении приоритетных направлений государственной поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности в Красноярском крае», «Об утверждении Стратегии инновационного развития Красноярского края на период до 2020 г». Такая концепция национальной системы инновационно-технологических приоритетов в формате современных требований инновационной политики российского государства и авторских представлений об управлении системой стратегических приоритетов для достижения конкурентоспособности промышленности России достаточно узка, поскольку возросшие требования, такие как содействие целостности технологических путей от научной идеи до конечного продукта, усиление связей между приоритетами верхних, средних и низовых уровней иерархии, усиление обратных связей между приоритетами производства и рынка и приоритетами государственного сектора науки, направлены на обеспечение конкурентоспособности национальной системы инновационных приоритетов в свете авторской позиции о возрастающей значимости национальной политики конкурентоспособности РФ. На рисунке показан российский гудвилл конкурентоспособности национальной экономики на рынке высокотехнологичной продукции за анализируемый период.

Автором изучены экономические данные по состоянию дел на предприятиях различных отраслей промышленности России в 8 федеральных округах и 10 крупнейших ее регионах, в том числе на предприятиях космической техники и ракетостроения, из них на 45 ведущих предприятиях, выпускающих конкурентоспособную продукцию, в том числе по аэрокосмическому направлению, в Сибирском федеральном округе (СФО) и другим округам, которые подтвердили выводы автора о том, какие меры необходимо предпринять для обеспечения ожидаемых структурных сдвигов в экономике страны.

Конкурентоспособность страны на мировых рынках высокотехнологичной (наукоемкой) продукции характеризует уровень развития научно-технологического потенциала и национальной экономики в целом. Автор рассматривает высокотехнологичную (наукоемкую) продукцию как продукцию, уровень наукоемкости производства которой превышает средний уровень по промышленному производству и показывает, что ввиду сложности расчета фактического уровня наукоемкости производства по отдельным продуктовым группам в международной практике используется стандартизированный перечень высокотехнологичных продуктовых групп, подготовленный Евростатом на базе Стандартной международной торговой классификации (Standard International Trade Classification-SITC), и аналитически представляет наукоемкость производства как отношение внутренних затрат на исследования и разработки, осуществленные при производстве продукции, к объему отгруженной продукции.



Российский гудвилл конкурентоспособности национальной экономики на рынке высокотехнологичной продукции, современных технологий в производстве ракетно-космической техники (по удельному весу патентных заявок на изобретения, поданных заявителями РФ в ЕРО), % (источник: Российский инновационный индекс / под ред. Л. М. Гохберга)

Автор выявил, что по оценкам Л. М. Гохберга на указанных рынках максимального уровня позиции России (0,45 %) достигли в течение последнего десятилетия, далее эта доля сократилась почти вдвое. Она ощутимо меньше удельного веса таких стран, как Китай (16,3 %), США (13,5 %), Германия (7,6 %) и др. Распределение экспорта высокотехнологичной продукции России по товарным группам неоднородно. Например, наиболее прочная и стабильная позиция занята в нише неэлектрических машин, прежде всего оборудования для атомных реакторов. Доля России в мировом экспорте этих товаров возросла с 1,76 до 2.02 %. Российский экспорт наукоемкой химической продукции представлен преимущественно радиоактивными материалами. Удельный вес России в это десятилетие был относительно высок, выше, чем по высокотехнологичной продукции в целом на мировых рынках измерительных приборов (0,33 %) и электрических машин (0,33 %). Стабильно слабые позиции российских предприятий-экспортеров сохраняются в таких сегментах, как офисное и компьютерное оборудование (0,05 % мирового экспорта), электронные компоненты и телекоммуникационное оборудование (0,1 %) и фармацевтическая продукция (0,09 %). Применительно к ракетно-космической технике пик экспорта пришелся на 2003 г., это 2,1 % мирового экспорта. В целом за анализированный период насыщенность мировой торговли высокотехнологичной пролукцией стабильно снижалась - с 19.4 до 15.0 %. В России доля таких товаров в объеме экспорта достигла пика в 2002 г. (4,8 %), после чего уменьшилась до 1,2 %, что свидетельствует о явном ослаблении ориентации национальной экономики на мировые высокотехнологичные рынки.

Автор показывает, что круг стран-экспортеров, нацеленных на освоение всех высокотехнологичных сегментов глобального рынка (к ним относятся, например, США, Германия), узок. В большинстве случаев прослеживается четкая специализация национальных экономик на одном или двух направлениях. Структура экспортируемой Россией высокотехнологичной продукции была заметно смещена в сторону ракетно-космической техники (19,9 %), неэлектрических машин (26,6 % национального наукоемкого экспорта) и химической продукции (8,8 %). В сумме эти три товарные группы обеспечивали 55,0 % наукоемкого экспорта из России. В мире доля отмеченных сегментов не превышает 19 %. Доля электроники, космических технологий, телекоммуникаций и др. составляет 64,3 % мировых рынков. В российском же экспорте наукоемких товаров на их долю приходится 22,4 %. Российские предприятия – экспортеры высокотехнологичной продукции наиболее активно действуют в узких специфических направлениях: ракетнокосмическая техника, энергетическое оборудование, приборостроение. В сегментах, рассчитанных на массового конечного потребителя, таких как электроника, компьютерное и телекоммуникационное оборудование, фармацевтическая продукция, их конкурентоспособность заметно ниже.

Среди потребителей российского высокотехнологичного экспорта доминировали Индия (20,0 % общего объема экспорта высокотехнологичной продукции), Украина (16,3 %), Китай (8,8 %), Германия (5,8 %). Индия лидирует по закупкам ракетно-космической техники, российского компьютерного оборудования, электронных компонентов и средств телекоммуникаций, измерительных приборов, медицинского и научного оборудования, электрических машин.

Автор, аналитически исследуя проблемы конкурентоспособности промышленности России с экономической точки зрения, полагает необходимым по предлагаемым критериям в сравнительной характеристике рассмотреть критические технологии России с технологическими платформами и технологическими инициативами стран мирового сообщества с конкурентоспособной экономикой ракетно-космической отрасли промышленности. Среди источников, подтверждающих выводы автора по проблеме, ниже упоминаются интересные в авторском понимании научные позиции и взгляды Р. Гринберга, Д. А. Ендовицкого, А. Н. Букреева, О. Бруковской, Ю. В. Вертаковой, О. Г. Голиченко, Д. А. Медведева, Н. А. Миклашевской, Е. И. Мазилкиной, Э. В. Минько, Р. Н. Нуреева, Л. В. Оболенской, В. В. Путина, Т. Г. Паничкиной, Б. М. Смитиенко, А. В. Сидоровича, Е. Ясина и др. Автор согласен, что назрела необходимость формирования нового концептуального подхода, в котором приоритеты разного уровня, масштаба и стадий инновационного цикла как государства, так и бизнеса могут рассматриваться как единая система. Такой интегрированный управленческий подход и соответствующий ему инновационный инструментарий поможет разработать и реализовать модели управления инновационными приоритетами, которые лучше соответствуют требованиям современной инновационной государственной политики конкурентоспособности, в том числе конкурентоспособности ее промышленности и ракетно-космической отрасли [2].

Рассматривая научную систему взглядов Р. Гринберга, директора Института экономики РАН, академика Международной академии менеджмента, автор показывает, что главная потеря последних десятилетий, согласно позиции этого ученого, - демодернизация российского экономического потенциала (производственного и инновационного) - привела к заметному росту сырьевой доли экономики и продолжению ее примитивизации; что российская экономика и далее будет структуризоваться стихийно в соответствии с интересами транснациональных корпораций, если сохранится высокая степень открытости экономики, и при сохранении положительной экономической динамики решающий вклад в нее будут вносить энергосырьевые отрасли, обладающие реальным экспортным потенциалом; что есть шанс подняться на конкурентоспособный уровень, профессионально грамотно поддерживая и координируя соответствующие мероприятия в рамках финансовой, денежно-кредитной и внешнеэкономической политики.

Далее автором приводятся экономические данные, характеризующие по аналитическим оценкам Е. Ясина фактические результаты этого комплекса мероприятий. Так, по итогам трех кварталов 2013 г. доходы федерального бюджета сложились в сумме 9604,5 млрд руб., или 19,7 % ВВП. Исполнение различных разделов федерального бюджета варьируется от 73,4 % по межбюджетным трансфертам общего назначения и 73,5 % по расходам на обслуживание государственного долга до 52,0 % по расходам на транспорт в составе расходов на национальную экономику. В целом же по всему разделу расходы на национальную экономику были профинансированы на 56,5 % от годовых значений. Расходы на национальную безопасность и правоохранительную деятельность были профинансированы на 64,8 %, на национальную оборону – на 66,6 %, на социально-культурные мероприятия – на 70,7 %. Федеральный бюджет был исполнен с профицитом в размере 652,9 млрд руб. (1,3 % ВВП) [3].

В этой фундаментально значимой проблеме можно обсуждать предложение о введении структурных делений по наиболее значимым параметрам рассматриваемой выше системы приоритетов, встраивая в них более частные подходы, применяемые в практике управления отдельными составляющими национальной системы инновационных приоритетов. Автор полагает, что здесь интересна такая характеристика, как масштаб приоритетов, согласно которой в России выделяются четыре уровня инновационных приоритетов, такие как макроуровень, стратегический уровень, уровень мегапроектов, уровень инициатив снизу.

В российской системе инновационных приоритетов в современных условиях по степени ответственности основных субъектов управления сформировались три сферы: сфера бизнеса; сфера государства; совместная сфера государства и бизнеса — государственно-частное партнерство.

Исходя из положений формируемого нового концептуального подхода по критерию стадии инновационного цикла, принято рассматривать доконкурентную стадию, конкурентную стадию и стадию коммерциализации - этап вывода товара (продукта) на рынок. Рассматривая инструменты современной инновационной политики России, автору с научной точки зрения видится необходимость сравнения их с зарубежными уровнями национальной системы инновационных приоритетов. В рамках управления национальной системой приоритетов экономического развития России лидируют научные разработки моделей разделения стратегической ответственности, включающие принципы структурной организации областей регулирования, основывающиеся на рекомендациях по реформированию концепции критических технологий с использованием современного инструментария управления российских технологических платформ (РТП), которые заметно вошли в российскую практику государственного управления. Автор исходит из понимания важности технологических платформ как инструмента формирования инновационной среды в промышленности России, инструмента реализации стратегии развития Красноярского края, продовольственной безопасности инновационной России, развития потенциала инновационных производств, решения проблем экологической безопасности, развития современных биотехнологий, совершенствования приоритетов государственной политики $P\Phi$ [4].

Традиционно используемые на стратегическом уровне или использовавшиеся ранее версии критических технологий в России и за рубежом, привлекающие экспертов со стороны промышленности для достижения ее конкурентоспособности, не могут расцениваться как инструменты формирования упомянутых зон преимущественной или частичной ответственности бизнеса. Представители промышленности, выступая в роли незаинтересованных экспертов, ведут себя следующим образом: они не принимают на себя финансовые риски и ответственность за выбор приоритетов, не берут обязательств по вложению ресурсов и не дают финансовых гарантий готовности вступить в конкурентную борьбу, т. е. бизнес не осуществляет шагов, от которых зависит внедрение инновационной технологии и правомерность ее интерпретации как приоритета стороны спроса.

Автор, раскрывая свою научную позицию, показывает, что разработка современного методологического инструментария для решения существующей проблемы формирования новых наукоемких производств и научных направлений, новых технологических сфер и рынков несоизмеримо сложнее, чем на нижних уровнях системы инновационных приоритетов [5].

Исходя из рассмотренного выше, можно аналитически оценить имеющийся опыт решения проблемы путем применения технологических, инновационнотехнологических платформ (European Technology Platforms), базовые задачи которых, как выявлено автором, соответствуют стратегическому уровню, делая акцент на промышленной и рыночной состоятельности средне- и долгосрочных исследований и разработок, что значимо для ракетно-космической отрасли экономики РФ.

Изученные автором источники и научные труды, упомянутые выше, показывают, что в рамках РТП за счет развития института сотрудничества удается добиться вовлечения бизнеса в проектирование и реализацию приоритетов стратегического уровня. Автор полагает, что для России этот опыт представляется ценным как работающая модель, дающая четкие ориентиры для построения аналогичных конструкций.

В международной практике приоритетная стратегическая задача, которая положена в фундамент созидания платформы, выражает экономическую и социально-экономическую потребность, требующую проведения как долгосрочных, так и среднесрочных исследований и разработок для создания принципиально новых технологий, называемых технологиями нового поколения. При этом роль технологии в рамках самой платформы заключается в том, что она выступает как основное средство обеспечения цели системы инновационных стратегических приоритетов для

достижения конкурентоспособности промышленности РФ

Концептуально важно и интересно с управленческой и экономической точки зрения, сравнивая критические технологии России с европейскими технологическими платформами, с их совместными технологическими платформами и их совместными технологическими инициативами, показывать, что при этой аналитической сравнительной оценке среди приоритетных направлений развития науки, технологий и техники критические технологии России включают в себя солидный интегральный комплекс, охватывающий транспортные и ракетно-космические системы, индустрию наносистем - технологии наноустройств и микросистемной техники; технологии диагностики нонаматериалов и наноустройств; нанотехнологии; биотехнологии; информационные технологии; когнитивные технологии; компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий; технологии получения и обработки конструкционных и функциональных наноматериалов; информационно-телекоммутационные системы; технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств; технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем; технологии доступа к широкополосным мультимедийным услугам; рациональное природоиспользование, технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения; технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; энергоэффективность, энергосбережения; ядерную энергетику; науки о жизни - биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии; технологии биоинженерии; клеточные технологии; технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний; безопасность и противодействие терроризму; перспективные виды вооружения военной и специальной техники.

Автор выявил, что среди приоритетных тем исследований международных технологических платформ совместные технологические инициативы этих стран включают реальный комплекс необходимых разработок, касающихся новых технологий для традиционных промышленных секторов: производственные технологии будущего; химические технологии; химия для устойчивого развития; окружающая среда и изменение климата - глобальный мониторинг окружающей среды и безопасности; технологии устойчивого развития минерально-сырьевой базы, водоснабжения и водоочистки; энергетику - технологические платформы биотоплива, электрических сетей будущего; нанонауки и нанотехнологии - здравоохранение, продукты питания, сельское хозяйство и биотехнологии; жизненно важные продукты питания; информационные и коммуникационные технологии.

Практически единственным высокотехнологичным сектором российской экономики продолжает оставаться военно-промышленный комплекс (ВПК), который представляют более пятисот предприятий и

организаций, занятых проектированием и производством авиационной, ракетно-космической и электронной техники, судостроения, средств связи и вооружений, радиолокационной техники, боеприпасов и спецхимии, а также гражданской продукции. Продукция оборонной промышленности характеризуется многопрофильностью и наукоемкостью, уникальностью научно-производственной и испытательной базы, сложнейшей многоуровневой кооперацией специализированных производств. По уровню интеллектуалоемкости ВПК опережает другие секторы российской экономики.

Переход к экономике инновационного типа — это принципиально новый курс развития для России. По оценкам экспертов для модернизации российской промышленности в ближайшие годы требуется 100—200 млрд долл.

Принципиальным вопросом является развитие венчурного финансирования. Данная форма инвестиций основывается на финансировании наукоемких высокотехнологичных разработок и их внедрении в производство посредством прямых вложений в уставный капитал.

Автор показывает, что в России действует около 30 фондов, осуществляющих венчурное финансирование. Капитал этих фондов преимущественно иностранный. Однако по экспертным оценкам объем венчурных инвестиций в высокотехнологичный сектор российской экономики составлял не более 5 % от общего объема прямых инвестиций [6].

Без финансирования ВПК не будет развиваться, что предполагает дальнейшее отставание от странлидеров. Предприятие, действующее на рынке, принадлежащее к той или иной отрасли промышленности и относящееся к тому или иному региону РФ, рассматривается, как правило, не обособленно, а с учетом совокупности отношений, связывающих его с другими субъектами рынка, наличие же конкурирующих предприятий и фирм порождает такое явление в экономике, как конкуренция. Конкурентная среда, когда Россия официально была признана мировым сообществом страной с рыночной экономикой, присуща всем 89 субъектам Российской Федерации, ее 49 областям и более 3000 городам. Она действует в 8 федеральных округах России и 10 крупнейших ее регионах, в том числе в Сибирском федеральном округе (СФО, Красноярский край), ЦФО-ЦЧЭР (Воронежская область).

Автор показывает, что понятие конкуренции в экономике сформировалось давно. Под конкурентоспособностью региона следует понимать его конкурентные преимущества в экономическом пространстве страны, способность обеспечивать высокий уровень жизни населения, возможность лучше реализовывать имеющийся в регионе потенциал (производственный, трудовой, инновационный, ресурсносырьевой). В таблице представлены аналитические
данные по экономической ситуации в России, в её
федеральных округах, в том числе в СФО, куда входит Красноярский край, с учетом ракетнокосмической отрасли, авиации и др.

Основные фонды национальной экономики России и ее федеральных округов, вновь вводимые по видам экономической деятельности, в том числе по ракетно-космической отрасли по СФО, Красноярский край, млн руб.*

Наименование	ание Все Из них по видам экономической деятельности							
округов РФ	фонды	Транс- порт и связь, включая авиацию, ракетно- космиче- скую отрасль (космо- навтику), судо- строение и др.	Добыча полезных ископаемых	Обрабаты- вающие производства	Производство и распределение электро-энергии, газа и воды	Строитель- ство	Оптовая и розничная торговля, ремонт автотранс-портных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	Сельское хозяйство
Российская Федерация	6275935	1084209	935619	881350	543063	148277	252131	310879
Сибирский федеральный округ	688694	156874	150731	79975	38439	20999	21007	41077
Красноярский край	128034	12777	43664	18753	4500	2578	2858	5603
Иркутская обл.	133247	47770	32848	13184	8447	4618	816	3371
Кемеровская обл.	109449	13090	38988	10473	5561	1573	4683	6969
Новосибирская обл.	81944	19135	2162	13672	4770	2008	5862	5591
Омская обл.	48415	8672	1108	10884	5373	1875	2638	4100
Томская обл.	50786	6247	23003	5578	2005	700	1945	1670
Республика Алтай	6728	2133	22	16	302	261	6	741
Республика Бурятия	24317	3260	4074	865	1592	1531	312	1313
Республика Тыва	4589	1225	657	88	137	45	80	634
Республика Хакасия	14587	4296	1190	832	3355	470	132	836
Алтайский край	36085	8051	1046	4732	1160	498	1010	9302
Забайкальский край	50513	30218	1969	898	1237	4842	665	947
Северо- Западный федеральный округ	675526	156808	50278	104682	98724	10879	22188	40540
Южный федеральный округ	468949	89870	51399	49771	73285	11121	20003	39965
Северо- Кавказский федеральный округ	216690	43188	1768	21936	23976	4430	17538	15977
Приволжский федеральный округ	865791	146750	93698	211988	57841	15374	27154	62969
Уральский фе- деральный округ	1199699	94685	522929	137900	53790	19632	11928	21962
Центральный федеральный округ	1887629	328152	5535	257800	168847	54994	127215	81582
Дальневосточ- ный федераль- ный округ	272957	6807	59281	17298	28161	10878	5098	67882

^{*}Источник: Регионы России. Социально-экономические показатели, 2011. С 381–382.

Как показывает опыт последних лет, переход к устойчивому развитию региональной экономики Красноярского края невозможен без широкого использования передовых достижений науки и техники. Территориальные аспекты развития сферы науки и техники традиционно важны для стран с большой территорией. В этой связи решение стоящей перед российскими регионами задачи перехода к экономическому росту и стабильному социально-экономическому развитию в рыночных условиях одновременно требует от них формирования соответствующего инновационного потенциала. Реализация такой стратегии требует наличия значительного начального капитала, научнопроизводственного потенциала, персонала высокой квалификации, что особо важно для аэрокосмической отрасли.

Под конкурентным потенциалом региона автор понимает степень готовности региона к обеспечению нормальной конкуренции и его устойчивого функционирования в рамках региональных рынков. Оценка формирования и развития потенциала производится по схеме взаимодействия институциональных, экономических, социальных факторов на основе диагностического подхода.

Реализация инвестиционного потенциала во многом определяется отношениями между коммерческими банками и промышленными органами посредством становления и развития финансово-промышленной интеграции.

Научно-технический потенциал характеризует способность предприятия, отрасли, региона к производству новых знаний и технических решений, изобретений, промышленных образцов, ноу-хау. Инновационный потенциал - это степень готовности предприятия, отрасли, региона к реализации новшества, инновационного проекта как созданного своими силами в подразделениях НИОКР, так приобретенного в виде патентов, лицензий на изобретения и ноу-хау. Для каждой организации должен быть разработан свой состав показателей, характеризующих его инновационный потенциал. Автор рассматривает процедуру анализа инновационного потенциала как необходимую составляющую для формирования стратегии предприятия, отрасли, региона, определения их рыночных возможностей. Автор показывает, что инновационная составляющая присутствует во многих стратегиях. Базовая стратегия, как создание нового рынка, представляет собой собственно инновационную стратегию. Выявление проблем формирования будущего развития предприятия, отрасли, региона, невозможно без развитого производственного потен-

Автор исходит из понимания, что формирование конкурентоспособной стратегии является залогом успеха инновационной деятельности. Предприятие может оказаться в кризисе, если не сумеет предвидеть изменяющиеся обстоятельства, своевременно отреагировать на них. Выбор стратегии рассматривается как важнейшая составляющая часть инновационного менеджмента в целом. Успешная стратегия устойчи-

вого развития хозяйства зависит прежде всего от достоверной оценки реальной обстановки и разработки новых методологических подходов к пониманию конкурентоспособности экономической системы и механизма управления ею, особенно для приоритетной отрасли, каковой является ракетно-космическая отрасль.

Кадровый потенциал, его стабильность и воспроизводимость - одно из важнейших условий эффективности, конкурентоспособности и устойчивого развития ракетно-космических систем. Особую актуальность проблемы формирования кадрового потенциала приобретают в свете развития инновационной деятельности на территории Красноярского края на 2012-2020 гг. в приоритетном развитии высокотехнологичной космической отрасли промышленности. обеспечение конкурентоспособности выпускников вузов и управление компетенциями специалистов предприятий высокотехнологичных отраслей приобретают особую остроту в условиях модернизации аэрокосмического образования и задачи конкурентоспособного и устойчивого развития региона, разработки научно-методических основ повышения качества подготовки специалистов в области космического мониторинга, космических технологий и телекоммуникаций, систем автоматического управления и электроснабжения космических аппаратов, технологии нанесения композитных покрытий ракетнокосмической техники, автоматизации электроннолучевых технологий, математического моделирования и численных методов в естественных и технических науках, алгоритмического и программного обеспечения управления космическими аппаратами, проектирования механических систем космических аппаратов. Зарекомендовавший себя в мировой практике инновационной деятельности кластерный подход к организации формирования кадрового потенциала для ракетно-космической отрасли представляется автору своевременным и перспективным [7].

Инновационный характер учебно-научнопроизводственного ракетно-космического инновационного кластера в авторском понимании состоит в ориентированности формируемого кадрового потенциала предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности на инновационную деятельность, в использовании обеспечивающих продвинутые профессиональные компетенции инновационных методов и подходов в деятельности кластера.

Опираясь на правительственные источники, нормативно-правовые документы, изученные научно-практические подходы к решению фундаментальной проблемы формирования политики конкурентоспособности России на федеральном и региональных уровнях, направленной на повышение российского гудвилла конкурентоспособности ракетно-космической техники на мировом рынке высокотехнологичной (наукоемкой) продукции, автор, предлагая свой научно-практический подход, методологию и современный инновационный инструментарий решения проблемы, полагает, что внесет определенный

вклад в развитие теории и практики управления конкурентоспособностью высокотехнологичных отраслей промышленности России в период структурных сдвигов в ее экономике.

Библиографические ссылки

- 1. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологии и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий РФ: Указ Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899 [Электронный ресурс]. URL: www.http://consultant.ru.
- 2. Об утверждении приоритетных направлений государственной поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности в Красноярском крае : Постановление Законодательного Собрания Красноярского края от 07.07.2009 г. № 8-3635 П. [Электронный ресурс]. URL: http:// www.sobranie.info/lawsimfo.phpUID=6915.
- 3. Ясин Е. М. Российская экономика: прогнозы и тенденции // Промышленность. 2013. № 12 . С. 1–24.
- 4. Попова Т. С. Национальная экономика России: технологические платформы в модели управления приоритетами инновационного развития // Материалы LI отчетной науч. конф. преподавателей и научных работников ВГУИТ. Воронеж, 2013. С. 181–185.
- 5. Попова Т. С. Государственные управленческие компетенции: подходы к формированию и инструментарий оценки // Кадровик. 2010. № 11. С. 3–9.
- 6. Попова Т. С. Формирование методологических подходов к проблеме обеспечения российской национальной экономики конкурентоспособными выпускниками магистратуры и бакалавриата // Управление персоналом в программах подготовки менеджеров : сб. материалов Междунар. науч.-практ. семинара (8–9 нояб. 2013 г.) (десятое ежегодное заседание). Воронеж, 2013. С. 38–41.
- 7. Об утверждении Стратегии инновационного развития Красноярского края на период до 2020 г. «Инновационный край 2020» : Указ Губернатора Красноярского края от 24.11.2011 г. № 218-уг [Электронный ресурс]. URL: www.http://consultant.ru.

References

- 1. Presidential Decree "On approval of the priority directions of science, technology and engineering in the Russian Federation and the Russian list of critical technologies" on July 07, 2011. № 899. Available at: www.http://consultant.ru (In Russ.).
- 2. Resolution of the Legislative Assembly of Krasnoyarsk Territory "On approval of the priorities of the state support of scientific, technological and innovation activities in the Krasnoyarsk Territory" on July 07, 2009 № 8-3635 P. Available at: http://www.sobranie.info/lawsimfo.phpUID=6915 (In Russ.).
- 3. Yasin E. M. [Russian Economy: Trends and Forecasts]. *Promyshlennost'*. 2013, no. 12, p. 1–24 (In Russ.).
- 4. Popova T. S. [Russian national economy: technology platforms in innovation management model development priorities]. *Materialy LI otchetnoy nauchnoy konferentsii prepodavateley i nauchnykh rabotnikov VGUIT.* [Materials LI reporting scientific conference of teachers and researchers]. Voronezh, 2013, p. 181–185 (In Russ.).
- 5. Popova T. S. [State administrative competence: approaches to the formation and assessment tools]. *Kadrovik*. Moscow, Panorama Publ., 2010, no. 11, p. 3–9 (In Russ.).
- 6. Popova T. S. [Formation of methodological approaches to the problem of providing Russian national economy with the competitive graduate and undergraduate alumni]. Sbornik materialov nauchno-prakticheskogo mezhdunarodnogo seminara "Upravlenie personalom v programmakh podgotovki menedzherov" [Collected materials of the international scientific-practical seminar "Human management training programs managers" on November 8–9, 2013 (the tenth annual meeting)]. Voronezh, 2013, p. 38–41. (In Russ.)
- 7. Decree of the Governor of the Krasnoyarsk Territory "On approval of the "Strategy of innovative development of the Krasnoyarsk Territory for the period up to 2020 "Innovative edge-2020" on November 24, 2011 № 218-yr. Available at: www.http:consultant.ru (In Russ.).

© Попова Т. С., 2014

УДК 336.64

ИНСТРУМЕНТЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЛИГАЦИОННОЙ ФОРМЫ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В ИННОВАЦИОННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

В. В. Прохоров

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: krasnoyarsk@naufor.ru

Рассматриваются возможности стратегического планирования параметров облигационной формы инвестирования в инновационную деятельность предприятий оборонно-промышленного комплекса. Изучены инструменты стратегического планирования параметров облигационной формы инвестирования. Рассмотрены показатели, определяющие параметры облигационной формы инвестирования. Выделены два наиболее значимых показателя для предприятия: объем займа и величина процентной ставки. Проведен обзор инструментов стратегического планирования объема и величины процентной ставки облигационной формы инвестирования в инновационную деятельность предприятий. Результаты могут быть применимы предприятиями оборонно-промышленного комплекса, использующими облигационную форму инвестирования в инновационную деятельность.

Ключевые слова: облигационная форма инвестирования, инструменты стратегического планирования.

TOOLS OF STRATEGIC PLANNING OF BOND FORMS PARAMETERS OF INVESTMENT IN INNOVATION ACTIVITIES OF ENTERPRISES OF THE MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX

V. V. Prokhorov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: krasnoyarsk@naufor.ru

Possibilities of strategic planning of bond forms parameters of investment in innovation activities of enterprises of the military-industrial complex are considered. The tools of strategic planning of bond forms parameters of investment are studied. The indicators defining the parameters of the bond forms of investment are considered. Two of the most significant indicators for the enterprise – the amount and the interest rate – are pointed out. A review of strategic planning tools of the amount and interest rate of bond forms of investment in innovation activities of enterprises is given. The results may be applicable to the enterprises of the military-industrial complex, using bond form of investment in innovative activities.

Keywords: bond form of investing tools of strategic planning.

Инновационный путь развития Российской Федерации требует кардинального реформирования отечественной промышленности, и в первую очередь оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Специфика оборонной промышленности, связанная с безопасностью страны, обусловливает то, что главным инвестором отечественного ОПК является государство. Оно определяет уровень инновационного развития данных предприятий. В то же время государство не может обеспечить в полном объеме инвестирование в инновационную деятельность оборонных предприятий. В частности, в Федеральной целевой программе «Развитие ОПК на 2007–2010 гг. и период до 2015 г.» предполагается, что задачи ОПК, связанные с развитием базовых и критических технологий, техническим

переоснащением и т. д., будут решаться на основе государственно-частного партнерства: 60 % средств планируется выделять из федерального бюджета, а 40 % составят частные инвестиции.

Поэтому самим предприятиям ОПК предлагается изыскивать новые формы инвестирования, в том числе с использованием облигационной формы. Облигационная форма предполагает привлечение денежных средств предприятиями ОПК за счет выпуска долгосрочного облигационного займа на срок до 10 и более лет. Привлеченные средства в дальнейшем инвестируются в собственную инновационную деятельность.

При использовании предприятием ОПК облигационной формы инвестирования в инновационную деятельность возникает задача по долгосрочному планированию

ее показателей. Это связано с тем, что, во-первых, в настоящее время длительность процесса от начала принятия управленческого решения о выпуске предприятием ОПК облигационного займа до его реального размещения может достигать более двух лет. Во-вторых, это временной период обращения самого облигационного займа предприятия ОПК. В целом за это время внешние и внутренние условия выпуска займа могут в значительной степени измениться. Поэтому возникает необходимость по долгосрочному, т. е. стратегическому, планированию показателей облигационной формы инвестирования.

В целом выделяют до 13 показателей, определяющих параметры облигационной формы инвестирования. Среди выделяемых показателей два являются наиболее значимыми для предприятия ОПК: это объем облигационного займа и величина процентной ставки.

Проведенные исследования применяемых инструментов стратегического планирования объема облигационного займа показывают, что в настоящее время российские предприятия, в том числе и предприятия ОПК, используют преимущественно три группы таких инструментов. Во-первых, это инструменты, основанные на учете совокупного имущества предприятия [1]. Имеющееся в наличие имущество является определенным обеспечением возврата кредитору заемного капитала. Данные инструменты в основном применяются в машиностроительной отрасли, энергетической, транспортной отраслях, а также в ряде других отраслей. Это подтверждает тот факт, что в 2008-2013 гг. в машиностроительной отрасли свыше 60 % облигационных займов были полностью обеспечены имуществом предприятия, в энергетической отрасли до 65 %, в транспортной отрасли – около 70 % [2].

Во-вторых, инструменты, учитывающие денежные потоки предприятия, т. е. его выручку. Текущий и перспективный размер денежных потоков позволяет потенциальному кредитору оценить возможности хозяйствующего субъекта по возврату заемного капитала [1]. Исследования показали, что инструменты, учитывающие денежные потоки предприятия, в основном применяются на предприятиях пищевой промышленности, связи и телекоммуникации, черной металлургии, предприятиях сферы услуг, строительной сферы и ряда других отраслей. Так, в 2008-2013 гг. в отрасли пищевой промышленности свыше 50 % облигационных займов были полностью обеспечены денежными потоками предприятия, в связи и телекоммуникации - около 65 %, в черной металлургии до 70 %, в строительной отрасли – до 85 % [2].

В-третьих, инструменты, которые базируются на нормативных требованиях российского законодательства. Основное нормативное требование заключается в том, что предприятия вправе размещать облигации без обеспечения, но не ранее третьего года со дня своего существования, и на сумму, не превышающую уставный капитал общества. Если объем планируемого займа превышает уставный капитал, то выпуск можно осуществить в пределах обеспечения,

предоставленного обществу третьими лицами для цели выпуска облигаций. Исследования, проведенные в 2008–2013 гг., показали то, что до 25 % всех облигационных займов российских предприятий практически по всем отраслям промышленности не были обеспечены ни совокупным имуществом предприятия, ни его денежными потоками [2]. Эти займы были обеспечены гарантиями третьих лиц. Здесь нет ничего странного. Данные предприятия являлись своего рода косвенными заемщиками. Это были дочерние предприятия, привлекающие заемный капитал от своего имени, но для финансирования инвестиционной и инновационной деятельности материнской организации. Они операционной деятельностью практически не занимались.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что наиболее значимыми инструментами стратегического планирования объема облигационного займа предприятий ОПК являются инструменты, основанные на учете их совокупного имущества, а также гарантий, предоставляемых государством. В частности, в 2008–2011 гг. предприятиям ОПК предоставлялись государственные гарантии до 70 % от размера выдаваемого банковского кредита на сумму свыше 100 млрд руб. [1].

Не менее важным для предприятия ОПК является стратегическое планирование процентной ставки облигационной формы инвестирования. Это обусловлено тем, что в случае низкой ее величины облигационный заем может быть не размещен на рынке, а в случае ее необоснованного высокого значения вырастит стоимость его обслуживания.

Обращение к практике использования 2008–2013 гг. облигационной формы показало, что отечественные предприятия при планировании процентной ставки используют три группы инструментов стратегического планирования. В основе первой группы инструментов лежит расчет кумулятивной барьерной процентной ставки с различными ее модификациями [3]. Расчетная кумулятивная барьерная процентная ставка фактически является процентной ставкой займа предприятия. С одной стороны, она учитывает хозяйственно-финансовое состояние предприятия, с другой стороны, текущее состояние финансового рынка. На практике данный инструмент планирования используется средними и крупными промышленными предприятиями, в том числе и оборонно-промышленного комплекса. Исследование показало, что процентные ставки по выпущенным облигационным займам в 77 % случаев отличались от расчетных кумулятивных процентных ставок всего в пределах 0,5 % годовых [2].

Во второй группе инструментов используется модель CAPM (Capital Asset Pricing Model). Данная модель позволяет оценивать процентную ставку на основе рыночных рисков. На практике данные инструменты стратегического планирования применялись крупными федеральными предприятиями, которые фактически являлись монополистами в определенных отраслях экономики [3]. Исследование выявило, что до 85 % случаев облигационные процентные ставки также отличались от расчетных значений в пределах 0,5 % годовых [2]. В третьей группе инструментов используются отраслевые средневзвешенные процентные ставки за определенный временной период. Эти процентные ставки учитывают текущие рыночные тенденции в конкретной отрасли и позволяют на их основе планировать будущие процентные ставки [1]. Указанные инструменты стратегического планирования применяются предприятиями, относящимися к категории косвенных заемщиков. Исследования показали, что до 80 % случаев по косвенным заемщикам отраслевые средневзвешенные процентные ставки отличались от фактических облигационных процентных ставок в пределах 0,5 % годовых [2].

На основании проведенных исследований для широкой массы предприятий ОПК подходит метод, который использует отраслевые средневзвешенные процентные ставки за определенный временной период. Это связано с тем, что данные предприятия выполняют государственный оборонный заказ, а значит, во многом их деятельность определяется интересами государства. И поэтому в случае каких-либо непредвиденных ситуаций оно придет на помощь предприятиям оборонно-промышленного комплекса.

В целом рассмотренные инструменты стратегического планирования показателей облигационной формы инвестирования позволяют предприятию ОПК более точно оценивать свои заемные возможности. Это, в свою очередь, позволяет принять правильное управленческое решение по использованию облигационного займа в качестве формы финансирования своей инновационной деятельности.

Библиографические ссылки

- 1. Прохоров В. В. Облигационный механизм инвестирования в инновационную деятельность на предприятиях оборонно-промышленного комплекса: монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2012. 179 с.
- 2. Информационное агентство «Финмаркет RusBonds» : сайт [Электронный ресурс]. URL: http://www.rusbonds.ru/.
- 3. Теплова Т. В. Инвестиционные рычаги максимизации стоимости компании: практика российских предприятий. СПб.: Вершина, 2007. 272 с.

References

- 1. Prokhorov V. V. Obligatsionnyj mekhanizm investirovanija v innovatsionnuju dejatel'nost' na predprijatijakh oboronno-promyshlennogo kompleksa [Bond mechanism for investing in innovative activity at the enterprises of the military-industrial complex]. Krasnoyarsk, 2012, 179 p.
- 2. Informacionnoe Agentstvo Finmarket RusBonds [Information Agency Finmarket RusBonds]. Available at: http://www.rusbonds.ru/.
- 3. Teplova T.V. *Investitsionnye rychagi maksimizatsii stoimosti kompanii: praktika rossijskikh predprijatij* [Investment levers of maximising of the company value: practices of Russian companies]. St. Petersburg, Vershina Publ., 2007, 272 p.

© Прохоров В. В., 2014

УДК 621.3(075.3)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗАО «СПЕЦТЕХНОМАШ» НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОАУДИТА

М. С. Прудникова, И. В. Трифанов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: sibgau-uks@mail.ru

Показаны цели и назначение энергоаудита как элемента менеджмента предприятия. Представлены законодательная и нормативная база проведения энергоаудита, понятия энергетической эффективности обследуемого объекта, энергоресурсосбережения, потенциала энергосбережения, нормы расхода электроэнергии и нормативного показателя энергетической эффективности. Раскрыта роль энергоаудита в повышении эффективности работы организации. Представлена методика комплексного энергетического обследования, структура энергетического паспорта организации и содержание отчета энергетического обследования, а также SADT-диаграммы процессов проведения энергетического обследования и порядок проведения энергоаудита.

Ключевые слова: энергоаудит, энергоэффективность, энергосбережение, энергоресурсы, энергетический паспорт.

INCREASE OF EFFICIENCY OF ELECRTRICITY CONSUMPTION BY CJSC «SPETSTEKHNOMASH», BASED ON AN ENERGY AUDIT

M. S. Prudnikova, I. V. Trifanov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: sibgau-uks@mail.ru

This publication mentions the purposes and functions of an energy audit as an element of management of the enterprise. Legislative and regulatory base of carrying out of the energy inspections, concepts of energy efficiency of surveyed object, energy resources saving, potential of energy saving, consumption rates of the electric power and standart indicator of energy efficiency are presented. The role of energy audit in increasing of working organization efficiency is opened. The technique of complex energy inspections, structure of the energy passport of the organization and contents of the report of energy inspections, and also the SADT-charts of processes of carrying out of the energy inspections and order of carrying out of an energy audit are presented.

Keywords: energy audit, energy efficiency, energy saving, energy resources, energy passport.

Для повышения эффективности потребления электроэнергии и энергоресурсов, а также для разработки мероприятий по оптимизации энергозатрат на предприятии ЗАО «Спецтехномаш» необходимо проведение энергоаудита.

Понятие «энергоаудит» появилось в РФ в начале 90-х гг. XX в., несколько раньше принятого в 1996 г. закона «Об энергосбережении». В 2009 г. был принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» [1].

В свою очередь, на Западе энергоаудит сформировался как самостоятельный раздел аудиторской деятельности в связи с резким ростом цен на энергоносители и доли энергозатрат в структуре себестоимости продукции. В целях повышения энергоэффективности многие иностранные фирмы внедрили систему энергоменеджмента на основе международного стандарта ISO 50001–2011. Аудит оказался больше затребованным в качестве инструмента для принятия эффективных организационных и технических решений при повышении конкурентоспособности и финансовой устойчивости фирм [2]. Энергоаудит для предприятия является основой энергопользования и элементом совершенствования менеджмента предприятия [2].

В связи с важностью мероприятий по энергосбережению в 2010 г. был издан приказ Минэнерго РФ от 07.04.2010 г. № 148 «Об организации работы по образовательной подготовке и повышении квалификации энергоаудиторов для проведения энергетических обследований в целях эффективного и рационального использования энергетических ресурсов».

Энергетическое обследование (энергоаудит) – это комплекс мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности обследуемого объекта [1].

Повышение энергетической эффективности и энергопотребления в ЗАО «Спецтехномаш» связано с энергосбережением. Энергосбережение представляет собой реализацию правовых, организационных,

научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Для повышения энергетической эффективности и энергопотребления необходимо оценить характеристику энергоресурсопотребления, потенциал энергосбережения, установить норматив расхода электроэнергии, нормативный показатель энергетической эффективности объекта. Потенциал энергосбережения представляет собой количество теплоэнергоресурсов, которые можно сберечь в результате реализации технически возможных и экономически оправданных мер, направленных на эффективность их использования и вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии при условии сохранения или снижения техногенного воздействия на окружающую и природную среду [3].

Характеристика энергоресурса потребления представляет собой физическую величину, отражающую количество и качество потребляемого объектом энергоресурса, которая используется для расчета показателей эффективности.

Важную роль в энергосбережении играет правильно установленный норматив расхода электроэнергии.

Норматив расхода электроэнергии (топлива) – это научно и технически обоснованная составляющая норма расхода электроэнергии (топлива), устанавливаемая в нормативной и регламентной документации на конкретное изделие, услугу и характеризующая предельные значения (как правило, меньшие) потребления энергии (топлива) по элементам производственного процесса на единицу выпускаемой продукции (услуги) (ГОСТ 30167). Однако рациональное потребление энергии на создание продукции устанавливает нормативный показатель энергетической эффективности.

Нормативный показатель энергетической эффективности представляет собой установленную в нормативной документации на объект (процесс) количественную характеристику уровней рационального

потребления и экономного расходования топливноэнергетических ресурсов при создании продукции, реализации процессов, проведении работ и оказании услуг, выраженную в виде абсолютного, удельного или относительного показателя их потребления (потерь) [1].

Важная роль в энергосбережении предприятия отводится энергоаудиту. Энергоаудит может позволить лать:

- заключение и рекомендации по учету энергии и энергоресурсов на предприятии, о техническом состоянии оборудования с рекомендацией по его безопасной эксплуатации, по оптимизации режимов его работы и загрузки применительно к режимам работы персонала и действующим тарифам;
- обоснования по выбору необходимого для производства оборудования с учетом цен и оптимального уровня энергопотребления;
- объективное заключение по уровню нормируемых технологических потерь для защиты лимитов энергопотребления, что позволит избежать излишних затрат перед налогоплательщиками и энергопоставляющими компаниями по отнесению части потерь на сверхнормативные;
- объективное заключение по уровню определенных технических потерь при защите тарифов и цен регулируемых организаций;
- подготовку разделов долгосрочных соглашений по проведению мероприятий повышения энергоэффективности для организаций с регулируемыми ценами и тарифами.

Энергоаудит может позволить также выявить:

- нерациональное использование оборудования и оптимальные методы режимов работы;
- потери энергии в результате эксплуатации неисправного и неотлаженного оборудования;
- нарушение технических регламентов по обслуживанию и эксплуатации оборудования.

На основе энергоаудита могут быть осуществлены:

- расчет потенциала повышения энергоэффективности:
- подготовка проекта типовых мероприятий по энергосбережению;
- разработка адаптированных к условиям предприятия мероприятий по энергосбережению на основании проведенных обследований и анализа системы управления;
- подготовка энергопаспорта предприятия и энергопаспорта на объекты, здания и сооружения;
- разработка технического задания для заключения договора с энергосервисной организацией;
- подготовка разделов бизнес-планов, связанных с приобретением энергоэффективного и оптимального по энергопотреблению оборудования;
- проектирование зданий и сооружений с установленными показателями энергоэффективности;
- приемка в эксплуатацию зданий и сооружений при подтверждении показателей энергоэффективности и режимов энергопотребления;
- процедуры подтверждения и сертификации показателей энергоэффективности и энергопотребления;

 разрешение споров в арбитражном суде по вопросам энергопользования и принятия тарифных решений.

Методика проведения комплексного энергетического обследования при проведении энергоаудита может включать несколько этапов (рис. 1).

Энергетический паспорт потребителя топливноэнергетических ресурсов (ТЭР) представляет собой нормативный документ, содержащий показатели эффективности использования ТЭР, потребляемых в процессе хозяйственной деятельности объектами производственного назначения независимо от организационных форм и форм собственности, а также содержащий энергосберегающие мероприятия с учетом энергетического баланса. Структура энергетического паспорта может включать следующие разделы (рис. 2).

Энергетический паспорт эксплуатируемого объекта оформляется в соответствии с требованиями Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательное акты Российской Федерации».

Содержание отчета по результатам энергетического обследования должно включать:

- титульный лист с указанием исполнителей;
- содержание, введение, аннотацию с перечнем предложенных решений по энергосбережению;
- описание объектов, схемы энергопотребления и энергоснабжения;
- оценку возможностей экономии энергии по системам снабжения энергоресурсами и основным энергопотребляющим технологическим процессам и установкам;
- обзор прилагаемых решений и программа по энергосбережению;
- анализ возможностей развертывания более детальной системы учета энергии и организации системы энергетического менеджмента;
- приложения с таблицами и оформленные карточки на каждое предложение по энергосбережению (если желает заказчик).

На основании проведенных исследований были разработаны обобщенная SADT-диаграмма энергетического обследования (рис. 3) и SADT-диаграмма для процессов проведения энергетических обследований (рис. 4), позволяющие оценить использование управляющих и поддерживающих ресурсов на предприятии ЗАО «Спецтехномаш», а также входных и выходных параметров при проведении энергоаудита организации.

Энергетические обследования ЗАО «Спецтехномаш» проводятся организацией ФБУ «Красноярский ЦСМ», входящей в состав НП «Союзэнергоэффективность». К проведению энергетических обследований привлекаются специалисты, прошедшие обучение в качестве аудиторов (приказ Минэнерго РФ от 17.05.2010 г. № 148 «Об организации работы по образовательной подготовке и повышении квалификации энергоаудиторов для проведения энергетических обследований в целях эффективного и рационального использования энергетических ресурсов»).

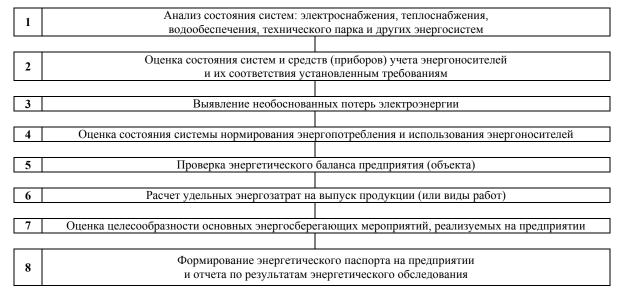


Рис. 1. Этапы энергетического обследования предприятия

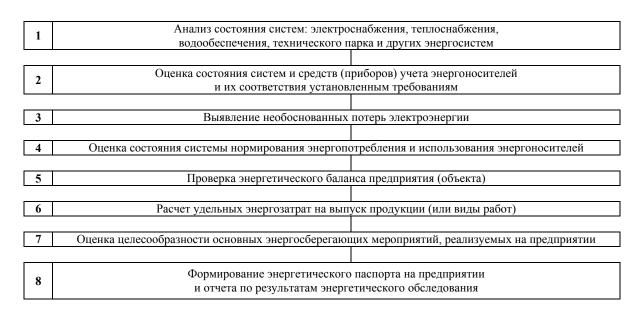


Рис. 2. Структура энергетического паспорта предприятия

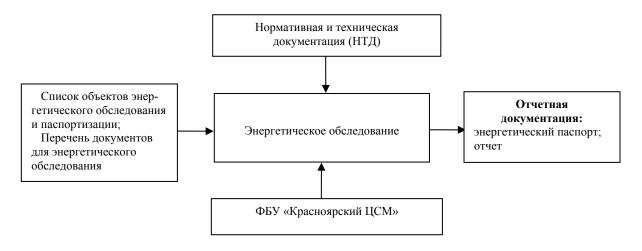


Рис. 3. Обобщающая SADT-диаграмма

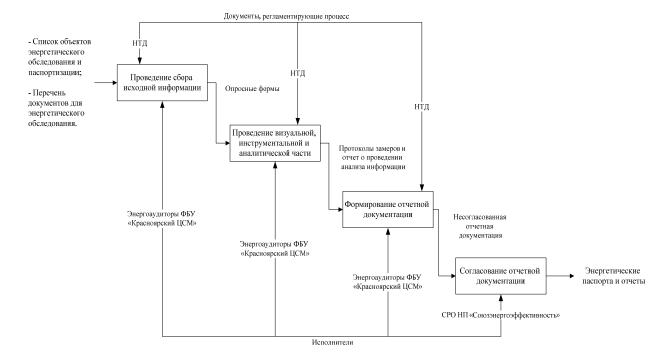


Рис. 4. SADT-диаграмма для процесса проведения энергетических обследований

Обследование рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- 1. Заказчик проводит конкурсную процедуру по выбору организации, осуществляющей энергоаудит.
- 2. Заказчик оформляет трехсторонний договор на проведение энергоаудита, который подписывает заказчик, аудитор, саморегулируемая организация по энергопотреблению и энергосбережению (СРО).

СРО выступает в качестве гаранта оказания исполнителем качественных услуг в соответствии с законодательством РФ, внутренними документами СРО, договором и техническим заданием.

Техническое задание является приложением к договору на проведение энергетического обследования, регламентирующим объем и состав работ, а также вид и формат результатов работ, которые необходимо выполнить во время аудита.

- 3. Энергоаудитор оформляет договор с экспертной организацией, являющейся членом СРО, о контроле качества оказанных услуг и подготавливаемой документации по итогам энергоаудита.
- 4. Энергоаудитор осуществляет проведение энергоаудита.
- 5. Энергоаудитор передает документы на проведение энергоаудита в экспертную организацию.
- 6. Экспертная организация представляет в СРО заключение о качестве оказанных услуг и документов по итогам проведения энергетического обследования, направляемых заказчику.
- 7. На основании положительного экспертного заключения о качестве оказанных услуг СРО вносит номер энергопаспорта объектов (предприятия) в реестр энергетических паспортов.

- 8. Энергоаудитор передает заказчику документацию по итогам проведенного энергетического обслелования.
- 9. СРО направляет в Минэнерго России заверенные электронной подписью копии энергетических паспортов, составленных членами этой саморегулируемой организации по результатам проведенных ими за указанный период обязательных энергетических обследований, один раз в три месяца.

Повторный энергоаудит проводится с целью мониторинга внедрения энергосберегающих мероприятий, предусмотренных программой в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Для разработки стандарта организации, определяющего порядок и требования проведения энергетических обследований, необходимо учитывать требования ГОСТ Р ИСО 9001–2011 и Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательное акты Российской Федерации», а также требуется использовать положения стандартов ГОСТ Р ИСО 9004–2010, ИСО 14001, OHSAS 18001 [4; 5].

Стандарт ISO 5001:2011 предоставляет компаниям структурированное руководство по оптимизации процесса потребления электроэнергетических ресурсов и системное управление данным процессом и может быть использован отечественными фирмами.

Энергоаудит направлен на повышение энергосбережения и эффективность работы ЗАО «Спецтехномаш». Энергоаудит является элементом менеджмента качества, он позволяет снизить энергетические затраты на производство продукции и повысить конкурентоспособность организации.

Библиографические ссылки

- 1. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон № 261: [принят Государственной Думой 11 ноября 2009 г.] [Электронный ресурс]. URL: http:// base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=157142.
- 2. Российская Федерация. Законы. О саморегулируемых организациях : федер. закон № 315 : [принят Государственной Думой 16 ноября 2007 г.] [Электронный ресурс]. URL: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=147320.
- 3. Российская Федерация. Приказы. Об организации работы по образовательной подготовке и повышении квалификации энергоаудиторов для проведения энергетических обследований в целях эффективного и рационального использования энергетических ресурсов: приказ Минэнерго № 148: [введен в действие 7 апреля 2010 г.] [Электронный ресурс]. URL: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=483281.
- 4. ГОСТ Р ИСО 9001–2011. Межгосударственный стандарт. Системы менеджмента качества. Требования: [введен в действие Приказом Росстандарта от 22.12.2011 г. № 1575-ст] [Электронный ресурс]. URL: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base =LAW;n=145824.

5. ГОСТ Р ИСО 9004–2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества. : [утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 23.11.2010 г. № 501-ст] [Электронный ресурс]. URL: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=135559.

References

- 1. RF Federal Law "About energy saving and increasing of energy efficiency, alteration in individual legislations of the Russian Federation" of November 11, 2009 № 261. Available at: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=157142 (In Russ.).
- 2. RF Federal law "About SROs" of November 16, 2007 № 315. Available at: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=147320 (In Russ.).
- 3. RF Order of the Ministry of energy "Carrying out energy inspections in order to increase energy efficiency and energy saving" of April 7, 2010 № 148. Available at: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base =EXP;n=483281 (In Russ.).
- 4. GOST R ISO 9001-2011. Quality management systems. Requirements. Available at: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=145824 (In Russ.).
- 5. GOST R ISO 9004–2010. Managing for the sustained success of an organization. A quality management approach. Available at: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=135559 (In Russ.).

© Прудникова М. С., Трифанов И. В., 2014

УДК 338.45.01

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ФОРМ И МЕТОДОВ УЧАСТИЯ ГОСУДАРСТВА В РАЗВИТИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

О. В. Фирулев, Ю. В. Ерыгин

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 E-mail: Oleg91krasrus@mail.ru, Erygin@sibsau.ru

Выполнена оценка эффективности реализации федеральных целевых программ, направленных на финансирование инновационной деятельности предприятий ракетно-космической отрасли Российской Федерации. Рассмотрен вопрос финансирования научных исследований через государственные некоммерческие организации. Показана роль фондов как инструмента повышения инвестиционной привлекательности инновационной деятельности в ракетно-космической промышленности и, как следствие, увеличения объемов её финансирования за счет частных инвестиций.

Ключевые слова: инновации, инновационное развитие, ракетно-космическая отрасль.

THE MODERN STATE AND PERSPECTIVES FOR IMPROVING THE FORMS AND METHODS OF STATE PARTICIPATION IN THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE ACTIVITY IN THE ROCKET AND SPACE INDUSTRY

O. V. Firulev, Yu. V. Erygin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation E-mail: Oleg91krasrus@mail.ru, Erygin@sibsau.ru

In this article we discuss the efficiency and realization of Federal target programs directed at financing innovation within the rocket and space industry enterprises of the Russian Federation. Also, the question of funding of the research through a state non-profit organization is considered. The role of funds as an instrument of increasing investment attractiveness of innovative activity in the rocket and space industry and, as consequence, increase of its financing at the expense of private investments is also shown.

Keywords: innovations, innovative development, rocket and space industry.

Федеральные целевые программы (ФЦП) являются инструментом эффективного использования бюджетных средств для достижения намеченных целей в определенные сроки на основе оптимизации необходимых ресурсов.

Одной из намеченных государством целей является инновационное развитие ракетно-космической отрасли России, способной к эффективному саморазвитию на основе интеграции в мировую технологическую среду и разработке передовых промышленных технологий, нацеленных на формирование новых рынков инновационной продукции.

В настоящее время в ракетно-космической промышленности разработаны и осуществляются 8 федеральных целевых программ:

- «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» [1];
- «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2014–2020 годы» [2];
- «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности на период до 2020 года» [3];
- «Федеральная космическая программа России на 2006–2015 годы» [4];
- «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012—2020 годы» [4];
- «Космическая деятельность России на 2013– 2020 годы» [4];
- «Развитие российских космодромов на 2006– 2015 годы» [5];
- «Федеральная целевая программа развития образования на 2011–2015 годы» [6].
- В структуре источников финансирования этих программ доля бюджетных средств составляет не менее 75 % от общей суммы в 4 258,9 млрд руб., которая определена исходя из необходимости:
- эффективной интеграции российского сектора исследований и разработок в глобальную инновационную систему и развития кооперационных связей российских и иностранных научно-исследовательских организаций [1];

- увеличения производственной мощности, формирования потенциала для развития на мировых рынках за счет повышения производственной эффективности и энергоэффективности [3];
- завершения разработки, модернизации и ввода в эксплуатацию космических систем и комплексов нового поколения, а также повышения эффективности управления космическими аппаратами и пилотируемыми космическими комплексами за счет создания и развития на долевой основе наземного автоматизированного комплекса управления, обеспечения сроков активного функционирования космических аппаратов до пятнадцати и более лет, создания высоконадежной, радиационно стойкой, помехоустойчивой, длительно функционирующей служебной и целевой бортовой аппаратуры космических аппаратов [4];
- роста эффективности и результативности труда ученых и преподавателей за счет развития кадрового потенциала науки национальных исследовательских университетов и повышения уровня фундаментальных научных исследований, а также роста востребованных экономикой компетенций сотрудников научных организаций и учреждений высшего профессионального образования [2];
- оснащения современным учебно-производственным, компьютерным оборудованием и программным обеспечением образовательных учреждений профессионального образования, внедряющих современные образовательные программы и обучающие технологии, организацию стажировок и обучение специалистов в ведущих российских и зарубежных образовательных центрах, с привлечением к этой работе объединений работодателей, коммерческих организаций, предъявляющих спрос на выпускников учреждений профессионального образования [6].

Федеральные целевые программы разработаны с учетом полученных результатов предыдущих программ, в них определены целевые индикаторы и показатели на перспективу.

Важнейшую роль в инновационном развитии ракетно-космической отрасли России играет ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным

направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы», которая стала логическим продолжением аналогичной программы на 2007—2013 годы. В рамках этой программы предусматривалось достижение 10 целевых индикаторов и показателей. К концу 2013 года из них были достигнуты 3, а еще 4 превысили плановое значение [7].

Плановые и фактические значения целевых индикаторов и показателей программы в 2013 году приведены в табл. 1.

Таблица 1

Целевые индикаторы и показатели ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.» в 2013 г.

Целевые индикаторы	Единица	2013 год	
и показатели	измерения	План.	Факт.
Объем дополнительного производства новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции за счет коммерциализации созданных передовых технологий	млрд руб.	33–35	39,19
Дополнительный объем экспорта высокотехноло-гичной продукции	млрд руб.	15–15,5	9,6
Объем привлеченных вне- бюджетных средств	млрд руб.	14,6–14,8	14,78
Дополнительный объем внутренних затрат на ис- следования и разработки, в том числе внебюджетные средства	млрд руб.	36,8–37	32,16
Количество разработанных конкурентоспособных технологий, предназначенных для коммерциализации	единиц	28–29	32
Количество внедренных передовых коммерческих технологий	единиц	1	1
Количество внедренных критических технологий, по которым Российская Федерация имеет мировой приоритет	единиц	1	1
Количество новых организаций, обладающих приборной базой мирового уровня	единиц	1	2
Количество новых рабочих мест для высококвалифицированных работников	тыс. рабо- чих мест	11–11,5	9,65
Количество молодых специалистов, привлеченных к выполнению исследований и разработок	тыс. чел.	6–6,5	12,601

Эффективность ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научнотехнологического комплекса России на 2007–2013 годы» оценивается на основании фактических количественных оценок целевых индикаторов ежегодно в процентах по следующей формуле:

$$\Im = \left[1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(x_{i} - x_{\phi \text{akt} i} \right)}{x_{i}} \right] \cdot 100 \%,$$

где n — количество целевых индикаторов; x_i — планируемое значение i-го целевого индикатора; x — фактическая количественная оценка i-го целевого индикатора [8].

Эффективность данной программы по годам составила: в 2007 году — 182,9 %, в 2008 году — 120,5 %, в 2009 году — 317,7 %, в 2010 году — 446,6 %, в 2011 году — 140,5 %, в 2012 году — 123,7 %, в 2013 году — 118,3 %. Эффективность программы составила 207,2 %.

Положительный опыт реализации и других федеральных целевых программ в ракетно-космической отрасли показал целесообразность продолжения программного метода развития. Федеральные целевые программы являются эффективным инструментом в развитии инновационной составляющей ракетно-космической отрасли Российской Федерации.

Наряду с федеральными целевыми программами финансирование научных исследований осуществляется через государственные некоммерческие организации, такие как Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) и Российский гуманитарный научный фонд (РГНФ), которые были созданы в начале 90-х годов прошлого столетия. Эти фонды являются бюджетными организациями и расходуют средства в соответствии с Бюджетным кодексом.

Однако международный опыт показывает, что все больше и больше научных исследований ведется с привлечением средств частного бизнеса. Это позволяет выйти за рамки жестких правил расходования бюджетных средств и получить научный результат — главный показатель работы ученого.

В 2014 году началась глобальная реформа системы финансирования российской науки, которая коснется фундаментальных и поисковых научных исследований в ракетно-космической отрасли. Финансирование этих исследований будет осуществляться преимущественно за счёт грантов. Ученым необходимо будет получать гранты на конкурсной основе. Распределять гранты будет Российский научный фонд (РНФ), который был создан в 2013 году. В него перейдет часть средств федеральных целевых программ, предусмотренных на финансирование теоретической науки.

По мнению генерального директора РНФ Александра Хлунова, главное отличие РНФ от других действующих фондов и институтов, поддерживающих науку, заключается в том, что это не бюджетное учреждение, а именно фонд. Нет необходимости сосредоточиваться на отслеживании деталей и статей расходования средств, как это предписано законом для бюджетного учреждения [9]. Фактор цены или сроков исполнения не присутствует. Главное в работе — мониторинг полученного научного результата. Это позволит улучшить взаимодействие РФН с научными коллективами и заказчиками исследований. Размеры грантов РНФ в сумме от 5 до 25 млн руб. и даже до 150 млн руб. позволят организовать новые исследования и углубленно изучить ту или иную научную

проблему, что, безусловно, отразится на достижении целевых индикаторов $\Phi \Pi \Pi$.

Таким образом, наметившаяся тенденция увеличения роли частного капитала в развитии инноваций позволяет сделать вывод о необходимости перераспределения государством части бюджетных средств, выделяемых в ФЦП на фонды, что, соответственно, пропорционально позволит увеличить частные инвестиции, сделает их более привлекательными для инвесторов и тем самым увеличит в целом общую сумму средств, направленных на научные исследования в ракетно-космической отрасли.

Библиографические ссылки

- 1. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» [Электронный ресурс]. URL: http://2014.fcpir.ru/upload/medialibrary/332/tekst-programmy.pdf (дата обращения: 15.04.2014).
- 2. Министерство образования и науки Российской Федерации: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: http://минобрнауки.pф/документы/3332/файл/2165/13. 04.24-ФЦП- Кадры.pdf (дата обращения: 17.04.2014).
- 3. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации : офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: http://www.minpromtorg.gov.ru/reposit/minprom/ministry/fcp/8/gosudarstvennaya_programma.pdf (дата обращения: 15.04.2014).
- 4. Федеральное космическое агентство («Роскосмос») : офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: http://www.federalspace.ru/115/ (дата обращения: 20.04.2014).
- 5. Министерство экономического развития Российской Федерации : офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.egi/Fcp/ViewFcp/View/2012/198/ (дата обращения: 17.04.2014).
- 6. Министерство образования и науки Российской Федерации: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: http://co2b.ru/ uploads/01_04_13_4.pdf (дата обращения: 17.04.2014).
- 7. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» [Электронный ресурс]. URL: http://2007.fcpir.ru/catalog.aspx?CatalogId=685 (дата обращения: 10.04.2014).
- 8. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» [Электронный ресурс]. URL: http://2007.fcpir.ru/catalog.aspx?CatalogId=2132 (дата обращения: 10.04.2014).
- 9. Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)» : офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: http://itar-tass.com/opinions/interviews/1903 (дата обращения: 25.04.2014).

References

- 1. Federal'naja tselevaja programma "Issledovanija i razrabotki po prioritetnym napravlenijam razvitija nauchno-tehnologicheskogo kompleksa Rossii na 2014–2020 gody" [Federal target program "Research and development on priority directions of scientifictechnological complex of Russia for 2014–2020"]. Available at: http://2014.fcpir.ru/upload/medialibrary/332/tekst-programmy.pdf (accessed 15 April 2014) (In Russ.).
- 2. Ministerstvo obrazovanija i nauki Rossijskoj Federatsii [The Ministry of education and science of the Russian Federation]. Available at: http://минобрнауки.рф/документы/3332/файл/2165/13.04.24-ФЦП- Кадры.pdf (accessed 17 April 2014) (In Russ.).
- 3. Ministerstvo promyshlennosti i torgovli Rossijskoj Federatsii [The Ministry of industry and trade of the Russian Federation]. Available at: http://www.minpromtorg.gov.ru/reposit/minprom/ministry/fcp/8/gosudarstvennaya _programma.pdf (accessed 15 April 2014) (In Russ.).
- 4. Federal'noe kosmicheskoe agentstvo ("Roskosmos") [The Federal space agency ("Roskosmos")] Available at: http://www.federalspace.ru/115/ (accessed 20 April 2014) (In Russ.).
- 5. Ministerstvo jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federatsii [The Ministry of Economic Development of the Russian Federation]. Available at: http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/ViewFcp/View/2012/198/(accessed 17 April 2014) (In Russ.).
- 6. Ministerstvo obrazovanija i nauki Rossijskoj Federatsii [The Ministry of education and science of the Russian Federation]. Available at: http://co2b.ru/uploads/01_04_13_4.pdf (accessed 17 April 2014) (In Russ.).
- 7. Federal'naja tselevaja programma "Issledovanija i razrabotki po prioritetnym napravlenijam razvitija nauchno-tehnologicheskogo kompleksa Rossii na 2007—2013 gody" [Federal target program "Research and development on priority directions of scientifictechnological complex of Russia for 2007–2013"]. Available at: http://2007.fcpir.ru/catalog.aspx?CatalogId=685 (accessed 10 April 2014) (In Russ.).
- 8. Federal'naja celevaja programma "Issledovanija i razrabotki po prioritetnym napravlenijam razvitija nauchno-tehnologicheskogo kompleksa Rossii na 2007–2013 gody" [Federal target program "Research and development on priority directions of scientifictechnological complex of Russia for 2007–2013"]. Available at: http://2007.fcpir.ru/catalog.aspx?CatalogId=2132 (accessed 10 April 2014) (In Russ.).
- 9. Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe predprijatie "Informacionnoe telegrafnoe agentstvo Rossii (ITAR-TASS)" [TAR-TASS News Agency]. Available at: http://itar-tass.com/opinions/interviews/1903 (accessed 25 April 2014) (In Russ.).

© Фирулев О. В., Ерыгин Ю. В., 2014

УДК 330.101.52

ГЕНЕЗИС И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОНЯТИЯ «ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ»

В. А. Шабашев¹, В. Б. Батиевская ²

¹Кемеровский государственный университет Российская Федерация, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6 E-mail: bash_kemsu@mail.ru
²Кемеровская государственная медицинская академия Российская Федерация, 650029, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 22a E-mail: batvb@kemsma.ru

В исторической ретроспективе и логической последовательности проведен анализ становления и закрепления в научном обороте понятия «экономическая эффективность». Проанализирована трактовка понятий эффекта, результата, результативности, эффективности представителями различных научных школ и современными исследователями. Предлагается использовать комплексную оценку эффективности, под которой понимается сравнение эффективности разных систем между собой, а также сопоставление одной системы в динамике с учетом всех перечисленных элементов эффективности.

Ключевые слова: экономическая система, эффективность, индикаторы и показатели, результативность, эффект, динамика развития.

GENESIS AND CLASSIFICATION OF THE CONCEPT "ECONOMIC EFFICIENCY"

V. A. Shabashev¹, V. B. Batievskaya²

¹Kemerovo State University
6, Krasnaya st., Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: bash_kemsu@mail.ru

²Kemerovo State Medical Academy
22a, Voroshilova st., Kemerovo, 650029, Russian Federation
E-mail: batvb@kemsma.ru

The article analyzes the emergence and development of the concept of "economic efficiency". The analysis has been conducted in a historical retrospective and a logical sequence. The authors have investigated what it means: the effect, the result, efficiency, effectiveness. The contribution to the economic science of different scientists has been investigated. The authors propose to use comprehensive evaluation, which is understood as the comparison of the effectiveness of different systems with each other, as well as the comparison of the dynamics of a system, taking into account all of the elements of productivity.

Keywords: economic system, efficiency, performance indicators, effectiveness, effects, dynamics of development.

Проблема анализа эффективности постоянно находится в центре активной научно-исследовательской деятельности, несмотря на то, что уже известны многие специфические методы ее определения для отдельных научно-технических, экономических программ и инвестиционных проектов, а также для хозяйствующих субъектов (предприятий).

Эффективность — социально-экономическая категория, присущая всем типам социально-экономических отношений, это одна из важнейших характеристик качества любой системы.

В том случае, когда речь идет об эффективности экономики, следует учитывать ограничения (наличие

природных, человеческих ресурсов, средств производства), определить условия и правила ее достижения.

Определение эффективности экономики не может быть самоцелью. Этот процесс тесно связан, сильно зависим, а порою вступает в противоречие с вопросами социальной стабильности и справедливости, национальной безопасности, идеологическими и культурными предпочтениями, этическими нормами.

Однако эффективность экономики является базовой, определяющей для реализации названных предпочтений, так как удовлетворение разнообразных материальных потребностей, повышение уровня жизни невозможно без быстрого экономического роста.

Разрешение указанных противоречий возможно на основе соблюдения следующих общих принципов:

- найти условия, обеспечивающие максимальную экономическую эффективность;
- отойти от этого основного направления, если возникают препятствия политического и социального порядка, при которых выигрыш от роста эффективности будет нейтрализован трудностями, страданиями или беспорядками [1, с. 11].

Внимание к терминам «эффект», «эффективность» прошло различные стадии развития. Первые предпосылки для характеристики эффективности были заложены в процессе становления классической либеральной мысли. Это нашло отражение в знаменитой «Экономической таблице» физиократа Ф. Кене (1758 г.). В работе Д. Рикардо «Теория сравнительных преимуществ» впервые употреблён термин «эффективность» (1817 г.).

Классическая политическая экономия считала, что рыночная экономика и частная собственность на средства производства всегда приводит к оптимальному, эффективному использованию имеющихся ресурсов, к наилучшему удовлетворению потребностей людей.

Особую позицию выразил К. Маркс, рассматривающий экономическую эффективность как основное условие трансформации одной общественно-политической формации в другую. По К. Марксу, ни одна общественно-экономическая формация не погибает раньше, чем разовьются все производственные силы, для которых она дает достаточно простора, а новые производственные отношения никогда не появляются раньше, чем в лоне старого общества созреют материальные условия их существования.

Второй этап характеристики эффективности экономики начинается с разработки теории общего рыночного равновесия Л. Вальраса (1874 г.), в которой объясняются условия максимализации полезности. Развитие этой теории получило в трудах В. Парето. Оптимальное состояние рынка по Парето — это такое, при котором никто из участников не может улучшить свое положение, не ухудшая положения хотя бы одного из участников. Этот принцип лег в основу современной математической теории экономики благосостояния.

Один из последователей В. Парето Людвиг фон Мизес показал, что нельзя достичь состояния максимальной эффективности в рамках экономики с централизованным планированием.

Третий этап более строгой формулировки условий теории максимальной эффективности экономики начался со Второй мировой войны [1, с. 13].

Лауреат премии по экономике имени А. Нобеля Рональд Коуз разработал известную теорему, доказывающую, что внешние эффекты экономической деятельности (externalities) могут корректироваться рынком. При условии, что имущественные права (property rights) определены, а трансакционные издержки отсутствуют, создатели и жертвы внешних эффектов экономической деятельности могут интернализировать

их (трансформировать во внутренние доходы или издержки) посредством заключения частных контрактов (contracts). Результатом становится эффективное использование ресурсов.

Питер Друкер, один из самых влиятельных теоретиков менеджмента XX века, в своей работе «Эффективный руководитель» рассматривал эффективное развитие организации через личные качества менеджмента. Питер Друкер дает такую трактовку понятий результативности и эффективности: результативность означает способность организации в целом (или руководителя, менеджера) «делать правильные вещи». А эффективность – способность (организации, руководителя, менеджера среднего звена и др.) «делать вещи правильно», т. е. получать результаты с наименьшими затратами ресурсов.

Следует обратить внимание на позицию лауреата премии по экономике имени А. Нобеля М. Алле, который отмечал, что «...состояние максимальной эффективности соответствует границе между совокупностью состояний, которых можно достичь, используя имеющиеся в распоряжении общества ресурсы и знания, совокупностью состояний, достижение которых невозможно. Любое состояние ниже этой границы — неэффективно, любое состояние выше границы — невозможно, а все состояния, находящиеся на границе, отвечают общей цели максимальной эффективности» [1, с. 184].

М. Алле подчеркнул, что «...в экономическом плане понятие максимальной эффективности в сфере производства означает лишь то, что экономика использует свои производственные мощности наиболее эффективно, иными словами, добиться лучших результатов с теми же средствами уже невозможно [1, с. 184].

В современном научном обороте существует множество близких понятий, так или иначе связанных с проблемой эффективности:

- эффективность и результативность;
- эффект и результат;
- рентабельность, прибыльность, производительность и др.

Однако границы между этими понятиями расплывчаты, и вокруг них ведутся активные дискуссии.

Существует много определений эффективности в словарях: «отношение полезного результата (эффекта) к затратам»; «способность системы в процессе ее функционирования производить экономический эффект» [2, с. 1009–1010].

Эффективность экономическая:

- отношение между затратами редких ресурсов и производимым в результате их использования объемом товара или услуги;
- производство продукта определенной стоимости при наименьших затратах ресурсов;
- мера наших затрат на достижение поставленных целей [3, с. 327–328].

Экономическая эффективность в масштабе народного хозяйства характеризует способность всей экономики страны получить максимальный результат

при использовании имеющихся ограниченных ресурсов [3, с. 328].

Как видим, почти во всех определениях эффективности идет речь о соотношении результата и затрат. При этом сложной задачей является определение, измерение результата и затрат.

В качестве примера, иллюстрирующего неоднозначность и противоречивость ситуации, попытаемся сравнить толкование наиболее употребляемых и близких по смыслу определений, данных в Экономикоматематическом словаре современной экономической науки под ред. Л. И. Лопатникова [4].

Попытаемся выявить принципиальные отличительные характеристики нескольких из вышеприведенных понятий и дать им трактовку, которая позволяла бы однозначно различать одну дефиницию от другой (табл. 1).

Как видим, понятие «эффективность» существенно шире, нежели понятия «эффект», «результат» и «результативность».

Очень важно, чтобы любые теоретические модели отражали реальность. В данной работе под результатом будем понимать прирост или уменьшение какого-

Результаты экономической деятельности

[benefits, gains]

Разница между полезной частью выпуска системы – ее

продуктом и затратами ресурсов на его производство. Здесь рассматриваются результаты, характеризующие

Результативность - это соотношение между затратами

ционирования системы

либо показателя функционирования системы на определенный (критический) момент времени (количество выпущенной продукции в натуральном и денежном выражении; прибыль предприятия; количество заболевших, умерших, родившихся и т. п.).

Под эффектом предлагается понимать более сложное явление - изменение совокупности результатов. Это суммарный показатель изменения различных результатов во временном аспекте.

Многомерность понятия эффективности проиллюстрируем на рис. 1, из которого следует, что эффективность функционирования системы любой сложности рассматривается двояко:

- с одной стороны, это совокупность «внутренних» затрат и результатов;
- с другой стороны, это совокупность затрат и результатов, лежащих за пределами системы, т. е. при системной оценке эффективности необходимо учитывать не только благоприятные изменения внутренних системных параметров, но и экстерналии, которые должны быть положительными (позитивное влияние функционирования системы на окружающее социально-экономическое пространство).

Таблица 1

Сравнительная характеристика различных понятий, связанных с эффективностью функционирования экономических систем

Попарно сравнимые определения Экономический эффект [economic effect, economic results] Так или иначе измеренный или оцененный объем продук-Разница между результатами экономической деятельности ции (в широком смысле слова, т. е. выпуск, включающий, (например, продуктом в стоимостном выражении) и затранапример, материальные и нематериальные услуги, загрязтами, произвеленными для их получения и использования. няющие среду отходы и т. д.), произведенной в процессе Когда результатом экономической деятельности являются функционирования системы; следовательно, результат не только экономические, но и более широкие социальноэто выход системы, воздействие ее функционирования на экономические последствия, правильнее говорить о социвнешнюю среду. В данном случае измерить результаты ально-экономическом эффекте. Если результаты экономизначит дать внешнюю оценку функционирования системы ческой деятельности превышают затраты, имеем положительный экономический эффект (оцениваемый, например, прибылью); в противоположном случае – отрицательный (например ущерб, убыток) Разница между исходной и достигнутой абсолютной экономической эффективностью рассматриваемой экономической системы при ее изменении или изменении условий ее функционирования изменение самой системы, прежде всего накопление или уменьшение (истощение) ее ресурсов. Измерение результата с этой точки зрения является внутренней оценкой функ-Наиболее общее, политико-экономическое значение термина: результат экономической деятельности есть удовлетворение общественных потребностей в тех или иных благах, т. е. увеличение совокупной общественной полезности Эффективность – соотношение между совокупными затрана достижение данного результата и его количественной тами с учетом изменения их величины во времени и интехарактеристикой (например, количеством произведенной гральным показателем изменения результатов продукции данным работником и его заработной платой)

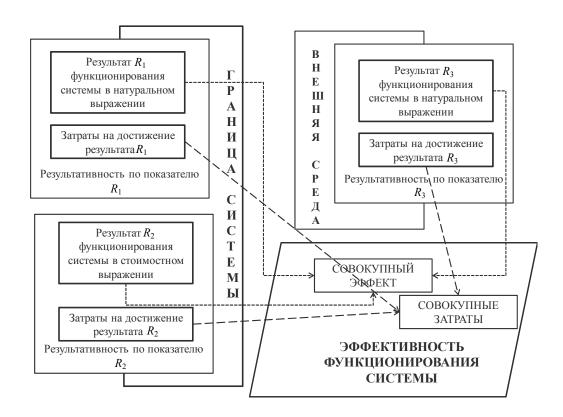


Рис. 1. Взаимосвязь понятий «результат», «результативность», «эффект», «эффективность»

Если исследуемая система оценивается статично, на критический момент времени, то эффективность трактуется двояко:

- потенциальная эффективность способность системы в процессе ее функционирования производить экономический эффект;
- фактическая эффективность действительное создание такого эффекта.

При функционировании экономических систем всегда наблюдается некоторый разрыв между их потенциальной и фактической эффективностью, что свидетельствует о действии тормозящих факторов: неоптимальное распределение ресурсов, несовершенство экономических стимулов, недостаточное качество принимаемых решений или их выполнения [2, с. 2010].

Если исследователь оценивает систему в динамике, то речь идет об эффективности ее трансформации — способности системы производить при ее изменении (или при изменении условий ее функционирования) больший экономический эффект, чем в других условиях, а также реализации этой способности.

Вышеперечисленные подходы к определению эффективности дают возможность ее оценки двумя способами:

- 1) сопоставлением эффективности одной системы в разных условиях;
- 2) сравнением эффективности разных систем между собой.

При оценке эффективности предлагается выделять следующие элементы.

Экономическая эффективность — результат производственной деятельности, выражаемый в виде соотношения между итогами хозяйственной деятельности и затратами ресурсов.

Экономическая эффективность системы опирается на учет платежеспособного спроса, предъявляемого тем или иным рынком в соответствии с полезностью результата деятельности данной системы, и связанные с этим спросом равновесные (рыночные) цены. К показателям экономической эффективности относят обычно прибыль, добавленную стоимость, удельные затраты на единицу стоимости реализации продукции и т. п. [5].

Социальная эффективность — соотношение затрат на какое-либо социальное мероприятие и его результатов применительно к интересам общества.

Бюджетная эффективность — отражает влияние результатов осуществления проекта на доходы и расходы соответствующего (федерального, регионального или местного) бюджета и определяется как превышение доходов соответствующего бюджета над расходами в связи с осуществлением данного проекта.

Коммерческая эффективность проекта, программы – соотношение затрат инвестора (участника целевой программы) к прибыли, полученной в результате реализации инвестиционного проекта (целевой программы).

Технологическая (ресурсная) эффективность — степень интенсивности использования ресурсов экономического субъекта с точки зрения соотношения

между объемами выпуска различных видов продукции по определенной технологии и размерами затраченных ресурсов.

Институциональная эффективность — актуальна для трансформационной неравновесной экономики, в которой большое значение приобретают институциональные аспекты деятельности. Роль каждой экономической организации рассматривается с точки зрения соответствия ее деятельности устойчивым ожиданиям, предъявляемым со стороны экономических субъектов и физических лиц.

Целевая эффективность – степень соответствия функционирования исследуемой системы ее целевому назначению, достижение эталонного значения.

Народнохозяйственная эффективность — выражает общенародный интерес. Ее показатели оценивают уровень и динамику эффективности общественного производства с точки зрения экономических интересов общества в целом.

В то же время некоторые авторы предлагают наряду с названными видами эффективности следующие: рыночная (ликвидность бизнеса, имущественного комплекса), производственная (техническая, технологическая, организационная), инвестиционная (инвестиционный потенциал), финансовая (платежеспособность, финансовая устойчивость), коммерческая (скорость оборачиваемости активов), социальная (социальная стабильность коллектива), экологическая (уровень охраны окружающей среды) [6].

Взаимосвязь различных аспектов эффективности функционирования экономических систем представлена на рис. 2.

Для более глубокого рассмотрения вопроса необходимо разделить эффективность функционирования социально-экономической системы и эффективность воздействия на нее со стороны государства. Методически такое разделение эффективности социальноэкономической системы влияет на разграничение категорий «эффективность социально-экономической системы» и «эффективность управления». Экономический потенциал можно разделить на ресурсную составляющую (совокупность финансовых, инфраструктурных, трудовых, информационных, природных и прочих ресурсов, имеющихся для развития) и результативную составляющую, т. е. способность системы к эффективному использованию имеющихся ресурсов.

Эффективность различных социально-экономических систем зависит от различия целей, интересов, потенциальных возможностей.

Эффективность социально-экономической системы представляется нам как состояние соответствия ее целевому функционированию с позиции экономических, социальных, финансовых, инвестиционных, инновационных пропорций развития, отражающих ожидания, цели и задачи, поставленные гражданским обществом, бизнес-сообществом и государством в целом (табл. 2).

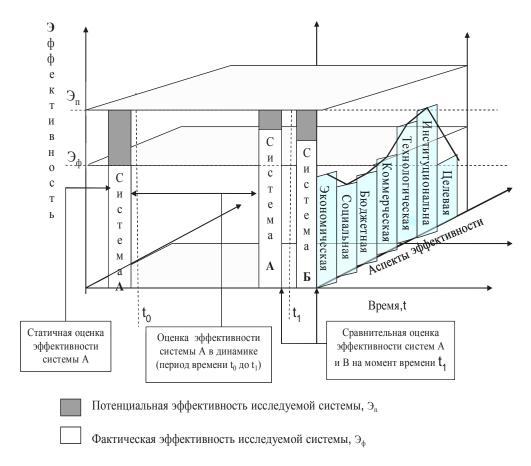


Рис. 2. Комплексная оценка эффективности функционирования социально-экономических систем

Виды эффективности макроэкономической системы (авторское обобщение)

Классификационный признак	Виды эффективности
Объект исследования	Экономическая, социальная, бюджетная, экологическая эффективность
Отношение к экономической системе	Эффективность динамики экономики, эффективность государственного управления экономикой, эффективность государственно-частного соуправления экономикой
Уровень эффективности	Эффективность экономики в целом, эффективность функционирования рынков (товаров, труда, капитала, инноваций), эффективность влияния отдельных отраслей на экономику, эффективность влияния отдельных предприятий на экономику
Вид реализации эффективности	Фактическая и потенциальная эффективность экономики
Возможность количественной оценки	Эффективность, интерпретируемая количественно одним показателем, системой взаимосвязанных показателей, а также по принципу «высокая–низкая», «повышение–понижение» и т. п.
Преобладающий фактор динамики эффективности	Эффективность, изменяющаяся преимущественно под влиянием интенсивных и экстенсивных факторов и их совместного воздействия
Возможность межэкономических сопоставлений	Абсолютная и относительная эффективность
Временной фактор оценки	Долгосрочная, среднесрочная, краткосрочная эффективность

Некоторые виды эффективности заимствованы из работ С. К. Демченко и Т. А. Мельниковой [7].

Внутренняя эффективность отражает собственную оценку полученного эффекта предприятия от деятельности предприятия, его результативность на основе соотношения ресурсов (затрат) и продукта (результата).

Внешняя эффективность отражает структуру общественных потребностей, степень удовлетворения их предприятием, уровень полезности произведенного продукта, долю предприятия на рынке готовой продукции и его потенциальные возможности. Как правило, ориентиры внешней эффективности представлены в миссии предприятия. Однако в практической деятельности нередки случаи, когда цели внутренней и внешней эффективности вступают в противоречие.

Статическая эффективность является основной формой оценки на коротком отрезке времени, когда решаются оперативные и тактические вопросы, не учитывающие полноценное качественное обновление производственной базы.

Динамическая эффективность предполагает достижение более высоких результатов за счет гибкого варьирования ресурсами и изменения технологии в долгосрочном периоде. Динамическая эффективность — основной способ поддержания высокой конкурентоспособности предприятия в течение длительного времени.

Процесс организации оценки эффективности производства предполагает наличие соответствующих количественных (формализованных) оценок показателей. Для их обработки используются различные методы: имитационное моделирование, экономикостатистические, элиминирование, графические методы, теория игр, методы ситуационного анализа и др.

Часто используются неформализованные (качественные) методы оценки, в первую очередь методы экспертного оценивания. Совокупность качественных и количественных показателей сравнения позволяет

сделать комплексную оценку эффективности предприятия.

При разработке и использовании показателей (индикаторов) экономической эффективности следует использовать различные критерии: достоверность, существенность, измеряемость, сопоставимость, сбалансированность, системность, интегрируемость, верифицируемость.

Учесть все эти критерии весьма сложно, поэтому исходя из задач, стоящих перед системой, какие-то критерии будут определяющими, какие-то – дополняющими.

Слишком громоздкая система измерения, состоящая из большого числа показателей, снижает оперативность учета и расчета, затрудняет выделение главных, наиболее важных показателей.

Важно, чтобы система показателей обладала способностью адаптироваться к изменениям внутренней и внешней среды, была ориентирована на измерение конечных результатов деятельности предприятия.

Важно использовать комплексную оценку эффективности, под которой понимается сравнение эффективности разных систем между собой, а также сопоставление одной системы в динамике с учетом всех перечисленных элементов эффективности на основе правильно выбранной системы релевантных показателей и индикаторов.

Библиографические ссылки

- 1. Алле М. Условия эффективности в экономике / пер. с французского Л. Б. Азимова, А. В. Белянина, И. А. Егорова, Н. М. Калмыковой. М.: Наука для общества. 1998. 304 с.
- 2. Экономическая энциклопедия / науч. ред. совет. изд-ва «Экономика» ; Ин-т экон. РАН ; гл. ред. Л. И. Абалкин. М.: Экономика, 1999. 1055 с.

- 3. Вечканов Г. С., Вечканов Г. Р. Словарь рыночной экономики. СПб. : Петрополис, 1995. 379 с.
- 4. Лопатников Л. И. От плана к рынку: карманная энциклопедия. М.: Дело РАНХиГС, 2013. 168 с.
- 5. Клейнер Г. Эффективность мезоэкономических систем переходного периода // Проблемы теории и практики управления. 2002. № 4. С. 24–30.
- 6. Евдокимова Т. В. Анализ генезиса теоретических подходов к понятию и оценке эффективности // Вестник Томского гос. ун-та. Экономика. 2013. № 3 (23). С. 22–27.
- 7. Демченко С. К., Мельникова Т. А. Социальноэкономическая система страны и проблемы ее эффективности // Проблемы современной экономики. 2013. No 3 (47). С. 136–139.

References

1. Alle M. *Uslovija jeffektivnosti v jekonomike* [The terms of efficiency in the economy]. Moscow, Nauka dlja obshestva Publ., 1998, 304 p.

- 2. Abalkin L. I. *Jekonomicheskaja jenciklopedija* [Economic encyclopedia]. Moscow, Jekonomika Publ., 1999, 1055 p.
- 3. Vechkanov G. S., Vechkanov G. R. *Slovar' rynochnoj jekonomiki* [Dictionary of the market economy]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 1995, 379 p.
- 4. Lopatnikov L. I. *Ot plana k rynku: karmannaja jenciklopedija* [From plan to market: Pocket Encyclopedia]. Moscow, Delo Publ., 2013, 168 p.
- 5. Klejner G. [Mesoeconomic efficiency systems in transition]. *Problemy teorii i praktiki upravlenija*. 2002, no. 4, p. 24–30 (In Russ.).
- 6. Evdokimova T. V. [Analysis of the genesis of theoretical approaches to the concept and assessment of effectiveness]. *Vestn. Tom.gos. un-ta. Jekonomika.* 2013, vol. 23, no. 3, p. 22–27 (In Russ.).
- 7. Demchenko S. K., Mel'nikova T. A. [Socio-economic system of the country and the problems of its performance]. *Problemy sovremennoj jekonomiki*. 2013, vol. 47, no. 3, p. 136–139 (In Russ.).
 - © Шабашев В. А., Батиевская В. Б., 2014

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аврамчиков Вячеслав Михайлович – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: opk-11@yandex.ru.

Алякрецкий Роман Викторович – студент, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ankain-romario@yandex.ru

Антамошкин Александр Николаевич – профессор кафедры системного анализа и исследования операций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ole-slav@mail.ru.

Бабкина Людмила Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерного моделирования, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: 1 babkina@mail.ru.

Банникова Анастасия Владимировна – аспирант института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: bannikova.anast@gmail.ru.

Батиевская Вероника Богдановна – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики и управления в здравоохранении, Кемеровская государственная медицинская академия. E-mail: batvb@kemsma.ru.

Бачурина Елена Петровна – магистрант института космических и информационных технологий, инженерисследователь Научно-образовательного центра ЮНЕСКО, Сибирский федеральный университет. E-mail: hellenb@mail.ru.

Бикчентаев Айрат Айдарович – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева; инженер, ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: ayrat715@iss-reshetnev.ru.

Бобарика Игорь Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры самолётостроения и эксплуатации летательных аппаратов, Иркутский государственный технический университет. E-mail: MegusMC@mail.ru.

Вайнштейн Исаак Иосифович – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: isvain@mail.ru.

Вайнштейн Юлия Владимировна — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: Julia ww@mail.ru.

Василенко Александр Владимирович — инженер, ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: a.v.vasilenko@mail.ru.

Веселков Сергей Александрович – директор обсерватории, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: pulsar1963@yandex.ru.

Воеводина Марина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Хакасский технический университет Сибирского федерального университета. E-mail: v.m.a@list.ru.

Гирн Алексей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры летательных аппаратов, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: girn007@gmail.com.

Голдобин Николай Николаевич – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева; инженер 2-й категории, ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: goldobin@iss-reshetnev.ru.

Горлевский Кирилл Игоревич – аспирант кафедры менеджмента, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kempf@sibsau.ru

Грузенко Евгений Андреевич – аспирант, Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. E-mail: Gruzenko@icm.krasn.ru.

Егорушкин Олег Игоревич – старший преподаватель кафедры прикладной математики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: Leoorphic@gmail.com.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, профессор, первый проректор – проректор по образовательной деятельности, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: Erygin@sibsau.ru.

Завизин Антон Викторович – аспирант кафедры автоматизации производственных процессов и теплотехники в металлургии института цветных металлов и материаловедения, Сибирский федеральный университет. E-mail: zavizin.anton@yandex.ru.

Земцова Мария Владимировна — студентка, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: soffits.tel@gmail.com.

Иконников Олег Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры системного анализа, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ik ol@mail.ru.

Исаева Ольга Сергеевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. E-mail: isaeva@icm.krasn.ru.

Карелин Олег Игоревич – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и кредита, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: karelin@sibsau.ru.

Кашкин Валентин Борисович – доктор технических наук, профессор, Сибирский федеральный университет. E-mail: rtcvbk@rambler.ru.

Кикоть Юлия Олеговна – аспирант кафедры автоматизации информационных технологий, Сибирский государственный технологический университет. E-mail: awa@yandex.ru.

Клименко Алена Владимировна – лаборант-исследователь, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Ковалев Дмитрий Игоревич – магистрант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Ковалев Игорь Владимирович – заведующий кафедрой системного анализа, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Краснов Игорь Зарьевич — доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности, Сибирский федеральный университет. E-mail: bk 24@bk.ru.

Крушенко Генрих Гаврилович – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева; главный научный сотрудник, Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. E-mail: genry@icm.krasn.ru.

Куденко Юрий Абрамович — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук. E-mail: ykudenko@yandex.ru.

Кукарцев Анатолий Викторович – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kempf@sibsau.ru.

Линейцев Алексей Викторович — ассистент кафедры автоматизации производственных процессов и теплотехники в металлургии института цветных металлов и материаловедения, Сибирский федеральный университет.

Личаргин Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры разговорного иностранного языка, Сибирский федеральный университет. E-mail: lichdv@hotmail.ru.

Медведев Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: Saor medvedev@sibsau.ru.

Михальченко Галина Ефимовна — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: mihal4enko.galina@yandex.ru.

Михеев Анатолий Егорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой летательных аппаратов, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: michla@mail.ru.

Мурыгин Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-управляющих систем, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: avm514@mail.ru.

Надараиа Цезари Гергиевич – кандидат технических наук, главный конструктор OOO «КВОНТ». E-mail: svoy_2010@list.ru.

Нестечук Николай Николаевич — начальник 1 Государственного испытательного космодрома Министерства обороны Российской Федерации. E-mail: wind.space@yandex.ru.

Ноженкова Людмила Федоровна – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом прикладной информатики, Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. E-mail: expert@icm.krasn.ru.

Носов Александр Владимирович – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: alexander@nosov.org.

Огурченок Ирина Вячеславовна – магистрант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ogurchonokiv@mail.ru.

Пискажова Татьяна Валериевна – доктор технических наук, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и теплотехники в металлургии института цветных металлов и материаловедения, Сибирский федеральный университет. E-mail: tpiskagova@sfu-kras.ru.

Попова Татьяна Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий. E-mail: dysya704@mail.ru.

Прохоров Виктор Владимирович — кандидат экономических наук, доцент кафедры организации и управления наукоемкими производствами, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: krasnoyarsk@naufor.ru.

Прудникова Марина Сергеевна — студент-бакалавр, лаборант кафедры управления качеством и сертификации, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: sibgau-uks@mail.ru.

Раводина Дарья Владимировна – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева.

Раева Олеся Владимировна – инженер-технолог, OAO «Красмаш». E-mail: O.V.Raeva@yandex.ru.

Ремизов Игорь Анатольевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры медицинской и биологической физики, Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого. E-mail: medfizika@yandex.ru.

Сабиров Рашид Альтавович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технической механики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: rashidsab@mail.ru.

Сафонов Константин Владимирович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой прикладной математики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kvsafonov@rambler.ru.

Сергеева Наталья Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: bannik-ova.anast@gmail.ru.

Соболь Александр Степанович – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: a1exander.so8ol@gmail.com.

Соловьев Евгений Валерьевич – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: blackdeathangel@rambler.ru.

Тестоедов Николай Алексеевич – доктор технических наук, генеральный директор и генеральный конструктор, ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: testoedov@iss-reshetnev.ru.

Тинькова Светлана Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и теплотехники в металлургии института цветных металлов и материаловедения, Сибирский федеральный университет.

Тихомиров Александр Аполлинариевич – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией управления биосинтезом фототрофов, Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук; заведующий кафедрой замкнутых экологических систем, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: alex-tikhomirov@yandex.ru.

Трифанов Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и сертификации, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: sibgau-uks@mail.ru.

Трифонов Сергей Викторович – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук; магистрант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: trifonov_sergei@inbox.ru.

Трушкина Татьяна Владимировна – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: Tatyana.si@mail.ru.

Туева Евгения Вячеславовна – магистрант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Фадеев Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования машин, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: fadeev.77@mail.ru.

Фирулев Олег Владимирович – аспирант кафедры финансов и кредита, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: Oleg91krasrus@mail.ru.

Фисенко Елена Николаевна — старший преподаватель кафедры технической механики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Peшетнева. E-mail: fisenkoen@sibsau.ru.

Шабашев Владимир Алексеевич – доктор экономических наук, профессор, академик МАН ВШ, заведующий кафедрой экономической теории экономического факультета, Кемеровский государственный университет. E-mail: bash kemsu@mail.ru.

Шайдуров Владимир Викторович — член-корреспондент Российской академии наук, доктор физикоматематических наук, профессор, директор, Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук; директор института космических исследований и высоких технологий, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: shaidurov04@mail.ru.

Шестаков Иван Яковлевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электронной техники и телекоммуникаций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: shestakov@sibsau.ru.

Шилова Марина Александровна — студентка, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: viruskay@rambler.ru.

Шуть Сергей Владимирович – аспирант, Сибирский федеральный университет. E-mail: seshoot@mail.ru.

Яхненко Михаил Сергеевич – кандидат технических наук, инженер-конструктор отдела рабочего проектирования, Иркутский авиационный завод – филиал ОАО «Корпорация «Иркут». E-mail: holtfor@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alyakretskiy Roman Viktorovich – a student of Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: ankain-romario@yandex.ru.

Antamoshkin Aleksandr Nikolaevich – Professor of the Department of System and operation analysis, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: oleslav@mail.ru.

Avramchikov Vyacheslav Mikhaylovich – postgraduate student of the Department of System and operation analysis, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: opk-11@yandex.ru.

Babkina Ludmila Alekseevna – Candidate of Engineering Science, associate professor of the Department of Computational Modeling, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: 1 babkina@mail.ru.

Bachurina Elena Petrovna – postgraduate student of Institute of Space and Information Technology, Research Engineer of UNESCO Research and Education Center, Siberian Federal University. E-mail: hellenb@mail.ru.

Bannikova Anastasia Vladimirovna – postgraduate student of Institution of Space and Information Technology, Siberian Federal University. E-mail: bannikova.anast@gmail.ru.

Batievskaya Veronika Bogdanovna – Candidate of Economic sciences, Head of the Department of economics and management in Healthcare Service, Kemerovo State Medical Academy. E-mail: batvb@kemsma.ru.

Bikchentaev Ayrat Aydarovich – postgraduate student of Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, engineer of JSC "Information Satellite System" named after academician M. F. Reshetnev". E-mail: ayrat715@iss-reshetnev.ru.

Bobarika Igor Olegovich – Candidate of Engineering Science, associate professor of the Department of Aircraft construction and operations, Irkutsk State Technical University. E-mail: MegusMC@mail.ru.

Egorushkin Oleg Igorevich – senior teacher of the Department of Applied Mathematics, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: Leoorphic@gmail.com.

Erygin Yuri Vladimirovich – Doctor of Economics, professor, the first vice rector, the vice rector on educational activity, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: Erygin@sibsau.ru.

Fadeev Alexander Aleksandrovich – Candidate of Engineering Science, associate professor, associate professor of the Department of principles of machines construction, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: fadeev.77@mail.ru.

Firulev Oleg Vladimirovich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: Oleg91krasrus@mail.ru.

Fisenko Elena Nikolaevna – senior teacher of the Department of engineering mechanics, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: fisenkoen@sibsau.ru.

Girn Aleksei Vasil'evich – Candidate of Engineering Science, associate professor, associate professor of the Department of flying vehicles, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: girn007@gmail.com.

Goldobin Nikolay Nikolayevich – graduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev; Engineer 2nd category, JSC "Information Satellite System" named after academician M. F. Reshetnev". E-mail: goldobin@iss-reshetnev.ru.

Gorlevsky Kirill Yakovlevich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: kempf@sibsau.ru.

Gruzenko Evgeny Andreevich – postgraduate student, Institute of computational modelling Siberian Branch of Russian Academy of Science. E-mail: Gruzenko@icm.krasn.ru.

Ikonnikov Oleg Aleksandrovich – Candidate of Engineering Science, associate professor; associate professor of the Department of System and operation analysis, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: ik_ol@mail.ru.

Isaeva Olga Sergeevna – Candidate of Engineering Science, Senior researcher, Institute of computational modeling Siberian Branch of Russian Academy of Science. E-mail: isaeva@icm.krasn.ru.

Karelin Oleg Igorevich – Candidate of Economics, associate professor of the Department of Finance and credits, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: karelin@sibsau.ru.

Kashkin Valentin Borisovich – Doctor of Engineering Science, Professor, Siberian Federal University. E-mail: rtcvbk@rambler.ru.

Kikot Julia Olegovna – postgraduate student of the Department of automation and information technologies, Siberian State Technological University. E-mail: awa@yandex.ru.

Klimenko Alena Vladimirovna – laboratory assistant-researcher, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Kovalev Dmitry Igorevich – Master's Degree student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Kovalev Igor Vladimirovich – head of the Department of System and operation analysis, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Krasnov Igor Zarjevich – associate professor of Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: bk 24@bk.ru.

Krushenko Genry Gavrilovich – Doctor of Engineering Sciences, professor of the Department of Aircraft engines, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, chief researcher of the Institute of Computational Modeling of Siberian branch of Russian Academy of Sciences. E-mail: genry@icm.krasn.ru.

Kudenko Yuri Abramovich – Candidate of Phisical and Mathematical Sciences, scientific researcher, Institute of Biophysics Siberian Branch of Russian Academy of Science. E-mail: ykudenko@yandex.ru.

Kukartsev Anatoly Viktorovich – Candidate of Economics, associate professor, associate professor of Management Department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: kempf@sibsau.ru

Lichargin Dmitryi Victorovich – Candidate of Engineering Sciences, associate professor of the Department of Conversational Foreign Language, Siberian Federal University. E-mail: lichdv@hotmail.ru.

Lineytsev Alexey Viktorovich – teaching asistant of the Department of automation of production processes and heat engineerig in metallurgy industry, Siberian Federal University Institute of Nonferrous Metals and Materials.

Medvedev Alexander Vasil'yevich – Doctor of Engineering Science, professor, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: Saor medvedev@sibsau.ru.

Mihalcenko Galina Efimovna – Candidate of Phisical and Mathematical Sciences, associate professor of the Department of Applied Mathematics and Computer Security, Institute of Space and Information Technology, Siberian Federal University. E-mail: mihal4enko.galina@yandex.ru.

Miheev Anatolii Egorovich – Doctor of engineering sciences, Professor, head of the Department of Flying vehicles, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: michla@mail.ru.

Murigin Alexander Vladimirovich – Doctor of engineering sciences, Professor, head of the Department of Information and Control Systems, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: avm514@mail.ru.

Nadaraia Cezari Gergievich – Candidate of Engineering Sciences, General constructor, "CVONT" LLC. E-mail: svoy 2010@list.ru.

Nestechuk Nikolai Nikolaevich – Chief of the 1st State Test Cosmodrome Ministry of Defense of the Russian Federation. E-mail: wind.space @ yandex.ru.

Nosov Alexander Vladimirovich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: alexander@nosov.org.

Nozhenkova Ludmila Fedorovna – Doctor of engineering sciences, Professor, Head of the Department of Applied Informatics, Institute of computational modelling Siberian Branch of Russian Academy of Science. E-mail: expert@icm.krasn.ru.

Ogurchenok Irina Vyacheslavovna – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: kempf@sibsau.ru.

Piskazhova Tatyana Valerievna – Doctor of engineering sciences, Head of the Department of automation of production processes and heat engineerig in metallurgy industry, Siberian Federal University Institute of Nonferrous Metals and Materials. E-mail: tpiskagova@sfu-kras.ru.

Popova Tatyana Sergeevna – Candidate of Economic sciences, associate professor, associate professor of the Department of management, organization production and sector of the economy FGBOY VPO VGUIT, Voronezh State University of Engineering Technology. E-mail: dysya704@mail.ru.

Prokhorov Viktor Vladimirovich – Candidate of Science (Economic), associate Professor, Department of organization and management of science intensive productions of Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: krasnoyarsk@naufor.ru.

Prudnikova Marina Sereevna – a student, departmental assistant of the Department of quality control and certification, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: sibgau-uks@mail.ru

Raeva Olesya Vladimirovna – production engineer, JSC Krasmash. E-mail: O.V.Raeva@yandex.ru

Ravodina Drar'ya Vladimirovna – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev.

Remizov Igor Anatoljeich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, associate professor of the Department of medical physics, Krasnoyarsk State Medical University named after prof. V. F. Voino-Yasenetsky. E-mail: medfizika@yandex.ru.

Sabirov Rasheed Altavovich – Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor Technical Mechanics, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: rashidsab@mail.ru.

Safonov Konstantin Vladimirovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Applied Mathematics of Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: safonovkv@rambler.ru

Sergeeva Natalia Alexandrovna – Candidate of Engineering sciences, associate professor of the Department of Informatics, Institution of Space and Information technologies, Siberian Federal University. E-mail: bannikova.anast@gmail.ru.

Shabashev Vladimir Alekseevich – Doctor of Economics, professor, academician of International Higher Educatin Academy of Sciences, Head of the Department of economics, Kemerovo State University. E-mail: bash kemsu@mail.ru

Shaidurov Vladimir Viktorovich – Corresponding member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Sciences (physics and mathematics), Professor, Director of Institute of Computational Modeling of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; Director of Institute of Space Research and High Technologies of Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: shaidurov04@mail.ru.

Shestakov Ivan Yakovlevich – Candidate of Engineering sciences, associate professor, associate professor of the Department of Computer Science and Telecommunications, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: shestakov@sibsau.ru.

Shilova Marina Aleksandrovna – a student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: viruskay@rambler.ru.

Shut Sergey Vladimirovich – postgraduate student, Siberian Federal University. E-mail: seshoot@mail.ru.

Sobol Alexander Stepanovich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: a1exander.so8ol@gmail.com.

Soloviev Evgeny Valerjevich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: blackdeathangel@rambler.ru.

Testoedov Nikolay Alekseevich – Doctor of engineering sciences, General Director and General Constructor of JSC "Information Satellite System" named after academician M. F. Reshetnev". E-mail: dirtykola@rambler.ru.

Tikhomirov Alexander Apollinarievich – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Head of laboratory of Phototrophic Biosynthesis Control, Institute of Biophysics Siberian Branch of Russian Academy of Science, Head of chair of Closed EcoSystems, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: alex-tikhomirov@yandex.ru.

Tinkova Svetlana Mikhailovna – Candidate of Engineering sciences, associate professor of the Department of automation of production processes and heat engineering in metallurgy industry, Siberian Federal University Institute of Nonferrous Metals and Materials.

Trifonov Ivan Vasiljevich – Doctor of engineering sciences, Professor, Head of the Department of quality control and certificaion. E-mail: sibgau-uks@mail.ru.

Trifonov Sergei Viktorovich – Candidate of Sciences (Biology), junior researcher, Institute of Biophysics Siberian Branch of Russian Academy of Science, Master's Degree student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: trifonov sergei@inbox.ru.

Trushkina Tatiana Vladimirovna – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: tatyana.si@mail.ru.

Tueva Evgeniya Vyacheslavovna – Master's Degree student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Vainshtein Isaak Iosifovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, professor of Applied Mathematics and Computer Security Department, Institute of Space and Information Technology, Siberian Federal University. E-mail: isvain@mail.ru.

Vainshtein Yuliya Vladimirovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Applied Mathematics and Computer Security Department, Institute of Space and Information Technology, Siberian Federal University. E-mail Julia ww@mail.ru.

Vasilenko Alexander Vladimirovich – engineer, JSC "Information Satellite System" named after academician M. F. Reshetnev". E-mail: a.v.vasilenko@mail.ru.

Veselkov Sergej Aleksandrovich – director of observatory, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: pulsar1963@yandex.ru.

Voevodina Marina Alexandrovna – Candidate of Engineering sciences, associate professor of the Department of vehicles and vehicle fleet, Khakassian Technical Institute, branch of Siberian Federal University. E-mail: v.m.a@list.ru.

Yakhnenko Mikhail Sergeevich – Candidate of Engineering sciences, design engineer of the Department of detail designing, Irkutsk aircraft factory – the subsidiary of JSC "Corporation "Irkut". E-mail: holtfor@mail.ru.

Zavizin Anton Viktorovich – postgraduate student of Siberian Federal University Institute of Nonferrous Metals and Materials. E-mail: zavizin.anton@yandex.ru.

Zemtsova Maria Vladimirovna – a student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: soffits.tel@gmail.com.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Банникова А. В., Сергеева Н. А. О непараметрическом моделировании	
стохастических объектов с памятью	<i>6</i>
Бикчентаев А. А. Моделирование процессов жизненного цикла изделия	11
Бобарика И. О., Яхненко М. С. Методика решения задачи поиска частотного отклика	
сборной конструкции трубопровода с применением метода конечных элементов	1 <i>6</i>
Вайнштейн И. И., Михальченко Г. Е., Вайнштейн Ю. В., Сафонов К. В. Оптимизация	
стратегий эксплуатации технических систем с проведением аварийных	
и профилактических восстановлений	20
Веселков С. А., Земцова М. В., Шилова М. А. Оптическая система Ричи-Кретьена	
в качестве обзорного широкоугольного телескопа	25
Иконников О. А. О непараметрическом моделировании линейных	
динамических процессов высоких порядков	30
Ковалев Д. И., Клименко А. В., Соловьев Е. В., Туева Е. В. Модификация стандартного	
алгоритма муравьиной колонии для решения задачи формирования мультиверсионного	
программного обеспечения	33
Краснов И. З., Карелин О. И. Методика анализа и оценки рисков организации	
Личаргин Д. В., Сафонов К. В., Егорушкин О. И., Бачурина Е. П. К вопросу	
об упорядочении многоуровневой семантической сети на дереве семантической классификации	44
Медведев А. В. Некоторые замечания к H -моделям безынерционных процессов	
с запаздыванием	50
Надарана Ц. Г., Бабкина Л. А., Шестаков И. Я., Фадеев А. А. Химико-кинетический	
накопитель энергии	56
Носов А. В. Алгоритм распознавания жестов рук на основе скелетной модели кисти руки	
Сабиров Р. А. К расчету пластин в условиях плоского напряженного состояния	02
на температурные нагрузки вариационно-разностным методом в функциях напряжений	67
Соболь А. С. Обработка больших данных в телекоммуникационных компаниях	
Соловьев Е. В. Система формирования состава мультиверсионного программного	
обеспечения в реальном времени	76
Шайдуров В. В., Шуть С. В. Применение эрмитового биквадратного конечного элемента	
Шестаков И. Я., Фисенко Е. Н., Ремизов И. А. Особенности работы	60
электродинамического молота	0.5
электродинамического молота	02
РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА	
1 13 ALVI 2, ADHALINO III MI I TAKETIO-ROCMII ILOKAVI TEXIII KA	
Василенко А. В., Кашкин В. Б. Оценка ограничений, накладываемых	
со стороны атмосферы Земли, на готовность спутниковой линии связи	
оптического диапазона	90
Голдобин Н. Н. Математические методы, используемые для оценки точности положения	
и формы крупногабаритного рефлектора космического аппарата	93
Голдобин Н. Н., Тестоедов Н. А. Алгоритм построения периферийного шнура	
фронтальной сети для трансформируемого сетчатого рефлектора космического аппарата	100
Ковалев И. В., Кикоть Ю. О. К вопросу повышения точности и надежности	100
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
системы испытания	104
и имитации невесомости для космических аппаратов	106
Нестечук Н. Н. Методика оптимизации агрегированных многомерных моделей	116
для применения их при построении программы проверки диагностических признаков	110
Ноженкова Л. Ф., Исаева О. С., Грузенко Е. А. Проектирование и разработка	
программно-математической модели командно-измерительной системы	
космического аппарата	114
Трифонов С. В., Куденко Ю. А., Тихомиров А. А., Мурыгин А. В. Автоматизация	
работы реактора «мокрого» сжигания отходов жизнедеятельности человека	
лля замкнутых систем жизнеобеспечения	120

РАЗДЕЛ З. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

Крушенко Г. Г., Воеводина М. А. Фильтрация алюминиевых сплавов, применяемых	126
в конструкциях летательных аппаратов	126
Михеев А. Е., Гирн А. В., Алякрецкий Р. В., Раводина Д. В., Трушкина Т. В. Исследование	122
излучательной способности пластин из алюминиевых сплавов с МДО-покрытием	132
мотор-редуктор	127
Пискажова Т. В., Завизин А. В., Линейцев А. В., Тинькова С. М. Моделирование	13/
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	140
тепловой работы тигельной печи сопротивления	140
и пористость поверхности оксидных покрытий	1.4.4
Шестаков И. Я., Раева О. В. Очистка воды от ионов металлов электрохимическим	144
воздействием переменным током при барботировании воздухом с последующей	
коагуляцией и отстаиванием воздействией воздухом с последующей	1/10
РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА	
Аврамчиков В. М., Антамошкин А. Н. Инструменты оценки мультипликативного	
и синергетического эффектов взаимодействия волн инноваций	154
Горлевский К. И., Кукарцев А. В., Огурченок И. В. Алгоритм управления	
инновационными бизнес-процессами предприятия ракетно-космической промышленности	158
Попова Т. С. Конкурентоспособность национальной экономики на рынке	
высокотехнологичной (наукоемкой) продукции: российский гудвилл ракетно-космической	
отрасли промышленности и востребованные профессиональные компетенции	164
Прохоров В. В. Инструменты стратегического планирования параметров	
облигационной формы инвестирования в инновационную деятельность предприятий	
оборонно-промышленного комплекса	172
Прудникова М. С., Трифанов И. В. Повышение эффективности потребления	
электроэнергии ЗАО «Спецтехномаш» на основе энергоаудита	174
Фирулев О. В., Ерыгин Ю. В. Современное состояние и перспективы	
совершенствования форм и методов участия государства в развитии	
инновационной деятельности на предприятиях ракетно-космической отрасли	179
Шабашев В. А., Батиевская В. Б. Генезис и классификация понятия	
«экономическая эффективность»	183
Сведения об авторах	190

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, COMPUTER SCIENCE

Bannikova A. V., Sergeeva N. A. About the non-parametric modeling of stochastic	
objects with memory	6
Bikchentaev A. A. Modeling of processes of items life cycle	11
Bobarika I. O., Yakhnenko M. S. Technique solution of the problem of the pipeline	
precast structure frequency response search with application of the finite element method	16
Vainshtein I. I., Mihalchenko G. E., Vainshtein J. V., Safonov K. V. The optimization	
of strategies for the operation of technical systems with the performance	
of emergency and preventive restorations	20
Veselkov S. A., Zemtsova M. V., Shilova M. A. Optical system Ritchey-Chretien	
as panoramic widefield telescope	25
Ikonnikov O. A. To nonparametric modelling of linear dynamic processes of high order	30
Kovalev D. I., Klimenko A. V., Soloviev E. V., Tueva E. V. Modifications to the standard	
ant colony algorithm for solving the problem of formation multiversioned views software	
Krasnov I. Z., Karelin O. I. Information risk management	37
Lichargin D. V., Safonov K. V., Yegorushkin O. I., Bachurina E. P. About the issue	
of ordering a multilevel semantic web on the tree of semantic classification	
Medvedev A. V. Some notes on <i>H</i> -models for non-inertia systems with a delay	50
Nadaraia C. G., Babkina L. A., Chestakov I. Y., Fadeev A. A. Chemical and kinetic	
energy storage device	
Nosov A. V. Algorithm of hand gesture recognition based on skeleton model of hand	62
Sabirov R. A. To calculation of plates in the conditions of the flat tension	
on temperature loadings with the help of the variation and differential method in tension functions	
Sobol A. S. Processing of big data in the telecommunication companies	
Solovyev Y. V. The system of formation of the composition multiversioned views	7.
of the software in real time	
Shaydurov V. V., Shut S. V. Application of hermitian biquadratic finite element	
PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING Vasilenko A. V., Kashkin V. B. Estimation of availability decline due to atmospheric effect	
on satellite-to-earth optical communication link	90
Goldobin N. N. Mathematical methods used to assess the position and form accuracy	
of a large-sized spacecraft reflector	93
Goldobin N. N., Testoedov N. A. A construction algorithm of the peripheral	
cord of the frontal network	
for the space reflector with the cable-mesh deployable structure	100
Kovalev I. V., Kikot Y. O. On the question of improving the accuracy and reliability	
of system testing and simulation of weightlessness in space	106
Nestechuk N. N. Technique of aggregated multivariate models optimization	
for their application while building the program of checking diagnostic features	110
Nozhenkova L. F., Isaeva O. S., Gruzenko E. A. Designing and constructing	
of the program-mathematical model for the spacecraft command and measuring system	114
Trifonov S. V., Kudenko Yu. A., Tikhomirov A. A., Murygin A. V. Duty automatization	
of human vital activity waste "wet" incineration reactor for closed life support systems	120
PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS	
Krushenko G. G., Voevodina M. A. The filtration of aluminum alloys used	
in constructions of aircrafts	126
Miheev A. E., Girn A. V., Alyakretsky R. V., Ravodina D. V., Trushkina T. V. Study	
of emissivity infrared heaters coated with MAO coating	132

Nadaraia C. G., Chestakov I. Y., Fadeev A. A. Small-sized multi-motor-reducer	137
Piskazhova T. V., Zavizin A. V., Lineytsev A. V., Tinkova S. M. 3D-modeling of thermal work	
of resistance-heated pot-type furnace	140
Trushkina T. V., Miheev A. E., Girn A. V., Alykretsky R. V., Ravodina D. V. Morphology	
and porosity of the surface of oxide coatings	144
Shestakov I. Ya., Rayeva O. V. Water cleaning from metal ions by electrochemical	
treatment with alternating current and air bubbling followed by coagulation and settling	148
PART 4. ECONOMICS	
Avramchikov V. M., Antamoshkin A. N. Tools of the assessment of multiplicative	
and synergetic effects of interaction of innovations waves	154
Gorlevsky K. I., Kukartsev A. V., Ogurchjonok I. V. Algorithm	
of innovative business-process of space-rocket industry enterprise management	158
Popova T. S. Competitiveness of the national economy on the market of high-tech	
(high technology) products: Russian Goodwill of rocket and space industry and popular	
professional competences	164
Prokhorov V. V. Tools of strategic planning of bond forms parameters of investment	
in innovation activities of enterprises of the military-industrial complex	172
Prudnikova M. S., Trifanov I. V. Increase of efficiency of electricity consumption	
by CJSC "Spetstekhnomash", based on an energy audit	174
Firulev O. V., Erygin Yu. V. The modern state and perspectives for improving	
the forms and methods of state participation in the development of innovative activity	
in the rocket and space industry	179
Shabashev V. A., Batievskaya V. B. Genesis and classification of the concept	
"economic efficiency"	183
Information about the authors	194

Требования к оформлению статей для опубликования в журнале «Вестник СибГАУ»

Общие требования. Тексты представляются в редакцию в электронном и печатном виде. Оригинал должен быть чистым, не помятым, без правок, вписанных от руки. Страницы нумеруются карандашом на обороте.

Печатный оригинал должен полностью совпадать с электронным вариантом статьи.

Файлы со статьей принимаются на CD-диске, флешке (без вирусов) или по электронной почте.

Статьи в распечатанном виде авторы сдают лично секретарю журнала или высылают по почте с указанием обратного адреса (для иногородних).

ВНИМАНИЕ! На последней странице обязательно ставится подпись автора(ов) статьи.

Количество авторов одной статьи не более 5-ти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй в соавторстве.

Индекс УДК предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Office Word 2003!

Содержание. В статье необходимо сформулировать проблемы, отразить объект исследования, достигнутый уровень процесса исследования, новизну результатов, область их применения.

Статья должна заканчиваться выводом. Текст вывода набирается отдельным абзацем (абзацами), в котором акцентируется новизна результатов, эффективность их использования и др.

Объем статьи: 3–8 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографические ссылки), краткое сообщение – 1–2 страницы.

Параметры страницы. Формат A4 (210×297). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

Не допускается (!) набирать тексты прописными (заглавными) буквами и жирным шрифтом (кроме названия), а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформления набора, выполняемого в журнале.

При представлении научной статьи в журнал «Вестник СибГАУ» необходимо придерживаться следующей схемы:

Блок 1 – на русском языке:

- название статьи (по центру жирным шрифтом прописными буквами);
- автор(ы) (по центру строчными буквами);
- адресные данные авторов (организация(и), адрес организации(й), электронная почта всех или одного автора);
 - аннотация (авторское резюме);
 - ключевые слова.
- Блок 2 информация Блока 1 в романском алфавите (транслитерация и перевод соответствующих данных) в той же последовательности: авторы на латинице (транслитерация); заглавие, аннотация, ключевые слова, название организации, адрес организации на английском языке.
 - Блок 3 полный текст статьи на русском или другом языке (язык оригинала).
- Блок 4 Список литературы с русскоязычными ссылками на русском языке по ГОСТ 5.0.7 (для статей на русском языке).
 - Блок 5 Список литературы с русскоязычными и другими ссылками в романском алфавите.

Название списка литературы должно быть на английском языке: REFERENCES, но ни в коем случае не транслитерированным: SPISOK LITERATURY.

Аннотация. Аннотация должна состоять минимум из 100–250 слов и включать следующие аспекты содержания статьи:

предмет, тему, цель работы;

метод или методологию проведения работы;

результаты работы;

область применения результатов;

выводы.

Аннотация на английском языке на русскоязычную статью по объему может быть больше аннотации на русском языке и включать **200-250 слов и более.** Аннотация должна раскрывать содержание статьи и следовать логике и последовательности изложения материала.

¹ Транслитерация – перевод одной графической системы алфавита в другую (то есть передача букв одной письменности буквами другой). Пример Т.: немецкий Schiller – русский «Шиллер».

Основной текст статьи размещается через пробел от резюме. Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается. Внутренние подзаголовки статьи центрировать.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Ссылки на использованные в статье источники заключают в квадратные скобки и последовательно нумеруют, например [1].

Примечания: 1. Смысловые пояснения основного текста или дополнения к нему оформляются в виде внутритекстовых примечаний среди строк основного текста специальной рубрикой, выделенной светлым курсивом: *Примечание*: (одно примечание), *Примечания*: (несколько примечаний). Отделяются от текста *точкой* (если стоят в единственном числе в подбор к тексту примечания).

Примечания должны быть последовательно пронумерованы.

2. При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Формулы. Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов. Специальные сложные символы, а также многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным образом, должны быть набраны в редакторе формул Math Type. Набор математических формул в пределах всего текста должен быть единообразен:

- размеры символов определяются стандартными установками Math Туре (Размер Определить Заводские),
 - русские и греческие символы прямым шрифтом,
 - латинские курсивом.

Формулы, набранные отдельными строками, располагают по центру.

Не допускается (!) набор в основном тексте статьи простых латинских, греческих или специальных символов в редакторе формул.

Таблицы должны быть последовательно пронумерованы. Слово «таблица» набирается светлым курсивом с выравниванием вправо, шрифтом 11, например, *Таблица 1* ниже — заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, она может быть помещена на отдельной странице, а в том случае, когда она имеет значительную ширину — на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации. Иллюстрации и подписи к ним должны быть вставлены в текст статьи и дополнительно прикреплены отдельным файлом любого распространенного графического формата (например, .jpg, .bmp, .tiff и т. п.). Иллюстрации последовательно пронумеровываются обычным шрифтом без кавычек с выравниванием по центру, например, Рис. 1. Могут содержать подрисуночную подпись, шрифтом 11 пт. Рисунки могут быть сканированы с оригинала (в этом случае они должны быть четкими, контрастными, без лишнего фона) или выполнены средствами компьютерной графики. Цветные иллюстрации не принимаются.

К печатному варианту статьи необходимо приложить:

- 1. Экспертное заключение о возможности открытой публикации.
- 2. Внешнюю рецензию (рецензент не ниже ученой степени доктора наук).
- 3. Сведения об авторе предоставляются на русском и английском языках и оформляются в следующей последовательности:
 - фамилия, имя, отчество (полностью);
 - ученая степень, звание;
 - должность, место работы;
 - вуз, год его окончания;
 - область научных интересов;
 - e-mail;
 - номер телефона;
 - адрес для переписки (для иногородних).

В сведениях об авторах нельзя использовать аббревиатуры и сокращения.

Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Оформление библиографических ссылок в романском алфавите (References)

- 1. Не использовать разделительные знаки: /; //; -.
- 2. Следовать правилам, позволяющим легко идентифицировать 2 основных элемента описаний авторы и источники.
- 3. Придерживаться единой системы транслитерации фамилий авторов, заглавий статей (если их включать) и названий источников (http://translit.ru/, выбрать **BGN**).
- 4. При ссылке на статьи из российских журналов, имеющих переводную версию, давать ссылку на переводную версию статьи.

Название источника, независимо от того, журнал это, монография, сборник статей или название конференции, *выделяется курсивом*. Дополнительная информация – перевод на английский язык названия источника приводится в квадратных скобках шрифтом, используемым для всех остальных составляющих описания.

Статьи из российских журналов:

Фамилии авторов в транслитерации. [Перевод на английский язык названия статьи]. *Название журнала в транслитерации курсивом*, год, номер, страницы. Указание на язык статьи (In Russ.)

Senashov S. I., Juferova N. Ju., Surnina E. V. [Information system of valuation of apartments on the secondary market as a tool for investment management]. *Vestnik SibGAU*. 2009, vol. 25, no. 4, p. 219–223. (In Russ.)

Visloguzov V. [Economy Ministry floated the inventory]. *Kommersant*. 2012, no. 217, p. 10–22. (In Russ.)

Статьи из электронных журналов:

Описываются аналогично печатным изданиям с дополнением данных об адресе доступа. Пример описания статьи из электронного журнала:

Kontorovich A. E., Korzhubaev A. G. [Forecast of global energy supply: Techniques, quantitative assessments, and practical conclusions]. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye.* 2006, no. 5. (In Russ.) Available at: http://www.geoinform.ru/?an=mrr0506. (accessed 22.05.2012)

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer- Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2, available at: www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/

Наиболее точную идентификацию статей из электронных журналов можно получить, если указать уникальный идентификатор, который используют практически все ведущие зарубежные журналы для идентификации своих статей (Digital Object Identifier - DOI), в том числе и российские переводные журналы. Система DOI является международным ISO стандартом (http://www.doi.org/). Поэтому при наличии в статье DOI, в списке литературы желательно указывать ее идентификатор. Примеры описания статей из SCOPUS, имеющих DOI:

Yang S. Y., Ryu I., Kim H. Y., Kim J. K., Jang S. K., Russell T. P. Nanoporous membranes with ultrahigh selectivity and flux for the filtration of viruses (2006) *Advanced Materials*, 18 (6), pp. 709–712. Cited 89 times. doi: 10.1002/adma.200501500.

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micromachining (2008) *Russian Journal of Electrochemistry*, 44 (8), pp. 926-930. Cited 2 times. doi: 10.1134/S1023193508080077.

Материалы конференций:

Авторы (Траслитерация). [Название доклада на английском языке в квадратных скобках]. Название конференции на языке оригинала (в транслитерации, если нет ее английского названия), выделенное курсивом. [В квадратных скобках дается перевод названия на английский язык]. Выходные данные (место проведения конференции, место издания, страницы) должны быть представлены на английском языке. Указание на язык конференции (In Russ.)

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing [Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma Covye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi*" [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272. (In Russ.)

Книги (монографии, сборники, материалы конференций в целом):

Авторы (транслитерация). *Название в транслитерации курсивом*. [Перевод названия на английский язык в квадратных скобках]. Выходные данные, кол-во страниц.

Nenashev M.F. Poslednee pravitel'tvo SSSR [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Kanevskaya R. D. *Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov* [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development]. St.Petersburg, Nauka Publ., 2002, 140 p.

Latyshev V. N., *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friktsionnye protsessy pri rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovo St. Univ. Publ., 2009, 150 p.

Интернет-ресурсы:

Sternik G. M. *Rossijskij rynok zhil'ja v 2011 godu: zatjanuvsheesja ozhivlenie* [Russian Housing Market in 2011: a prolonged recovery]. (In Russ.) Available at: http://realtymarket.ru/analiti-eskie-materiali/. (accessed 01.02.2011)

Законы:

RF Federal Law "About energy saving and increasing of energy efficiency, alteration in individual legislations of the Russian Federation" of November 11, 2009 № 261. (In Russ.) Available at: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=157142. (accessed 01.02.2011)

Патенты:

Nadaraia C. G. Motor-reduktor [Geared motor]. Patent RF, no. 96707, 2010.

ГОСТ:

GOST R 27.002–2009. Nadyezhnost v tehnike. Terminy i opredelyeniya. [State Standard R 27.002–2009. Reliability in the sphere of inengineering. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 10 p.